



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแคตไอออนิกสตาร์ชโดยไมโครเวฟ

(FEASIBILITY OF PRODUCTION CATIONIC STARCH BY MICROWAVE TECHNIQUE)

โดย

นางสาวกฤตিকা ต้นประเสริฐ
นางสาวบุษิพร บุญมาศิริ
นางสาวนพมาศ เนิื่องทอง

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ACC. NO.....
Date Received..... 76 ต.พ. 2537
Call No.....

..... ๑๗๖๕ ๓๓๖ กว ๒๑/๐๘/๓๗
(๑๓๑ ๑๗๖๕ ๓๓๖ กว)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....
(๑๓๑๗๖๕ ๓๓๖ กว)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๒๘ เดือน ๑๒๕ พ.ศ. ๓๗ -

14482

= 7 ส.ค. 2541

ร.พ.

๓๒๗๔๓

๒๕๓๖

กฤติกา ตันประเสริฐ ชุสัพร บุญมาศิริ และ นพมาศ เนื่องทอง : การศึกษาความเป็นไปได้
ในการผลิตแคทอไออนิกสตาร์ชโดยใช้ไมโครเวฟ (FEASIBILITY OF PRODUCTION CATIONIC
STARCH BY MICROWAVE TECHNIQUE). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการ
เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.
วุฒิชัย นาครักษา , 60 หน้า

การศึกษาความเป็นไปได้นในการผลิตแคทอไออนิกสตาร์ชโดยใช้ไมโครเวฟมีวัตถุประสงค์
หลักคือเพื่อศึกษาแนวทางการผลิตแคทอไออนิกสตาร์ชแบบแห้ง ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการผลิตลง
โดยมีกรรมวิธีการผลิตคือ นำสารละลาย reagent ซึ่งประกอบด้วย Quat188 11.6% (w/v)
และ NaOH 6.9% (w/v) มาผสมกับแป้งในอัตราส่วน liquid phase : solid phase เป็น
0.40:1, 0.50:1 และ 0.67:1 จากนั้นนำไปปรับความชื้นที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8
ชั่วโมง แล้วนำไปบดและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 52 mesh ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ
เป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที ผลผลิตที่ได้มีความชื้น (moisture content) 2-13%
ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว (Bound nitrogen) 0.05-0.30% ประสิทธิภาพในการเข้าทำ
ปฏิกิริยา (Reaction efficiency) 11-48% และระดับการแทนที่ (Degree of
substitution) 0.006-0.036 จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณไนโตรเจนที่
เกาะเกี่ยว ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา และระดับการแทนที่จะแปรผกผันกับเวลาในการ
ให้ความร้อน แต่จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase

กฤติกา ตันประเสริฐ
ชุสัพร บุญมาศิริ
นพมาศ เนื่องทอง

ผศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

10/3/37

ลายมือชื่อนักศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

วัน เดือน ปี

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นรูปเล่มโดยสมบูรณ์ได้โดยมี ผศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา นอกจากนี้ยังมี ผศ. วรธนา ตั้งเจริญชัย และ อาจารย์ วรวิทย์ อารีกุล กรุณาให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือมาตลอด รวมทั้งเจ้าหน้าที่ ตึกแปรรูป และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในระหว่างปฏิบัติงาน จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความเอาใจใส่เป็นอย่างดี มา ณ ที่นี้ด้วย และขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

น.ส. กฤติกา ตันประเสริฐ

น.ส. ชุติพร บุญมาศิริ

น.ส. นพมาศ เมืองทอง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	2
บทที่ 3 วิธีทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	41
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	48
ภาคผนวก ค	57
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของสแตร์ชบางชนิด	2
2. ปริมาณความชื้นของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	28
3. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น	30
4. ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	31
5. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว	33
6. ระดับการแทนที่ของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	34
7. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับการแทนที่	36
8. ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	37
9. ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา	39
10. ค่า correlation coefficient และ coefficient of determination ของเวลาในการให้ความร้อนและอัตราส่วน liquid phase : solid phase	40
11. ผลของเวลาในการให้ความร้อนและอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase ต่อปริมาณความชื้น ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว ระดับการแทนที่ และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา	42
 ภาคผนวก ข	
ตารางผนวกที่ 1 ค่าปริมาณความชื้นของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.40:1	48
ตารางผนวกที่ 2 ค่าปริมาณความชื้นของแคทออลนิกสแตร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.50:1	49

ตารางผนวกที่ 3	ค่าปริมาณความชื้นของแคทอไดอิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1	50
ตารางผนวกที่ 4	ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดอิกสสารที่ อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.40:1	51
ตารางผนวกที่ 5	ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดอิกสสารที่ อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.50:1	51
ตารางผนวกที่ 6	ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดอิกสสารที่ อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1	52
ตารางผนวกที่ 7	ระดับการแทนที่ของแคทอไดอิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.40:1	52
ตารางผนวกที่ 8	ระดับการแทนที่ของแคทอไดอิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.50:1	53
ตารางผนวกที่ 9	ระดับการแทนที่ของแคทอไดอิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1	53
ตารางผนวกที่ 10	ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.40:1	54
ตารางผนวกที่ 11	ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.50:1	54
ตารางผนวกที่ 12	ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1	55
ตารางผนวกที่ 13	อุณหภูมิของแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยใช้นิโครเวฟ ที่เวลา 3, 5 และ 7 นาที	56
ตารางผนวก ค		
ตารางผนวกที่ 1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณความชื้น	58
ตารางผนวกที่ 2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว	58
ตารางผนวกที่ 3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับการแทนที่	59
ตารางผนวกที่ 4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา	59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. สูตรโครงสร้างของอะไมโลส	3
2. สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพคติน	3
3. เม็ดสแตร์ชของข้าวเจ้าขนาดขยาย 5000 เท่า	4
4. เม็ดสแตร์ชของมันสำปะหลังเมื่อผ่านการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ 7 นาที ขนาดขยาย 1000 เท่า	4
5. Granular Solvation Process	5
6. ปรากฏการณ์รีโทรกราเดชัน	6
7. การจัดเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ	8
8. การจัดเรียงตัวของประจุในอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	8
9. หน่วยกลูโคสและพันธะกลูโคซิดิก	13
10. ความหมายของ DS และ MS	15
11. การแบ่งชนิดของสแตร์ชตัดแปร	20
12. การผลิตแคทไอออนิกสแตร์ช	27
13. กราฟแสดงปริมาณความชื้นที่อัตราส่วน liquid phase:solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	29
14. กราฟแสดงปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวกับอัตราส่วน liquid phase:solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	32
15. กราฟแสดงระดับการแทนที่ที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	35
16. กราฟแสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ	38
17. กราฟแสดงค่าอุณหภูมิของแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ ที่เวลา 3, 5 และ 7 นาที	56

บทที่ 1

บทนำ

สตาร์ชตัดแปรที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษคือ CATIONIC STARCH ซึ่งจะใช้เป็น wet-end additive, surface size และ coating binder โดยวิธีการผลิตสตาร์ชตัดแปรชนิดนี้มักจะใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก (wet process) แต่มีข้อเสียคือ มีขั้นตอนการผลิตยุ่งยาก สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน และการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการผลิต จึงได้ทำการศึกษาการผลิตโดยกระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry process) โดยใช้ไมโครเวฟเพื่อลดเวลาการผลิต

การผลิตสตาร์ชตัดแปรด้วยกระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry process) นี้มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริง เนื่องจากได้มีผู้ทำการทดลองผลิตแคทไอออนิกสตาร์ชด้วยเครื่องเอ็กซ์-ทูลเตอร์ (วูธิย, 2534) และ การผลิตสตาร์ชที่เรตโดยใช้ไมโครเวฟ (พิชรินทร์และคณะ, 2533) พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลองผลิตแคทไอออนิกสตาร์ช โดยกระบวนการผลิตแบบแห้ง คือสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมได้แก่เวลาในการให้ความร้อน และอัตราส่วนของสารเคมีต่อสตาร์ชที่ใช้ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัยอื่น และขยายสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไมโครเวฟในการผลิตแคทไอออนิกสตาร์ช
2. ศึกษาผลของเวลาและอัตราส่วนของสารเคมีต่อสตาร์ช ที่มีผลต่อคุณภาพของแคทไอออนิกสตาร์ช
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Efficiency)

วารสารปริทัศน์

2.1 สตาร์ช (Starch)

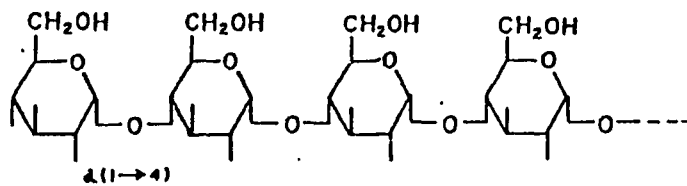
สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง พบในพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่ว ข้าว มันฝรั่ง มันสำปะหลังและเผือก เป็นต้น ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิดคือ อะไมโลส ประมาณ 20-25% และอะไมโลเพคติน ประมาณ 70-75% ขึ้นกับชนิดของสตาร์ช ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของสตาร์ชบางชนิด

สตาร์ช	ปริมาณอะไมโลส (%)	ปริมาณอะไมโลเพคติน (%)
maize	26	74
wheat	25	75
rice	17	83
sorghum	26	74
potato	24	76
sago	27	73
waxy maize	1	99
waxy sorghum	1	99
tapioca	17	83

ที่มา : สุรัชย์, 2531

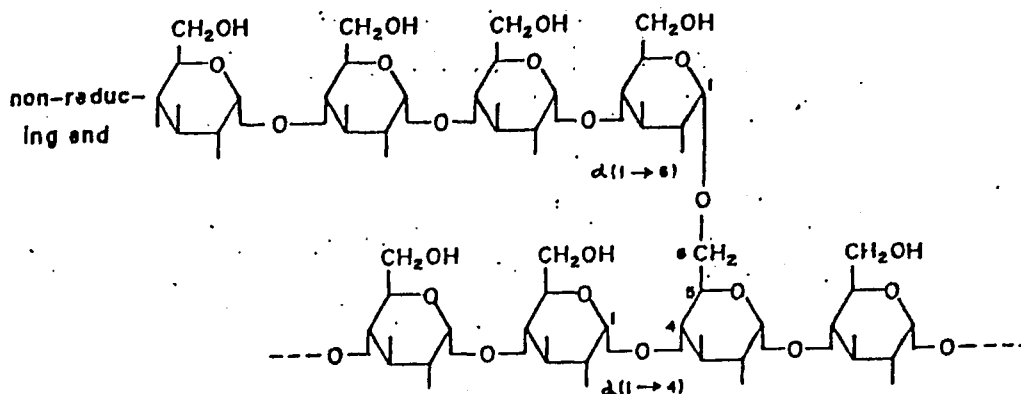
อะไมโลส(amylose) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลเป็นสายตรง(linear chain) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวโดยพันธะ (1-4) glycosidic bond มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา : ลีรินทร์, 2521

อะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลเป็นกิ่งก้าน (branch chain) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคสต่อกันเป็นเส้นตรงด้วย $\alpha(1-4)$ glycosidic bond และส่วนของกิ่งก้านจะต่อกับสายหลักโดยใช้ $\alpha(1-6)$ glycosidic bond มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างของอะไมโลเพคติน

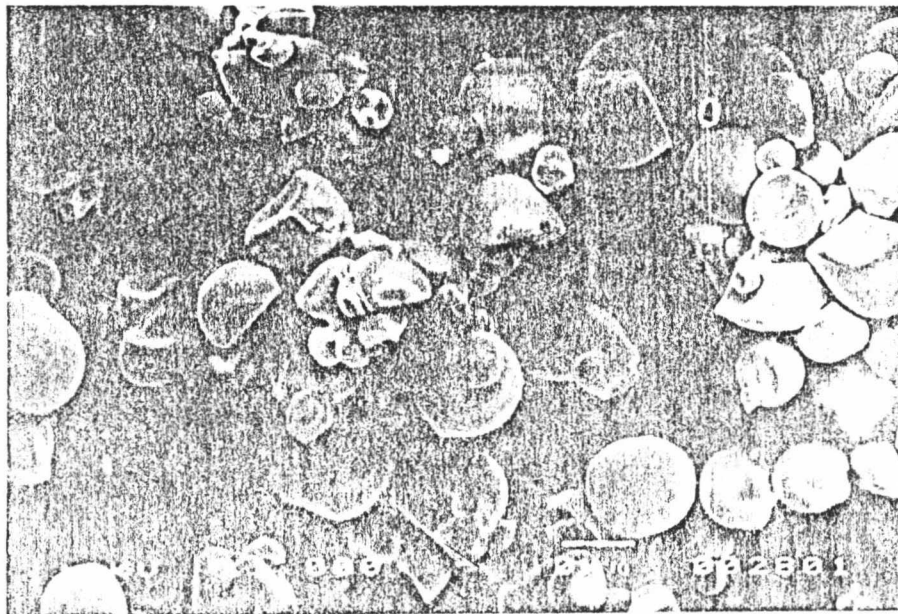
ที่มา : ลีรินทร์, 2521

เม็ดสตาร์ช (starch granules) จะจัดเรียงตัวเป็นวงซ้อนกันหลายชั้นมีลักษณะคล้ายภาพหัวหอมตัดขวาง ประกอบด้วยส่วนที่เป็น crystalline และส่วนที่เป็น amorphous ซึ่งสองส่วนนี้ทำให้เกิดลักษณะ birefringence ขึ้น เม็ดสตาร์ชต่างชนิดกันจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันเช่นเม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้ามีขนาดเล็กมาก เป็นรูปหลายเหลี่ยม ผิวไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะ birefringence น้อยดังแสดงในรูปที่ 3 ในขณะที่เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลัง

มีขนาด 12-15 ไมครอน มีหลายรูปร่าง เช่นทรงกลม หรือทรงไข่ ดังแสดงได้ในรูปที่ 4

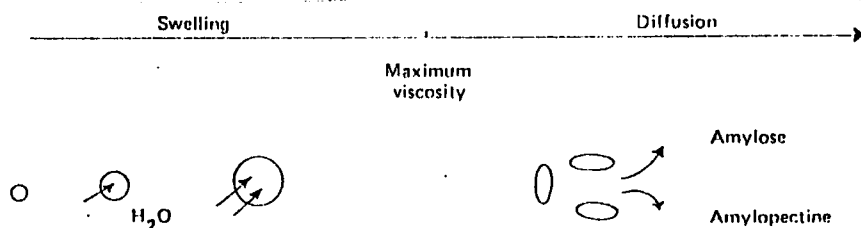


รูปที่ 3 เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้าชยาย 5000 เก้า
ที่มา : วุฒิชัย



รูปที่ 4 เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังที่ผ่านการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟ 7 นาที ชยาย
1000 เก้า
ที่มา : วุฒิชัย

ปกติแล้วสตาร์ชจะไม่ละลายน้ำ นอกจากจะมีการให้พลังงานเข้าไปเพื่อทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสตาร์ช และเกิดพันธะระหว่างน้ำกับสตาร์ช ทำให้สตาร์ชเกิดดูดซึมน้ำและพองตัว แต่จะพองตัวอย่างมีขีดจำกัด การพองตัวของสตาร์ชที่อุณหภูมิห้องนี้เรียกว่าการพองตัวที่แท้จริง (true swelling) สามารถทำให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ แต่เมื่อมีการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์ (gelatinization temperature) ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของสตาร์ชและมักจะมีค่ามากกว่า 50 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจะมีการพองตัวเต็มที่อย่างอิสระ ความหนืดของสารละลายสตาร์ชจะเพิ่มมากขึ้น และมีความหนืดมากที่สุดเมื่อโมเลกุลของสตาร์ชมีน้ำอ้อมตัว ซึ่งโมเลกุลเหล่านี้จะแยกออกจากโครงร่างตาข่าย (net work) ของพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ช กระจายสู่สารละลายรอบๆ

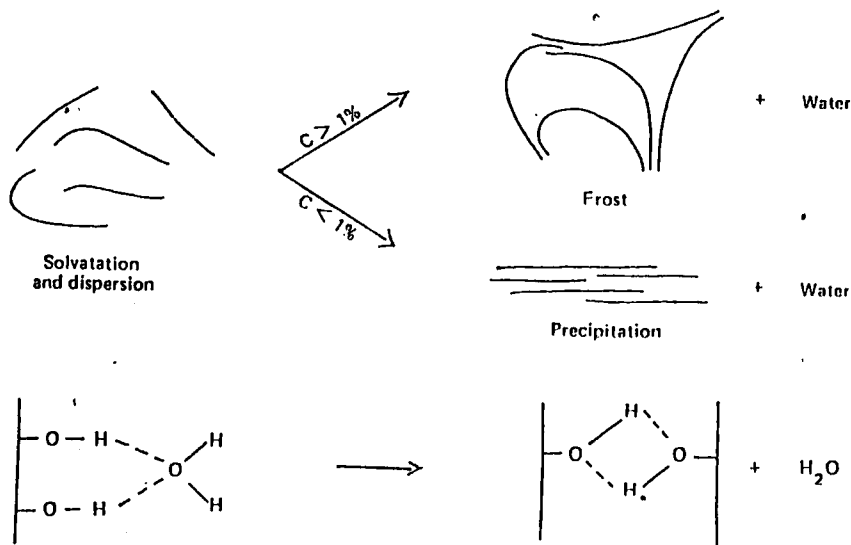


รูปที่ 5 Granular solvation process

ที่มา : Fleche, 1985

เมื่อทิ้งให้เจลมีอุณหภูมิลดลงจะเกิดปรากฏการณ์รีโทรกราเดชัน (retrogradation) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกตะกอน โดยที่โมเลกุลอะไมโลสในเม็ดสตาร์ชที่พองตัวแล้วกระจายตัวอยู่ในสารละลาย มีแนวโน้มจะรวมตัวกันทำให้เกิดเป็นตะกอนขึ้น ซึ่งจะพบในสารละลายสตาร์ชเจือจาง หรืออาจทำให้เกิดเป็นเจลที่หนืดขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสรวมตัวกันเองและรวมตัวกับอะไมโลเพคตินมากขึ้น ซึ่งจะพบในสารละลายสตาร์ชที่มีความเข้มข้นสูง อัตราการเกิดรีโทรกราเดชันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน โดยสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูง อะไมโลเพคตินต่ำจะเกิดรีโทรกราเดชันได้เร็ว และยังพบว่าอะไมโลสจากสตาร์ชต่างชนิดกันยังเกิดรีโทรกราเดชันด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันอีกด้วย เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันโดยอัตราการเกิดรีโทรกราเดชันจะสูงที่สุดเมื่ออะไมโลสมีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง เพราะอะไมโลสโมเลกุลที่จะเคลื่อนไปหว่า ส่วนโมเลกุลขนาดเล็กจะมีการเคลื่อนที่

แบบบราวเนียน (Brownian movement) ซึ่งไม่เป็นระเบียบ ทำให้การรวมตัวกันเกิดได้ยาก
 นอกจากนั้น Smirnov ยังพบว่ากรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก กรดเกลือ มีผลต่ออัตราการเกิด
 ริโทกราเดชั่น โดยที่ pH 2 อัตราการเกิดริโทกราเดชั่นจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่าของที่ pH
 6 แต่สารละลายด่างจะยับยั้งการเกิดริโทกราเดชั่นเพราะสามารถละลายสตาร์ชได้



รูปที่ 6 ปรากฏการณ์ริโทกราเดชั่น

ที่มา : Fleche, 1985

การเกิดริโทกราเดชั่นนี้มีความสำคัญในอุตสาหกรรมที่ใช้สตาร์ชเป็นอย่างมาก เพราะทำให้
 เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อของอาหารที่ไม่ต้องการ เช่น การแข็งตัวของแป้งจากสตาร์ช
 การทำให้เนื้อขนมปังแห้ง (stale) นอกจากนี้แป้งจากสตาร์ชที่เกิดริโทกราเดชั่นแล้วจะมีความฝึ
 ลลดลง

2.2 ไมโครเวฟ (MICROWAVE)

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง $10^8 - 10^{11} \text{ cm}^{-1}$ โดยที่
 ใช้กันอยู่ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 890-2450MHz ซึ่งเรียกความถี่ในช่วงนี้ว่าเป็นแถบความถี่อุตสาหกรรม
 วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ หรือ Industrial science and medical bands (ISM
 bands) ไมโครเวฟมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันมี 2 ค่าความถี่ คือ 2450 MHz สำหรับใน

ยุโรป และ 915 MHz สำหรับในสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ลึก 10 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ คลื่นไมโครเวฟเกิดได้จากแมกเนตรอน ซึ่งเป็นหลอดสูญญากาศ ประกอบด้วยขั้วคาโทด และแอโนด เมื่อมีการให้ความร้อนขั้วคาโทดจะปล่อยอิเล็กตรอนออกมา เมื่อได้รับความต่างศักย์สูง อิเล็กตรอนเหล่านี้จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปไมโครเวฟแล้วส่งต่อไปยังส่วนก่อนนำคลื่น (wave guide) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมทิศทางของไมโครเวฟ

คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นไมโครเวฟคือ

1. สามารถทะลุผ่านวัตถุบางอย่างได้ (transmittance)

คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านวัตถุบางชนิดได้โดยไม่ถูกดูดกลืน ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถผ่านภาชนะใส่อาหารได้ ในขณะที่ให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟจึงภาชนะใส่อาหารจึงไม่ร้อนเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนด้วยวิธีดั้งเดิม แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ภาชนะอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากอาหารสู่ภาชนะ

2. สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection)

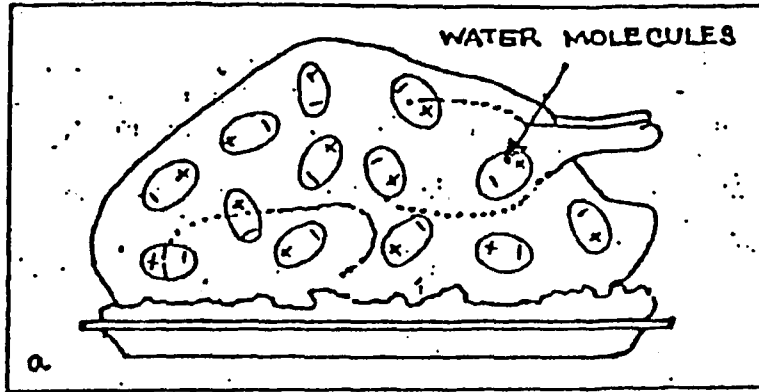
คลื่นไมโครเวฟจะเกิดการสะท้อนกลับเมื่อกระทบกับวัตถุประเภทโลหะ ซึ่งทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารได้ทุกทิศทาง เนื่องจากการสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของเตาอบไมโครเวฟซึ่งทำจากโลหะ

3. สามารถถูกดูดกลืนเข้าไปในอาหาร (Adsorption)

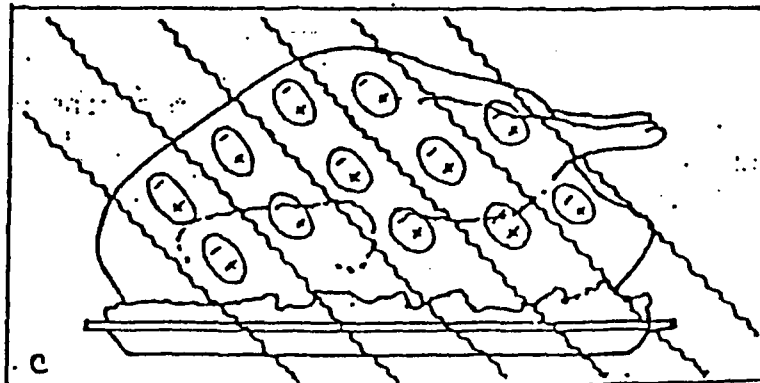
คลื่นไมโครเวฟถูกดูดกลืนเข้าไปในอาหารทำให้อาหารร้อนขึ้น อาหารที่มีน้ำอยู่มากจะดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเข้าไปได้ง่าย

หลักการให้ความร้อนของไมโครเวฟ

เนื่องจากไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่ออาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟ โมเลกุลที่มีอิเล็กตริกไดโพล (electric dipole) ในอาหาร เช่นโมเลกุลของน้ำ จะเกิดการเรียงตัวให้สอดคล้องกับสนามไฟฟ้าซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงถึง 915 หรือ 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่อยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อน



รูปที่ 7 การจัดเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ
ที่มา : Copson, 1975



รูปที่ 8 การจัดเรียงตัวของประจุในอาหารเมื่อได้รับความร้อนจากไมโครเวฟ
ที่มา : Copson, 1975

ปัจจัยที่มีผลกระทบ

1. ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำจะมีการทะลุผ่านชั้นอาหารได้ดี และมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนมากกว่า โดยทั่วไปจะเลือกความถี่ขึ้นกับความเหมาะสมในการใช้พลังงาน
2. ความเข้มของสนามไฟฟ้า เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้ามากขึ้น การให้ความร้อนจะใช้เวลาน้อยลง
3. ความชื้นในอาหาร อาหารที่มีความชื้นสูงสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้เร็ว
4. อุณหภูมิของอาหาร มีผลต่อสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงาน และสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดี
5. รูปร่างของอาหาร อาหารที่มีความหนามากเกินไปอาจทำให้ไมโครเวฟไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ ความสม่ำเสมอของรูปร่างก็มีผลกับการให้ความร้อนโดยพวกที่มีรูปร่างทรงกลมจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่ารูปทรงที่เป็นเหลี่ยมมุม
6. การนำไฟฟ้า เมื่อมีการเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหารเช่นการเติมเกลือ ทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากมีจำนวนโมเลกุลที่มีลักษณะอิเล็กตริกไดโพลเพิ่มขึ้น
7. การนำความร้อนของอาหาร ระหว่างการให้ความร้อนมีการนำความร้อนในชั้นอาหาร
8. ความจุความร้อนจำเพาะของอาหาร มีผลต่ออัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิของอาหาร

ข้อดีของการใช้ไมโครเวฟ

1. อัตราเร็วของการเพิ่มอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของอาหารน้อย
2. ความสม่ำเสมอของการเพิ่มอุณหภูมิต่ำ ไม่เกิดการแข็งตัวหรือไหม้ที่ผิวหน้า
3. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานดี เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการทะลุผ่านของคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในอาหาร จึงไม่มีการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศ
4. เครื่องมือมีขนาดเล็กไม่ใหญ่มากนัก ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย และแหล่งกำเนิดพลังงานไม่ทำให้เกิดความร้อนในตัวเอง ทำให้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมขณะประกอบการไม่สูงเท่ากับ การให้ความร้อนด้วยวิธีอื่น นอกจากนี้ระหว่างการทำงานเครื่องมือจะไม่สกปรกมากนักและสามารถปรับใช้การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติได้ดี

ข้อเสียของไมโครเวฟ

1. มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าใช้วิธีอื่น เพราะเครื่องมือมีราคาแพง
2. มีการศึกษาพบว่ามีโอกาสเป็นไปได้ที่คลื่นไมโครเวฟจะไม่ได้เข้าไปสัมผัสอาหารในทุกๆ ส่วน ถ้ามีเชื้อโรคหรือพยาธิปะปนอยู่อาจเกิดอันตรายแก่ผู้บริโภคได้ มีวิธีแก้คือ หมั่นเอาอาหารออกมาคนเพื่อให้อาหารทุกส่วนได้รับคลื่นไมโครเวฟอย่างทั่วถึง
3. ถ้ามีการรั่วไหลของคลื่นออกมาภายนอกปริมาณมากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ โดยเฉพาะกับดวงตา เพราะฉะนั้นต้องหมั่นตรวจสอบอยู่เสมอ

ความปลอดภัยในการใช้ไมโครเวฟ

มีรายงานทางด้านชีววิทยาว่าไมโครเวฟทำให้เกิดผลที่ไม่ใช่ผลจากความร้อน เช่นแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับดีเอ็นเอ (DNA) หรือโปรตีน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับผลที่เกิดจากรังสีไอออนไนซ์ แต่รายงานส่วนใหญ่จะพูดถึงผลกระทบเนื่องมาจากความร้อน ซึ่งมีผลทำให้ความร้อนในร่างกายสูงขึ้นมากกว่าปกติ โดยเฉพาะในวัยชราที่ไม่มีการหมุนเวียนของเลือดเพื่อช่วยลดอุณหภูมิ เช่นตา หู และลูกอัมตะ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในลักษณะของการเสื่อมสภาพทางธรรมชาติของเลนส์ กระจก และ การเป็นหมัน American National Standards Institution ได้กำหนดระดับมาตรฐานของไมโครเวฟที่ร่างกายสามารถสัมผัสได้คือ 10 mW/cm^2

การนำไมโครเวฟไปใช้ในอุตสาหกรรม

1. การลวก (blanching)

การลวก มีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอ็นไซม์ในผลไม้ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียที่อุณหภูมิแช่แข็ง ถึงแม้ว่าจะสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการลวกเมื่อเทียบกับการลวกน้ำร้อน แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าไรนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าเดิมมากนัก

2. Precook

การนำไมโครเวฟไปใช้ในกระบวนการนี้พบว่าประสบความสำเร็จ เนื่องจากสามารถลดระยะเวลาของกระบวนการ ลดค่าแรงงาน และเพิ่มเปอร์เซ็นต์ผลผลิต นอกจากนี้อาจใช้ร่วมกับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่กรอบและมีสีน้ำตาล

3. การอบ (baking)

โดยมากจะใช้การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม ซึ่งจะสามารถลดระยะเวลาการผลิต เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์

4. การทำแห้ง (Drying)

เป็นกระบวนการที่ประสบความสำเร็จมากเนื่องจากสามารถลดค่าใช้จ่ายและเวลาของกระบวนการลง คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ยังคงอยู่ และลดการเกิดการแข็งตัวภายนอกของอาหารเนื่องจากน้ำบริเวณผิวหน้าชั้นอาหารระเหยได้เร็วกว่า (case hardening) เนื่องจากไมโครเวฟจะเริ่มให้ความร้อนจากด้านในออกมา

5. การเพิ่มอุณหภูมิ (Tempering)

การใช้ไมโครเวฟในการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้สามารถลดเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารแช่แข็ง ลดการสูญเสียน้ำหนัก เพิ่มความชุ่มน้ำในผลิตภัณฑ์ ลดปริมาณน้ำที่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ (drip loss) ลดปริมาณจุลินทรีย์ และมีความยืดหยุ่นในการผลิต

6. การทำแห้งโดยใช้การแช่แข็ง (Freeze drying)

การใช้ไมโครเวฟจะช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนจาก 12 ชั่วโมงเหลือเพียง 4.2 ชั่วโมง และลดค่าใช้จ่าย

7. อุตสาหกรรมมันฝรั่งทอด

การทอดโดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิประมาณ 182-193 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาทีจนได้มันฝรั่งที่มีความชื้น 6-8% ซึ่งจะเกิดสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่ใช้มันฝรั่งที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่า 0.2% การนำไมโครเวฟเข้ามาใช้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งได้โดยทอดมันฝรั่งจนมีความชื้น 7-8% จากนั้นใช้ไมโครเวฟในการลดความชื้นจนเหลือความชื้นเพียง 1.5-2%

2.3 สตาร์ทัดแปร

สตาร์ทัดแปร หมายถึงสตาร์ทที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีหรือกายภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้

สาเหตุที่ต้องมีการตัดแปร

สตาร์ทธรรมชาติได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น โดยอาจใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณ (filler

agent) สารเพิ่มความหนืด (thickening agent) สารเชื่อม (binder) และอื่นๆ ปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ เครื่องจักรขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนมาใช้มากขึ้น เพื่อให้ความเร็วในการผลิตสูงขึ้น และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น สตาร์ชธรรมชาติไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เนื่องจากโครงสร้างและคุณสมบัติไม่เหมาะสม โดยเฉพาะเครื่องจักรที่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูง ซึ่งจะทำให้แป้งที่ได้มีลักษณะใสและเหลว ไม่มีความยืดหยุ่น เนื่องจากเม็ดสตาร์ชแตกหรือถ้าเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน จะทำให้แป้งที่ได้มีลักษณะแข็ง และแยกตัวออกมา คุณสมบัติของสตาร์ชที่เป็นที่ต้องการสำหรับเครื่องจักรที่มีความซับซ้อน

1. มีความเสถียรต่อความหนืดที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ
2. ความทนทานต่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องมือ
3. ความสามารถในการเป็นสารให้ความหนืดภายใต้สภาวะที่เป็นกรด หรือภาวะการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์
4. รักษาความมีประจุบวกไว้ ซึ่งจะมีผลกับการนำไปใช้เป็น adhesive ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ชนิดของสตาร์ชดัดแปร

1. สตาร์ชดัดแปรทางกายภาพ

สตาร์ชดัดแปรทางกายภาพ หมายถึง สตาร์ชที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางกายภาพ เช่นการให้ความร้อน การใช้รังสี การใช้ความดัน การบด และการให้แรงเฉือน ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุล หรือระดับเม็ดสตาร์ช โดยที่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดสตาร์ชหรือไม่ก็ได้ สตาร์ชดัดแปรทางกายภาพที่มีความสำคัญคือ พรีเจลาติไนซ์สตาร์ช (Pregelatinized starch) มีคุณสมบัติคือสามารถละลายน้ำเย็นได้สตาร์ชที่จะใช้ในการผลิตสตาร์ชดัดแปรชนิดนี้อาจใช้สตาร์ชธรรมชาติ หรือสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรมาแล้วก็ได้ สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูง และมีแนวโน้มจะเกิดปรากฏการณ์รีโทรกราเดชันสูงจึงไม่เหมาะจะนำมาใช้ในการผลิตสตาร์ชดัดแปรชนิดนี้

หลักการผลิตพรีเจลาติไนซ์สตาร์ช คือการให้ความร้อนแก่สตาร์ชที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ แล้วทำแห้งทันที เพื่อป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชัน โดยมีวิธีที่ใช้กันมากได้แก่

(n) heated-drum drying หรือ hot-toll method

(ข) spray drying

(ค) extruding

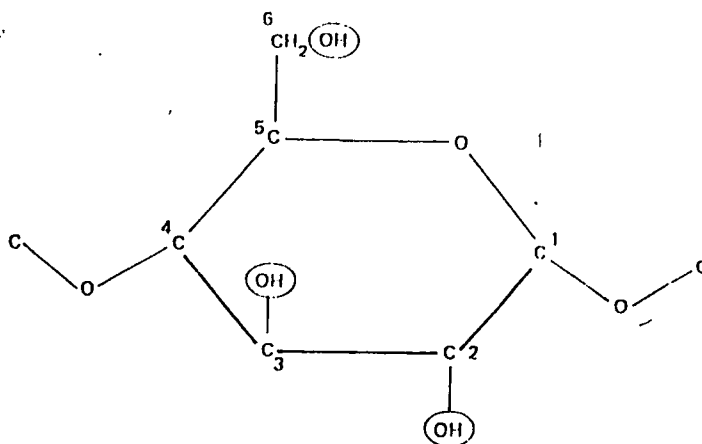
พรีเจลาติไนซ์สตาร์ชสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น instant-type puddings ซึ่งเป็นอาหารที่พร้อมรับประทานเมื่อเติมน้ำเย็นลงไป นอกจากนี้ยังนำไปใช้ในส่วนของผสมของเค้ก ซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติในการดูดน้ำของแป้ง และทำให้พองตัวมากขึ้น และบางครั้งยังทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมติด (binder) และ สารคงความชื้น (moisture stabilizer) ในผลิตภัณฑ์ table-ready meat และใช้ป้องกันการเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidative rancidity) เนื่องจากพรีเจลาติไนซ์สตาร์ชจะสามารถจับไขมันไว้ได้

2. สตาร์ชตัดแปรทางเคมี

สตาร์ชตัดแปรทางเคมี หมายถึงสตาร์ชที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทางเคมี หลักการทั่วไปของการตัดแปรทางเคมี คือ

1. บริเวณที่เกิดปฏิกิริยา

สตาร์ชเป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคสต่อกันด้วยพันธะ α (1,4) โดยเขียนเป็นสูตรทั่วไปได้ว่า $(C_6H_{10}O_5)_n$, $(C_6H_7O_2(OH)_3)_n$ หรือ $(C_6H_7(OH)_3O_2)_n$ หรือเขียนเป็นสูตรโครงสร้างได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน่วยกลูโคสและพันธะกลูโคซิดิก

ที่มา : Fleche, 1985

บริเวณที่จะเกิดปฏิกิริยามี 2 ตำแหน่ง คือบริเวณที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ และบริเวณพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ซึ่งจะเกิดการแตกหักของสายกลูโคส

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้กับชนิดของตัวกลางที่ใช้และวัตถุดิบ เช่นในการผลิตเด็กซ์ทริน ซึ่งใช้ตัวกลางที่เป็นของแข็ง ต้องการอุณหภูมิในช่วง 100-180 องศาเซลเซียส ในขณะที่ถ้าทำปฏิกิริยาในสภาวะเป็นเนื้อเดียวกัน (heterogenous phase) โดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส

3. สภาวะในการเกิดปฏิกิริยา (reaction phase)

คุณสมบัติพิเศษของเม็ดสตาร์ช ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเฉพาะสำหรับคัดแปรสตาร์ช ปกติเม็ดสตาร์ชจะไม่ละลายน้ำเย็น แต่มีแนวโน้มจะพองตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือเมื่อระดับการแทนที่ (degree of substitution) เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปสภาวะที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยามี 2 ประเภท คือ

3.1 Homogenous reaction phase ได้จากการให้ความร้อนหรือการทำให้ละลายในตัวทำละลายที่เป็นเบส ปฏิกิริยาสามารถเกิดได้ดี คือการแทนที่เป็นไปอย่างมีความสม่ำเสมอ และมีระดับการแทนที่ (degree of substitution) สูง แต่มีข้อจำกัดคือการแยกอนุพันธ์ที่ได้ออกจากตัวกลางทำได้ยาก อาจต้องใช้ตัวทำละลายอื่นมาตกตะกอน วิธีนี้เป็นไปได้ในห้องปฏิบัติการ แต่ในอุตสาหกรรมนั้นยังไม่เหมาะสมจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลาย

3.2 Heterogenous reaction phase ทำได้โดยให้สตาร์ชแขวนลอยอยู่ในน้ำหรือตัวทำละลายอื่น จากนั้นเติมรีเอเจนต์และตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป วิธีนี้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ออกจากตัวกลางได้ง่ายโดยใช้การกรอง ตัวกลางที่นิยมใช้คือน้ำถึงแม้ว่าจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีระดับการแทนที่ (DS) ต่ำ แต่ในกรณีที่ต้องการการพองตัวและการละลายก็จะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ หรืออาจจะใช้ของผสมของน้ำกับตัวทำละลาย โดยน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งรีเอเจนต์และตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนตัวทำละลายจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้สตาร์ชแขวนลอย

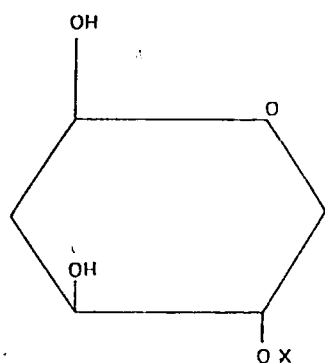
4. การตรวจสอบคุณสมบัติของสตาร์ชคัดแปรทางเคมี

4.1 Physical analysis เป็นการวิเคราะห์ขั้นแรกโดยจะวิเคราะห์โดยใช้ประสาทสัมผัส เช่นการมองเห็น และการรับรสเป็นต้น ปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาความรู้ด้าน infrared spectroscopy, differential scanning calorimetry (DSC) และ โครมาโตกราฟี

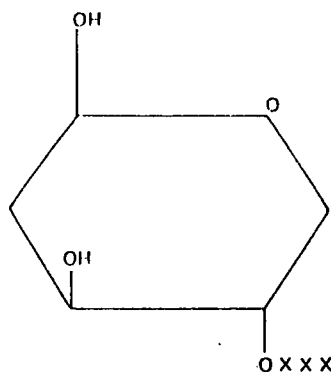
(chromatography) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่เชื่อถือได้มากกว่าวิธีการใช้กระดาษสีมัมส์ จึงได้มีการหันมาใช้วิทยาการเหล่านี้มากขึ้น โดยเฉพาะการใช้ DSC

4.2 Viscosity analysis เป็นการวิเคราะห์ความหนืดซึ่งจะบอกถึงระดับการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชตัดแปรที่ใช้ปฏิกิริยาดีโพลีเมอร์ไรซ์เซชัน (depolymerization) นอกจากนี้ยังสามารถบอกระดับการเกิด cross-link เพื่อประเมินการชะลอการเกิดเจลลิตไนซ์เซชัน และความทนต่อแรงเฉือน

4.3 Functional analysis เป็นการวิเคราะห์กลุ่มทางเคมีซึ่งเป็นตัวแทนของระดับการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะวัดได้จากระดับการแทนที่ (degree of substitution, DS) ซึ่งจะบอกถึงจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่ถูกแทนที่ในกลูโคส 1 หน่วย แต่ไม่สามารถบอกถึงตำแหน่งและความถี่ของการแทนที่ สตาร์ชตัดแปรที่ใช้ในอุตสาหกรรมมักจะมีค่า DS ต่ำ คือประมาณ 0.1-0.2 นอกจากค่า DS แล้วยังมีค่า molecular substitution (MS) ซึ่งจะบอกถึงจำนวนโมลสารที่เข้าแทนที่ในกลูโคส 1 หน่วย



DS = 1
MS = 1



DS = 1
MS = 3

รูปที่ 10 ความหมายของ DS และ MS

ที่มา : Fleche, 1985

ชนิดของสตาร์ชตัดแปรทางเคมี

1. Degraded starch

สตาร์ชตัดแปรนี้ได้จากการใช้สารเคมีย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชที่บริเวณพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ทำให้โมเลกุลสตาร์ชแตกตัว เกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็น

อัลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) หรือ คาร์บอกซิล (carboxyl) หรือทำให้เกิดการ
 เรียงตัวใหม่ของโมเลกุลสตาร์ชทำให้สตาร์ชมีความหนืดลดลง แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 Thin-boiling starch

หมายถึง สตาร์ชที่ผ่านปฏิกิริยาดีโพลีเมอร์ไรซ์เซชัน ได้สตาร์ชที่มีโมเลกุลเล็กลง โดย
 ใช้กรด ค้าง หรือเอ็นไซม์ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.1.1 Oxidized starch

เป็นสตาร์ชที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน(oxidation)
 ด้วย oxidizing agent ตัวที่เป็นที่นิยมที่สุดคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ปฏิกิริยาเป็นแบบคาย
 ความร้อน จึงต้องพยายามรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียสโดยการปรับอัตรา
 การเติมรีเอเจนต์ให้เหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จะมีหมู่คาร์บอนิลและหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งจะทำให้
 กระบวนการละลายเกิดได้ดีขึ้น และสามารถป้องกันการเกิดปรากฏการณ์รีโทรกราเดชัน ดังนั้น
 แป้งที่ได้จะมีความใสและคงตัวมากกว่าแป้งจากสตาร์ชธรรมชาติ

ออกซิไดซ์สตาร์ชสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น ใน
 อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ โดยใช้เป็นสารเชื่อมติด (binder) และสารช่วยป้องกันการซึม
 ผ่านของของเหลว (sizing agent) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ใช้เป็นสารช่วยป้องกันการซึม
 ผ่านของของเหลวและในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน และการทำ lemon และ
 orange curd

1.1.2 Hydrolyzed starch

เป็นสตาร์ชตัดแปรที่ผ่านการย่อยด้วยกรดที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส ซึ่ง
 เป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ โดยทั่วไปจะใช้กรดไฮโดรคลอริก และกรด
 ซัลฟูริก ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดที่พันธะ $\alpha(1,6)$ ก่อน ทำให้โมเลกุลสตาร์ชมีเป็นลักษณะ
 เป็นเส้นตรงมากขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้เกิดรีโทรกราเดชันได้ง่ายขึ้น แต่มีความหนืดต่ำ ซึ่งทำให้
 สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการเจลาที่แข็งตัวเช่นอุตสาหกรรมการผลิตขนม แต่ไม่เหมาะ
 จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องสตาร์ชที่มีคุณสมบัติการเกิดฟิล์มที่ดี

1.2 Dextrin (เด็กซ์ตริน)

เด็กซ์ตริน เป็นสตาร์ชที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยกระบวนการไพโรคอนเวอร์ชัน
 (Pyroconversion) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแก่สตาร์ชที่ถูกทำให้เป็นกรด (acidified
 starch) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 ชนิดคือปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของพันธะ

$\alpha(1,4)$ และปฏิกิริยารีโพลีเมอร์ไรเซชัน (repolymerization) ผลลัพธ์ที่ได้แบ่งเป็น 3 พวกคือ

1.2.1 White dextrans เป็นสตาρχที่ผ่านกระบวนการรีโพลีเมอร์ไรเซชัน โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการทำลายพันธะ $\alpha(1,4)$ และ $\alpha(1,6)$ มีความหนืดต่ำลง ซึ่งเป็นข้อดีของแป้งชนิดนี้เพราะสามารถเพิ่มความเข้มข้นของสตาρχที่ใช้ได้ ผลลัพธ์ที่ได้มีสีขาว น้ำหนักโมเลกุลลดลงทำให้มีการละลายน้ำเปลี่ยนไป โดยที่จะสามารถในการละลายสูงสุดเป็น 50-70%

1.2.2 Yellow dextrans การผลิต yellow dextrin นี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดปริมาณน้อยกว่า white dextrans แต่เผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 150-220 องศาเซลเซียส และใช้เวลานาน ผลลัพธ์ที่ได้มีสีตั้งแต่เหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล สามารถละลายได้ในน้ำและกรด และมีความหนืดต่ำ

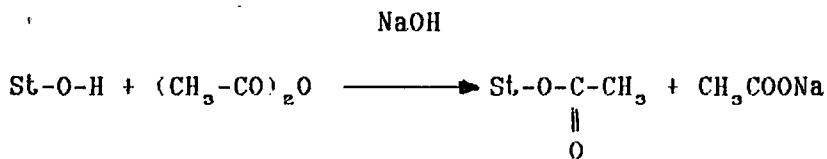
1.2.3 British gums เกิดจากการให้ความร้อนแก่แป้งเพียงอย่างเดียว หรืออาจมีบีฟเฟอร์ที่เป็นด่างปนอยู่ด้วยเล็กน้อย อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 180-220 องศาเซลเซียส สตาρχที่ใช้มักได้จากข้าวโพด ข้าวสาลี และมันฝรั่ง ผลลัพธ์ที่ได้มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลแก่ คุณสมบัติของบริติชกัม คือสามารถละลายในน้ำเย็นได้มาก มีแนวโน้มการเกิดริโทคราเดชันน้อย แต่จะให้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่ที่พบว่ามีการใช้เป็นตัวพาสารให้กลิ่นรส (flavor carrier)

2. Starch derivative

เป็นสตาρχดัดแปรที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาแทนที่กับหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสในโมเลกุลสตาρχ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน อีเทอร์ริฟิเคชัน หรืออื่นๆ คุณสมบัติของสตาρχดัดแปรชนิดนี้ขึ้นกับธรรมชาติของอนุพันธ์ที่เข้ามาทำปฏิกิริยาและระดับการแทนที่ถ้าอนุพันธ์ที่เข้ามาแทนที่เป็นแบบ hydrophilic group เช่น หมู่คาร์บอกซิล จะทำให้คุณสมบัติในการเกิดเจลลดลง และความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอนุพันธ์เป็นแบบ hydrophobic group เช่น หมู่ acetyl จะทำให้สตาρχดัดแปรที่ได้สามารถนำไปใช้เป็น emulsion stabilizing agent สำหรับระดับการแทนที่นั้น ถ้าอยู่ในระดับต่ำ (DS อยู่ในช่วง 0.01-0.02) ซึ่งเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมอาหาร สตาρχจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น เป็นการเพิ่มความคงตัวให้กับอะไมโลส นอกจากปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลแล้ว starch derivative ยังอาจได้จากปฏิกิริยาของสารเคมีกับหมู่ไฮดรอกซิลของสตาρχ 2 โมเลกุลที่แตกต่างกัน จึงสามารถแบ่ง starch derivative ออกเป็น 3 ประเภท คือ

2.1 Starch ester

สตาร์ชเอสเทอร์ที่กล่าวถึงมีอยู่มากมาย แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่มีวางขายตามท้องตลาด ตัวที่สำคัญที่สุดคือสตาร์ชอะซิเตต (starch acetate) ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงสตาร์ชอะซิเตตเพียงตัวเดียว การเตรียมสตาร์ชอะซิเตตนิยมใช้ acetic anhydride ทำปฏิกิริยา acetylation กับแป้ง โดยอาจใช้ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการนี้



เนื่องจากสตาร์ชอะซิเตตเกิดการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลตลอดสายโมเลกุล แวนดีนในการเกิดรีโทรกราเดชันจึงน้อยลง เพลสมีความหนืดมากขึ้น มีความใสเมื่อเย็นเนื่องจากมีระดับการพองตัวสูง และเพิ่มการกระจายตัวให้ดีขึ้น

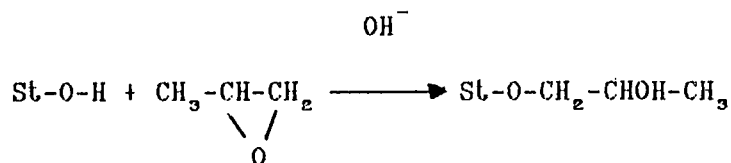
สตาร์ชอะซิเตตที่ได้ใช้เป็กาว (adhesive) และสารป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันและไขมัน (grease sizing) ในอุตสาหกรรมกระดาษ และใช้เป็นสารเชื่อมติดที่ทนกรดในอุตสาหกรรมอาหาร

2.2 Starch ether

สตาร์ชอีเทอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

2.2.1 Propoxylated starch

สตาร์ชตัดแปรชนิดนี้ได้จากปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชกับ propylene oxide ดังสมการต่อไปนี้

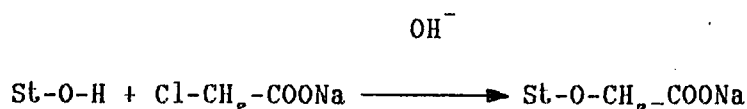


ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความคงตัวที่ความเป็นกรดใดๆ แต่ต้องใช้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่เก็บในที่เย็น นอกจากนั้น

แป้งดัดแปรชนิดนี้ยังมีความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มที่ดี จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อเป็นสารเคลือบผิว อุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้เป็นสารป้องกันกาซึมผ่านของของเหลว และในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง และสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มี DS สูงจะถูกนำไปใช้แทน blood plasma

2.2.2 Carboxymethylated Starch

ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง sodium monochloroacetate กับโมเลกุลของสตาร์ช ในตัวกลางที่เป็นด่าง ดังสมการต่อไปนี้



ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) และมีความหนืดสูง จึงทำให้ใช้เป็นสารเพิ่มความข้นเหนียว (thickening agent) ในสีทาบ้าน กาวติด wallpaper และอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในด้านเภสัชกรรมอีกด้วย

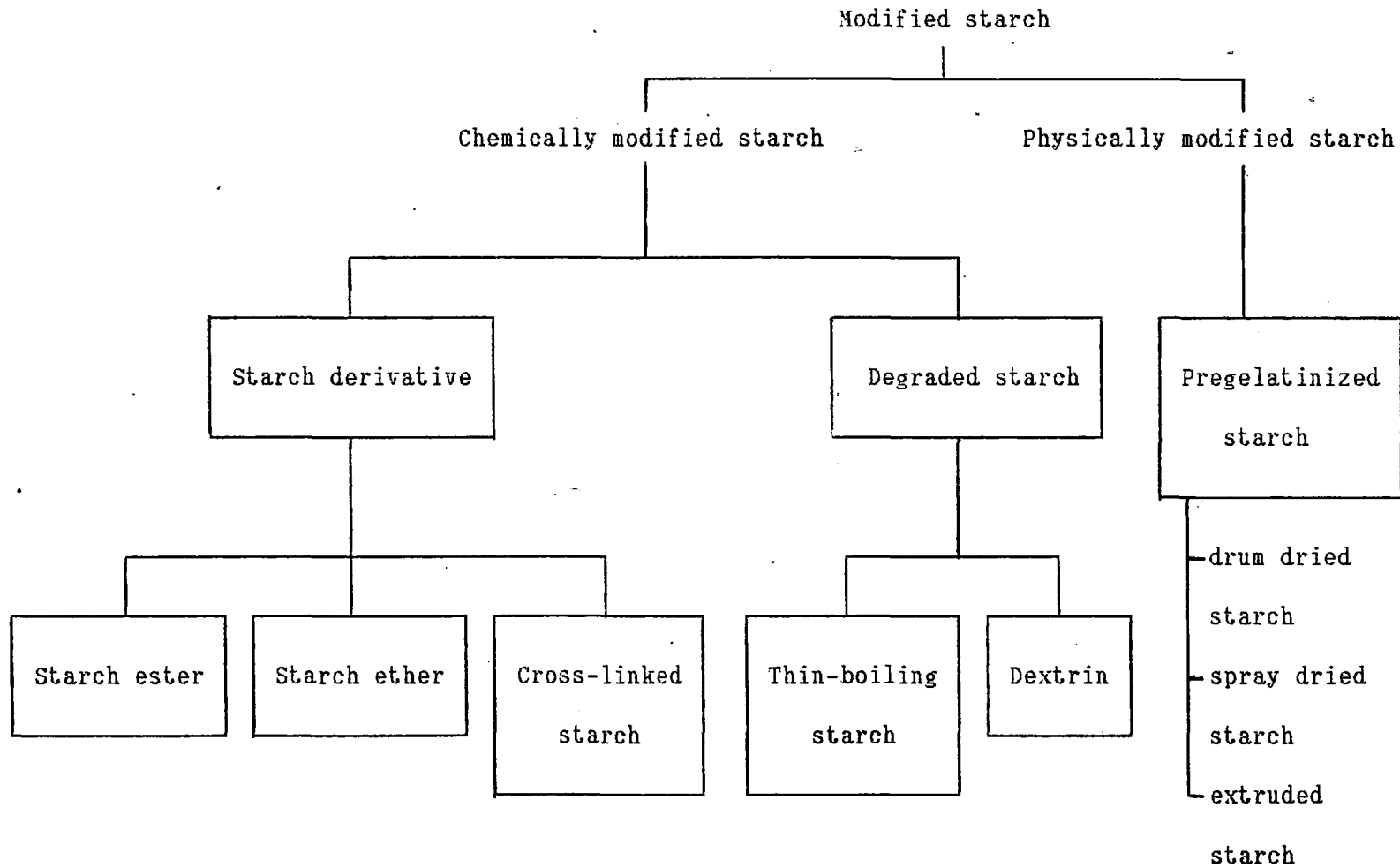
2.2.3 Cationic starch

เป็นสตาร์ชอีเทอร์ตัวที่สำคัญที่สุดเนื่องจากการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะขอล่าถึงรายละเอียดไว้ในส่วนหลัง

2.3 Cross-linked starch

สตาร์ชประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดครอสลิงระหว่างโมเลกุลโดยใช้สารที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น epichlorohydrin, phosphorus oxychloride, sodium trimetaphosphate และ formaldehyde รีเอเจนต์ตัวที่สำคัญคือ phosphorus oxychloride และ sodium trimetaphosphate ซึ่งจะทำให้เกิด distarch phosphate

ผลของการครอสลิงคือทำให้ความหนืดลดลงเมื่อมีระดับการเกิดครอสลิงสูงขึ้น โครงสร้างตาข่ายของโมเลกุลมีความแข็งแรงมากขึ้น การดัดแปรนี้จะทำให้ทนแรงเฉือนร่วมกับความร้อนได้มากขึ้น และปรับปรุงความเสถียรในกรด ทำให้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทนต่อการสเตรอริไลซ์ในอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษลูกฟูกและสิ่งทอ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นกาวได้อีกด้วย



รูปที่ 13 การแบ่งชนิดของสตาร์ชดัดแปร

ที่มา : Narkrugsa, 1990

2.4 แคทออลิกสตาร์ช

แคทออลิกสตาร์ช เป็นสตาร์ชคัลแบรท์ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ imino, amino, ammonium, sulfonium หรือ phosphonium ที่มีประจุบวก อนพจน์ที่มีบทบาทสำคัญ คือ Tertiary amino และ Quaternary ammonium starch ether ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ คือ ความสามารถในการจับกับสารที่มีประจุลบ โดยจะทำหน้าที่เป็น wet-end additive, surface sizing และ coating binder เพื่อช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของกระดาษ

FDA (Food and Drug Administration) ได้กำหนดสารเคมีที่สามารถใช้สำหรับผลิตแคทออลิกสตาร์ชซึ่งจะนำไปใช้ในการผลิตกระดาษที่สัมผัสกับอาหารโดยตรง คือ

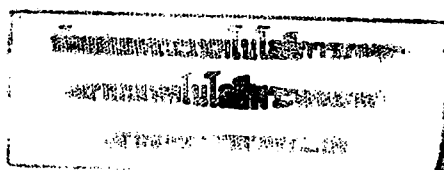
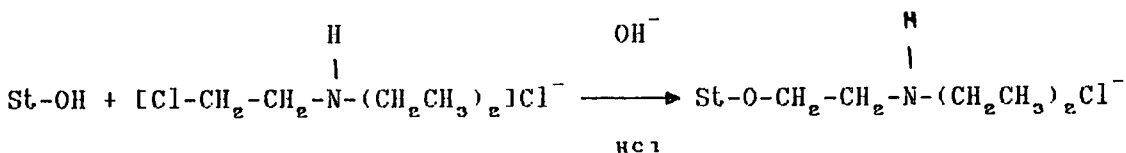
- (4-chlorobutene-2)-trimethylammonium chloride
- 2-diethylaminoethyl chloride
- 2,3-(epoxypropyl) trimethylammonium chloride

ชนิดของแคทออลิกสตาร์ช

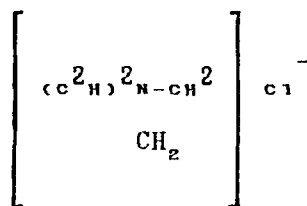
แคทออลิกสตาร์ชมีหลายชนิด โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะชนิดที่มีความสำคัญเท่านั้น

1. Tertiary Aminoalkyl Starch Ether

สามารถเตรียมได้จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง starch granule กับ 2-diethyl aminoethyl chloride (DEC) ในน้ำที่ค่าความเป็นกรดประมาณ 10.5-12 ที่อุณหภูมิ 25-50 องศาเซลเซียส (อาจมีการเติม Na_2SO_4 หรือเกลือชนิดอื่นๆ เพื่อป้องกันการพองตัวในกรณีที่ใช้ NaOH) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ภายใต้สภาวะที่เป็นค่า starch tertiary amino ether ที่ได้ จะถูกนำไปทำให้เป็นกลางด้วยกรด เพื่อเป็นการเติมโปรตรอนและทำให้เกิดหมู่ที่มีประจุบวกได้เป็น cationic tertiary ammonium salt ซึ่ง reagent ที่ใช้จะอยู่ในรูป hydrochloride, bisulfate หรือเกลืออื่น ๆ โดย DEC จะฟอร์มตัวอยู่ในรูปวงแหวนของ ethylenimonium ion ซึ่งไวในการเกิดปฏิกิริยา

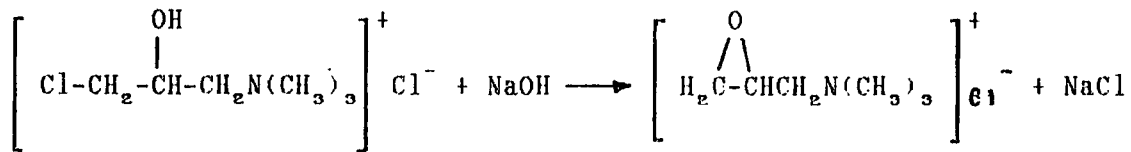


นอกจาก diethylaminoethyl chloride แล้วยังสามารถใช้สารตัวอื่นอีก เช่น 2-diisopropylaminoethyl chloride, 2-diethylaminoethyl bromide และ 2-dimethylaminoisopropyl chloride starch tertiary amine สามารถเปลี่ยนเป็น quaternary ammonium salts โดยทำปฏิกิริยากับ methyl iodide ใน refluxing ethanol ได้

2. Quaternary Ammonium Starch Ethers

รีเอเจนต์ที่ใช้ในการผลิต quaternary ammonium starch ether เตรียมได้จากปฏิกิริยาของ epichlorohydrin กับ tertiary amine ดังสมการ tertiary amine ที่ใช้นั้นสามารถเลือกใช้ได้หลายชนิดแต่ตัวเกิดปฏิกิริยากับ epichlorohydrin ได้คือตัวที่มีหมู่เมทิลอย่างน้อย 2 หมู่ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาจะต้องกำจัดหรือลด epichlorohydrin ที่เหลือ และผลผลิตอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น 1,3-dichloropropanol โดยการกลั่นสุญญากาศหรือสกัดด้วยตัวทำละลาย เพื่อป้องกันการเกิดครอสลิงกับสตาร์ช ลดการกระจายตัว และลดความสามารถของแคทไอออนิกสตาร์ช การใช้เกลือ tertiary amine ของกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก จะช่วยลดการเกิดผลผลิตอื่นที่ไม่ต้องการได้

รีเอเจนต์ในรูปคลอโรไฮดรินจะเสถียรในน้ำ และสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปอีพอกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการ

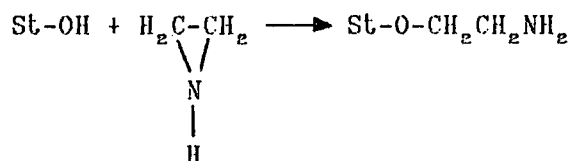


ได้มีผู้ทำการทดลองผลิตแคทไอออนิกสตาร์ชโดยใช้ 3-chloro-2(hydroxypropyl) trimethylammonium chloride ทำปฏิกิริยากับสตาร์ชจากข้าวโพด โดยมีการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเฟตเพื่อป้องกันการฟองตัว โดยใช้อัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อรีเอเจนต์เป็น 2.8:1 รีเอเจนต์ต่อสตาร์ชเป็น 0.05:1 และใช้ความเข้มข้นของแป้ง 35% ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีระดับการแทนที่อยู่ระหว่าง 0.01-0.07 และประสิทธิภาพของปฏิกิริยา 84% ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้จะต้องใช้เวลานานขึ้น แคทไอออนิกสตาร์ชที่มีระดับการแทนที่อยู่ในช่วง 0.02-0.04 เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ

รีเอเจนต์ที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเป็นรีเอเจนต์ที่ไม่ระเหย ซึ่งเหมาะจะใช้ในกระบวนการผลิตแบบแห้งหรือแบบกึ่งแห้ง รีเอเจนต์ที่อยู่ในรูปอีพอกไซด์และไกลซีลสามารถเกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องการตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 120-150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง จะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาถึง 75-100 % และสามารถใช้อุณหภูมิต่ำ เช่น 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง

3. Aminoethylated starches

ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง ethyleneimine กับ สตาร์ชได้เป็น 2-aminoethyl ether ดังสมการ

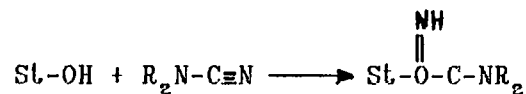


กระบวนการผลิตทำได้ทั้งแบบแห้ง แบบกึ่งแห้ง และแบบเปียก โดยกระบวนการผลิตแบบแห้งและกึ่งแห้ง ทำได้โดยผสมแป้งกับก๊าซเอทิลีนเอมีน (ethyleneimine) ที่ 75-120

องศาเซลเซียส ส่วนกระบวนการแบบเปียกนั้นทำได้โดยใช้เอทิลีนอิมินในรูปของเอทิลีนออกไซด์ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เทอร์เชียรีอะมิโนสตาร์ช (tertiary amino starch)

4. Cyanamide-starch

ได้จากปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ช และ disubstituted cyanamide ในแบบสแก๊ส ได้เป็นสตาร์ชอิมินไดอัลคิลคาร์บาเมต (starch iminodialkyl carbamate) ดังสมการ



การนำแคทอไออนิกสตาร์ชไปใช้

1. อุตสาหกรรมกระดาษ โดยนำไปใช้ดังต่อไปนี้

1.1 สารที่เติมลงในช่วงกระบวนการเวทเอนด์ (wet-end additive)

โดยแคทอไออนิกสตาร์ชจะเพิ่มความแข็งแรง และปรับอัตราการระบายน้ำออกจากเยื่อไม้ ช่วยลดการเกาะของฝุ่นเมื่อนำมาย้อมสี และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นกาวอีกด้วย

1.2 สารป้องกันการซึมผ่านของของเหลว (sizing agent)

1.3 สารเคลือบผิวกระดาษ (coating)

โดยแคทอไออนิกสตาร์ชจะทำให้กระดาษมีความแข็งแรงและอุ้มน้ำหนักได้ดี เพิ่มความเป็นมันวาว ทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างทั่วถึงของน้ำมันดิน

2. อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ใช้เป็นสารป้องกันการซึมผ่านของน้ำในเนื่องจากความสามารถในการเกิดฟิล์มดี และมีความเหนียวคงตัว แคทอไออนิกสตาร์ชประเภท Quaternary ammonium มักใช้เติมลงในผงซักฟอก เพื่อใช้ในการซักแห้ง เพื่อปรับความนุ่มและเรียบภายหลังการซักแห้งและอบ

3. สารช่วยตกตะกอน (flocculation)

แคทอไออนิกสตาร์ชจะสามารถตกตะกอนสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่มีประจุลบ

4. สารซักฟอกและเครื่องสำอางค์

5. กาว เช่นกาวที่ใช้ในการปิดฉลาก

6. อื่นๆ

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์

แป้งมันสำปะหลังตราจิงโจ้บิเนเย็ชบลูกโลก หจก.เจริญวรกิจ

3.2 อุปกรณ์

1. ตู้อบไมโครเวฟ Goldstar : model ER-461 OD
2. sieve shaker Fritsch : type 03.502
3. เครื่องผสม Hobart Coporation : model K5ss
4. ตู้อบ Memmert : model 400
5. เครื่องชั่งละเอียด
6. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (Buchi)
7. เครื่อง soxhlet

3.3 สารเคมี

1. Quat188 (3-chloro-2-(hydroxypropyl)trimethylammonium chloride)
(บริษัท Fluka)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (บริษัท Farmitalia Carlo Erba)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 80 % โรงงานสุราอยุธยา
4. Copper sulfate (บริษัท Merkck Ltd.)
5. Potassium sulfate (บริษัท Merkck Ltd.)
6. boric acid (บริษัท Merkck Ltd.)
7. hydrochloric (conc) (บริษัท J.T.Baker)
8. sulfuric acid (บริษัท J.T. Baker)

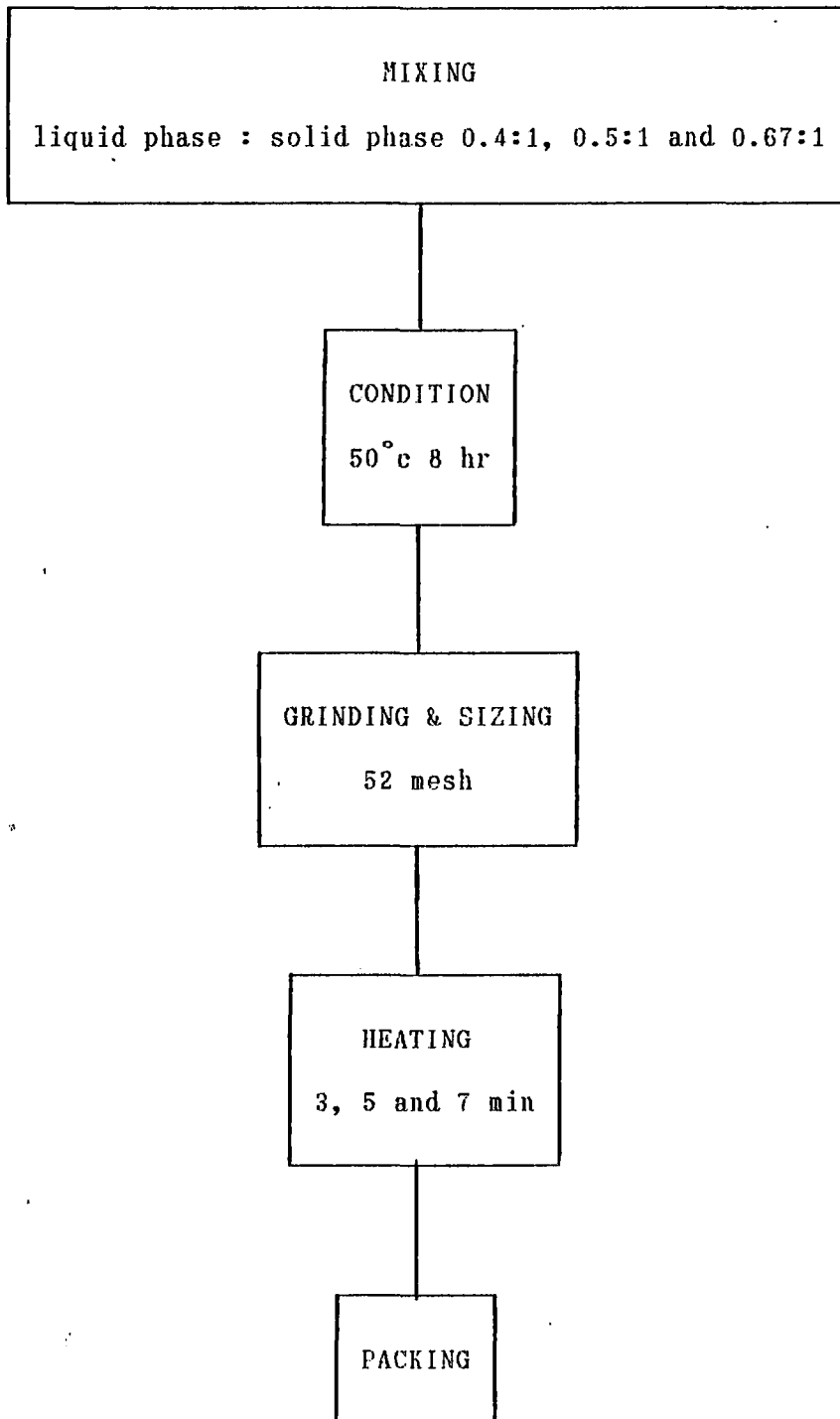
3.4 วิธีทำการทดลอง

กระบวนการผลิตแคทออลิกสตาร์ช

นำแป้งมันสำปะหลัง 200 กรัมมาผสมกับสารละลายรีเอเจนต์ ซึ่งประกอบด้วย 11.6% Quat188 และ 6.9% NaOH โดยใช้อัตราส่วนของ liquid phase : solid phase เป็น 0.40:1, 0.50:1 และ 0.67:1 จากนั้นนำไปปรับความชื้นที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำมาบดและคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 52 mesh แล้วให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ เวลา 3, 5 และ 7 นาที จากนั้นรอให้เย็นแล้วบรรจุในภาชนะปิดสนิท

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

1. ปริมาณความชื้น (วิธี AOAC 14.004)
2. ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว (วิธี AOAC 14.068 โดยใช้เครื่อง Buchi เป็นตัวกลั่น)
3. ระดับการแทนที่ (Degree of substitution, DS)
4. ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction efficiency, RE)



รูปที่ 12 การผลิตคอนกรีตอัดแรง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

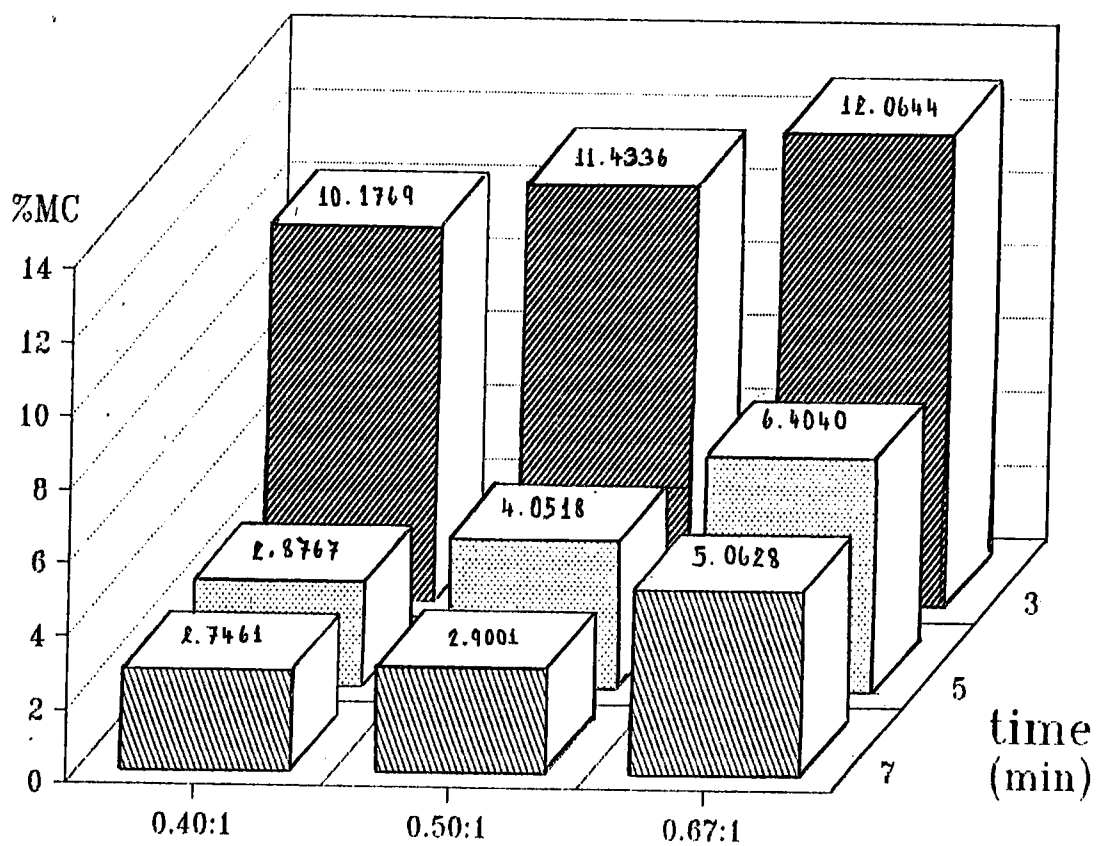
การทดลองนี้ใช้การทดลองแบบ factorial design แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม sas และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95 %

4.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้นของแคทออลนิกสตา์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

liquid : solid	heating time	%MC	SD	cv
0.40 : 1	3	10.1768	0.0639	0.63
	5	2.8767	0.0412	1.43
	7	2.7461	0.1362	4.96
0.50 : 1	3	11.4336	0.1337	1.17
	5	4.0518	0.0980	2.42
	7	2.9001	0.0672	2.32
0.67 : 1	3	12.0644	0.1342	1.11
	5	6.4040	0.0627	0.98
	7	5.0628	0.2407	4.75

ข้อมูลจากตารางที่ 2 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 13 กราฟแสดงปริมาณความชื้นที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

ข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น

liquid : solid	heating time (min)		
	3	5	7
0.40 : 1	10.1769	2.8767 ^b	2.7461 ^b
0.50 : 1	11.4336 ^a	4.0518	2.9001 ^b
0.67 : 1	12.0644 ^a	6.4040	5.0628

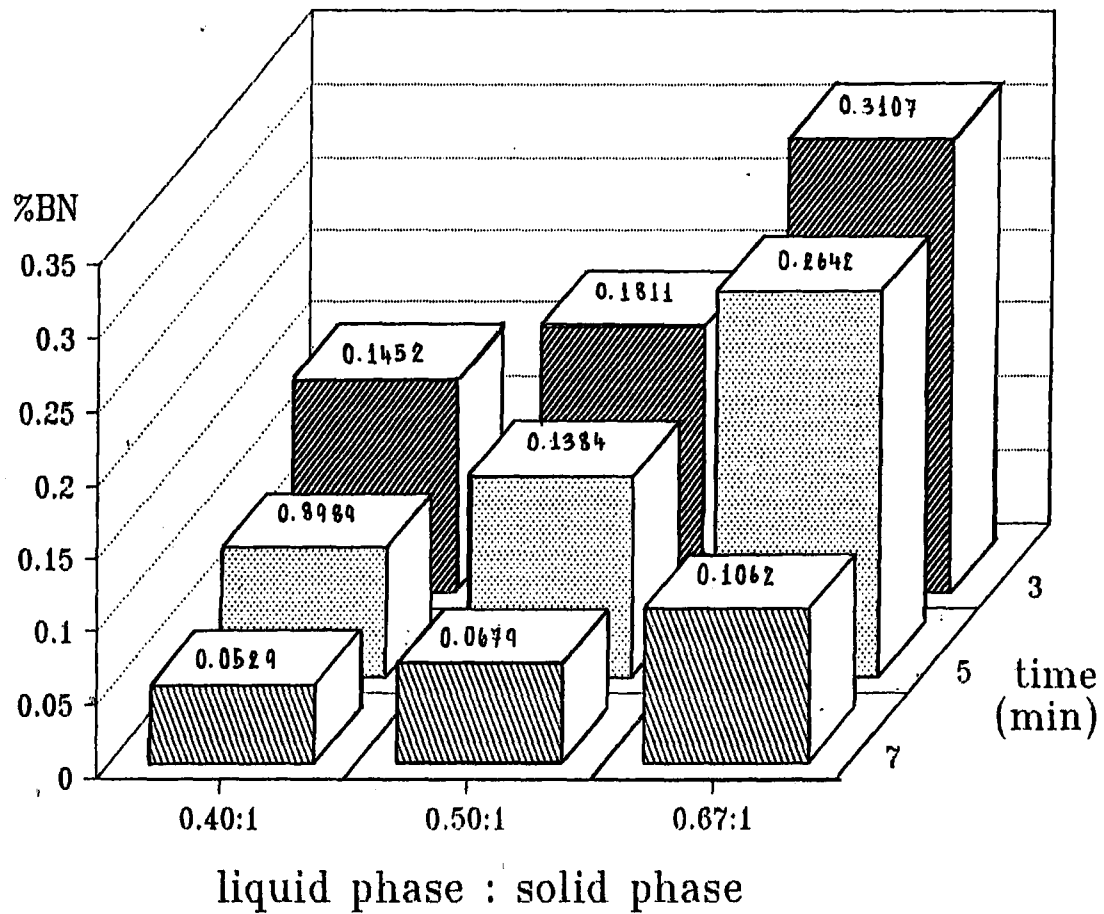
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรตัวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว (Bound nitrogen)

ตารางที่ 4 ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดอานิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

liquid : solid	heating time	%BN	SD	cv
0.40 : 1	3	0.1452	0.0058	3.99
	5	0.0898	0.0056	6.24
	7	0.0529	0.0050	9.45
0.50 : 1	3	0.1811	0.0065	3.59
	5	0.1384	0.0025	1.81
	7	0.0679	0.0017	2.50
0.67 : 1	3	0.3107	0.0065	2.09
	5	0.2642	0.0085	3.22
	7	0.1062	0.0070	6.59

ข้อมูลจากตารางที่ 4 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 14 กราฟแสดงปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

ข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว

liquid : solid	heating time (min)		
	3	5	7
0.40 : 1	0.1452 ^a	0.8989	0.0529
0.50 : 1	0.1811	0.1384 ^a	0.0679
0.67 : 1	0.3107	0.2642	0.1062

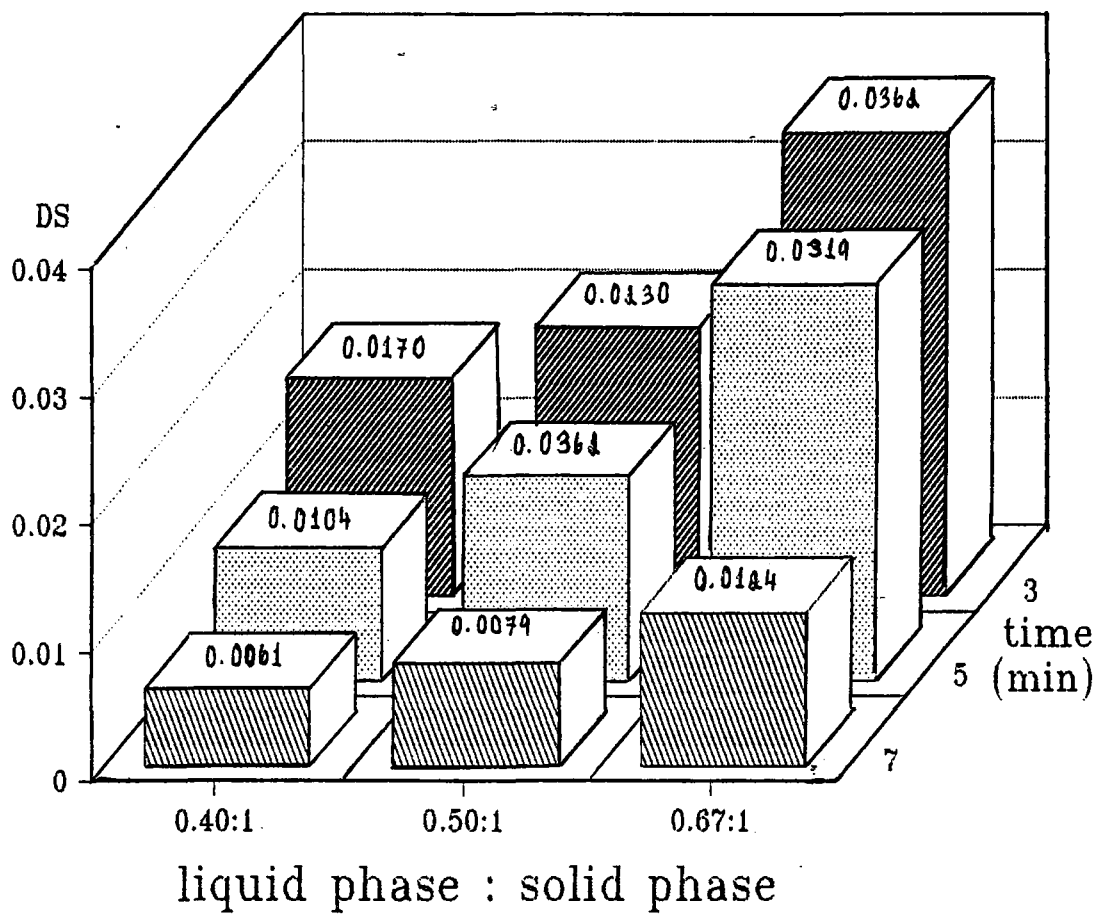
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรตัวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.3 ระดับการแทนที่ (Degree of substitution)

ตารางที่ 6 ระดับการแทนที่ของแคทไอออนิกสตาร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

liquid : solid	heating time	DS	SD	cv
0.40 : 1	3	0.0170	0.0007	4.11
	5	0.0104	0.0006	5.77
	7	0.0061	0.0006	9.84
0.50 : 1	3	0.0214	0.0008	3.74
	5	0.0162	0.0003	1.85
	7	0.0079	0.0002	2.53
0.67 : 1	3	0.0362	0.0019	5.25
	5	0.0313	0.0010	3.19
	7	0.0124	0.0008	6.45

ข้อมูลจากตารางที่ 6 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 15 กราฟแสดงระดับการแทนที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

ข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับการแทนที่

liquid : solid	heating time (min)		
	3	5	7
0.40 : 1	0.0170 ^a	0.0104	0.0061 ^b
0.50 : 1	0.0230	0.0162 ^a	0.0079 ^b
0.67 : 1	0.0362	0.0319	0.0124

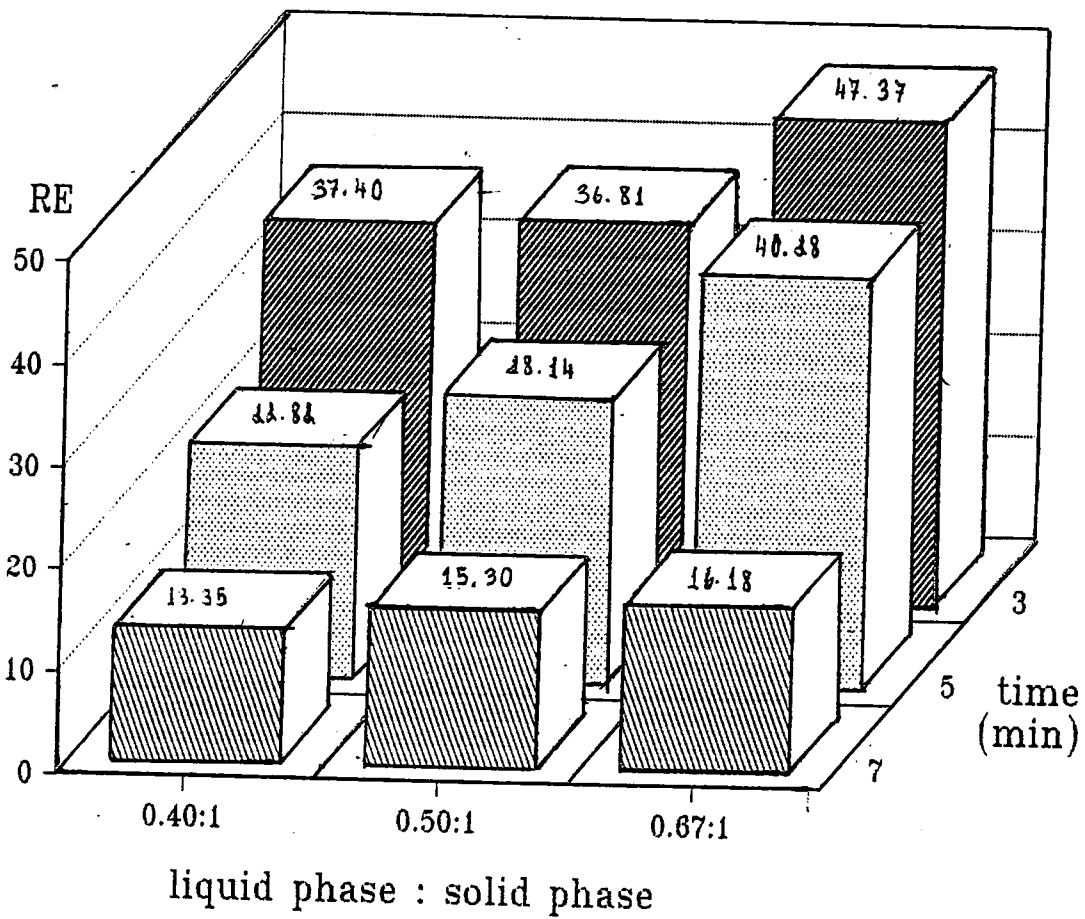
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรตัวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.4 ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction efficiency)

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาของแคทออลอนิกสคาร์ซีที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase และ เวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

liquid : solid	heating time	RE	SD	cv
0.40 : 1	3	36.39	1.7052	4.68
	5	22.82	1.4123	6.19
	7	13.11	1.0600	8.08
0.50 : 1	3	36.81	1.3267	3.60
	5	28.14	0.5035	1.85
	7	15.30	3.0816	1.79
0.67 : 1	3	47.37	0.9865	2.08
	5	40.28	1.2993	3.22
	7	16.18	1.0752	6.64

ข้อมูลจากตารางที่ 8 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้จากข้อมูลได้ดังนี้



รูปที่ 16 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา liquid phase : solid phase และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

ข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา

liquid : solid	heating time (min)		
	3	5	7
0.40 : 1	37.40 ^a	22.82	13.35 ^b
0.50 : 1	36.81 ^a	28.14	15.30 ^{bc}
0.67 : 1	47.37	40.28	16.18 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรตัวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่า correlation coefficient (r) และ coefficient of determination (r^2)

ตารางที่ 10 ค่า correlation coefficient (r) และ coefficient of determination (r^2) ของเวลาในการให้ความร้อน และอัตราส่วน liquid phase : solid phase

	factor			
	heating time		liquid : solid	
	r	r^2	r	r^2
MC	-0.85	0.7225	0.03	0.0922
%BN	-0.61	0.4540	0.15	0.0220
DS	-0.67	0.4450	0.15	0.0220
RE	-0.88	0.7780	0.08	0.0717

จากตารางพบว่าปริมาณความชื้นได้รับอิทธิพลส่วนมากจากเวลาในการให้ความร้อน คือ ประมาณ 72% เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา สำหรับปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว และระดับการแทนที่จะได้รับอิทธิพลส่วนมากจากเวลาในการให้ความร้อนประมาณ 45% อัตราส่วนของ liquid : solid phase เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อความชื้น ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว ระดับการแทนที่ และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา แต่น้อยกว่าเวลาในการให้ความร้อน

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีผลต่อความชื้น โดยเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ปริมาณความชื้นจะลดลงนั้น เนื่องจากขณะให้ความร้อนแก่แป้งโดยใช้ไมโครเวฟผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำระเหยออกไป โดยเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนาน น้ำก็จะสามารถระเหยออกไปได้มาก จึงทำให้ความชื้นลดลง

2. เวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว โดยเมื่อเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวจะลดลง เนื่องจาก ความร้อนที่ให้ในช่วงแรกเป็นความร้อนที่ช่วยในการเกิดปฏิกิริยา แต่ในช่วงหลังจะมีผลในการทำลายพันธะที่เกาะเกี่ยวระหว่างโมเลกุลสตาร์ชกับรีเอเจนต์ ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกับผลของเวลาในการให้ความร้อนต่อระดับการแทนที่ และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวเป็นตัวแทนของระดับการแทนที่และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การผลิตแคทอไดอิกสสารซ์โดยกระบวนการแบบแห้ง เพื่อลดขั้นตอนการผลิตและลดปัญหาการบำบัดน้ำเสีย โดยการใช้ไมโครเวฟมีความเป็นไปได้ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของแคทอไดอิกสสารซ์ที่ได้คือเวลาในการให้ความร้อน และอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase โดยปริมาณความชื้น ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว ระดับการแทนที่ และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผกผันกับเวลาในการให้ความร้อน และแปรผันตรงกับอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase ดังแสดงในตารางที่ 11 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาในการศึกษาครั้งนี้ โดยดูจากประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา คือ อัตราส่วน liquid : solid phase เป็น 0.67:1 และใช้เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 3 นาที ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 155-160 องศาเซลเซียส ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 47.37% มีความชื้น 12.06% ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว 0.31% และมีระดับการแทนที่ 0.036

ตารางที่ 11 ผลของเวลาในการให้ความร้อน และอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase ต่อปริมาณความชื้น ปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว ระดับการแทนที่ และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา

ปัจจัย	%MC	%BN	DS	%RE
เวลาในการให้ความร้อน	-	-	-	-
liquid : solid phase	+	+	+	+

หมายเหตุ + หมายถึง แปรผันตรง

- หมายถึง แปรผกผัน

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแคทไอออนิกสตาบิลไรเซอร์โดยไมโครเวฟครั้งนี้ ไม่สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติต่างๆ จะแตกต่างไปจากเดิมหรือไม่ จึงควรทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ เช่น อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนซ์ เซชัน ความหนืด และแนวโน้มในการเกิดรีโทรกราเดชัน รวมทั้งคุณสมบัติในการนำไปใช้งานเช่น cationic activity ของสารประกอบระหว่างเอ็กเรตาซและแคทไอออนิกสตาบิลไรเซอร์เพื่อทดสอบความสามารถในการใช้เป็น retention aid ในอุตสาหกรรมกระดาษ นอกจากนี้ยังควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้วัตถุดิบอื่นเพื่อผลิตแคทไอออนิกสตาบิลไรเซอร์โดยไมโครเวฟ เช่น แป้งข้าวเหนียว เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กันทิมาลัย จินดาประเสริฐ, ปริญญา อวเจณพงษ์ และ ศิริรุ่ง นกสินธุ์โสภณ. 2536. ผลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2535. กระบวนการแปรรูปอาหาร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 797 หน้า
- บุษฤดี ศิริบุญ. 2534. การตัดแปรรสตำข้าวเจ้าแบบครอสลิงกิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชรินทร์ โมกนิยชาติ, พิณี สุจิตพงษ์ และสิริกร ปิ่นเวหา. 2534. ความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซีเตรตไฮโอไซไมโครเวฟ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Altken, T, et al. 1978. United States Patent 4,097,427.
- AOAC. 1975. Official Method of Analysis of the Association of Official Analysis Chemists, 12 th ed. Washington, D.C. : Association of Official Chemists, Inc.
- Beynum, G.M.A.V. and Roles, J.A. 1985. Starch Coinversion Technology. Netherland: Marcel Dekker, Inc.
- Carr, M.E. and Bagby, M.O. 1981. Preparation of Cationic Starch Ether : Reaction Efficiency Study. Starch/Starke 33:310-312
- Copson, D.A. 1975. Microwave Heating. Connecticut: West Publishing Company. 718 pp
- Colonna, P., Buleon, A. and Mercier, C. 1987. Starch : Properties and Potential. New York : John Wiley & sons. 356pp.
- Giese, J., et al. 1992. Advances in Microwave Food Processing. Food Technology. 40(6):99-105.
- Knight, J.W. 1969. The Starch Industry. London : Pergamon Press. 169pp.

Paschall, E.F. 1967. Starch : Chemistry and Technology. New York :
Academic Press.733pp

Whistler, R.L., Bemiller, J.N., Paschall,E.F. 1984. Starch : Chemistry
and Technology. Orlando : Academic Press. 718 pp.

Wurzburg,O.B. 1986. Modified Starches : Properties and uses. Florida :
CRC Press, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการหาวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

1. วิธีการหาปริมาณความชื้น

- ก. อบกระป๋องอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ข. ชั่งน้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมเปล่า และกระป๋องอลูมิเนียมกับแป้งประมาณ 2 กรัม
- ค. นำกระป๋องอลูมิเนียมที่บรรจุแป้งไปอบ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ง. ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- จ. ชั่งน้ำหนักแป้งพร้อมกระป๋องอลูมิเนียมที่อบแล้ว
- ฉ. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\%MC = (a-b)*100/(c-b)$$

- a คือ น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียม + น้ำหนักแป้ง หลังอบ
- b คือ น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียมเปล่า
- c คือ น้ำหนักกระป๋องอลูมิเนียม + น้ำหนักแป้ง ก่อนอบ

2. วิธีการหาปริมาณไนโตรเจน

- ก. ชั่งแป้งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดเอาไนโตรเจนอิสระออก ด้วยแอลกอฮอล์ 80% โดยใช้เครื่อง soxhlet 1 กรัมใส่ digestion vessel พร้อมกับ glass bead
- ข. เติมคตะลิสต์ ($CuSO_4 : K_2SO_4$ 1:8) ประมาณ 7 กรัม
- ค. เติมกรดซัลฟูริกประมาณ 15 mL
- ง. นำมาช้อยโดยใช้เครื่องช้อยนานประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนได้สารละลายสีเขียวใส
- จ. นำมากลั่นโดยใช้เครื่องกลั่น โดยจะเติมน้ำกลั่นประมาณ 50 mL และ 32% NaOH 70

mL หรือมากพอจะทำให้สารละลายในหลอดมีสีค่าก่อนจะนำไปกลั่น ใช้สารละลายกรดบอริกหอยด mixed indicator เป็นตัวจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น

- จ. ทำการกลั่นเป็นเวลา 10 นาที
- ช. นำสารละลายกรดบอริกมาไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนประมาณ 0.01 N
- ซ. คำนวณปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว

$$\%BN = \frac{V_{HCl} * N_{HCl} * 1400}{\text{น้ำหนักแห้ง (mg)}}$$

น้ำหนักแห้ง (mg)

3. วิธีการหาระดับการแทนที่

ระดับการแทนที่ (DS) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$DS = \frac{162 * \%BN}{1400 * (117 * \%BN)}$$

1400 * (117 * %BN)

4. วิธีการหาประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา

ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (RE) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$RE = \frac{188 * \%BN}{14 * z}$$

14 * z

z คือ %สารเคมีเทียบกับสตาร์ช (น้ำหนักแห้ง)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

แสดงผลการทดลองของค่าปริมาณความชื้น ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว ค่าระดับการแทนที่ และค่าประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ เวลาในการให้ความร้อน (นาที) และอัตราส่วนของ liquid phase : solid phase

ตารางผนวกที่ 1 : ค่าปริมาณความชื้นของแคทออลอนิกสตาร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.4:1

ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	10.2553	2.8748	2.7404
2	10.1045	2.9519	2.5700
3	10.1943	2.8735	2.5295
4	10.0874	2.8139	2.9061
5	10.1253	2.8809	2.7635
6	10.2130	2.8796	2.8930
7	10.2480	2.8371	2.7524
8	10.1886	2.9022	2.8122

ตารางผนวกที่ 2 : ค่าปริมาณความชื้นของแคทอ็อกซินิกสตาโรลที่อัตราส่วน liquid phase :
solid phase 0.5:1

ระดับ ครึ่งกิโลกรัม	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	11.2609	3.9741	2.8634
2	11.5896	4.0853	2.8772
3	11.6023	3.9960	2.8555
4	11.3708	4.2303	3.0475
5	11.3423	3.9586	2.8937
6	11.4856	4.0720	2.9022
7	11.5233	4.1360	2.8541
8	11.2942	3.9874	2.8942

ตารางผนวกที่ 3 : ค่าปริมาณความชื้นของแคทอ็อกซิเจนคาร์บอเนตที่อัตราส่วน liquid phase :
solid phase 0.67:1

ระดับ ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	12.0042	6.5271	4.8269
2	11.8089	6.3270	5.4681
3	12.2760	6.4375	5.4051
4	12.1372	6.3841	4.9831
5	12.0544	6.3952	4.8473
6	12.0087	6.4230	4.9936
7	12.0973	6.3372	4.9879
8	12.1187	6.4009	4.9902

ตารางผนวกที่ 4 : ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดออสตาร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.4:1

ระดับ ครั้งที่	เวลา (นาท)		
	3	5	7
1	0.1531	0.0884	0.0570
2	0.1414	0.0980	0.0532
3	0.1460	0.0859	0.0556
4	0.1403	0.0869	0.0458

ตารางผนวกที่ 5 : ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไดออสตาร์ชที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.5:1

ระดับ ครั้งที่	เวลา (นาท)		
	3	5	7
1	0.1897	0.1407	0.0693
2	0.1779	0.1364	0.0685
3	0.1746	0.1404	0.0684
4	0.1822	0.1361	0.0655

ตารางผนวกที่ 6 : ค่าปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวของแคทอไลซิสที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1

ระดับ ครึ่งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	0.3083	0.2602	0.1119
2	0.3057	0.2659	0.1126
3	0.3202	0.2555	0.0998
4	0.3086	0.2753	0.1003

ตารางผนวกที่ 7 : ระดับการแทนที่ของแคทอไลซิสที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.4:1

ระดับ ครึ่งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	0.0180	0.0103	0.0066
2	0.0166	0.0114	0.0062
3	0.0171	0.0100	0.0064
4	0.0164	0.0101	0.0050

ตารางผนวกที่ 8 : ระดับการแทนที่ของแคทไอออนิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase :
solid phase 0.5:1

ระดับ ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	0.0223	0.0209	0.0080
2	0.0209	0.0160	0.0080
3	0.0205	0.0164	0.0080
4	0.0221	0.0159	0.0076

ตารางผนวกที่ 9 : ระดับการแทนที่ของแคทไอออนิกสสารที่อัตราส่วน liquid phase :
solid phase 0.67:1

ระดับ ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	0.0366	0.0308	0.0131
2	0.0363	0.0315	0.0131
3	0.0381	0.0302	0.0116
4	0.0336	0.0326	0.0117

ตารางผนวกที่ 10 : ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid
phase 0.4:1

ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	38.90	22.46	14.15
2	35.93	24.90	13.52
3	37.10	21.83	22.08
4	35.65	22.08	11.64

ตารางผนวกที่ 11 : ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid
phase 0.5:1

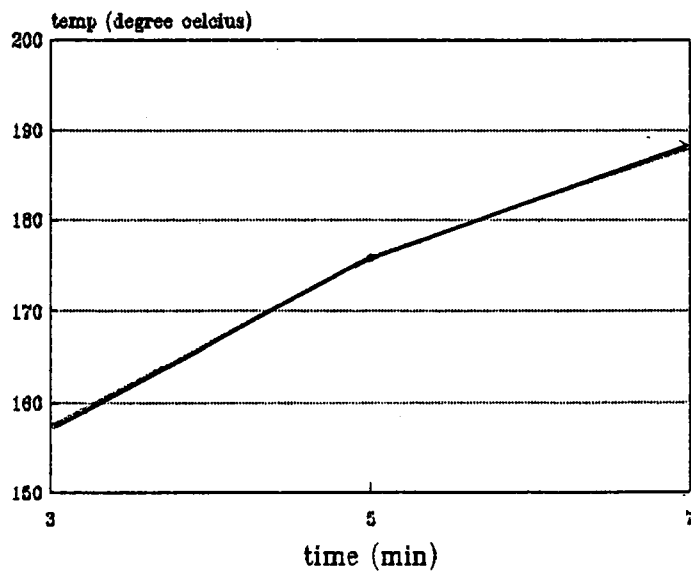
ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	38.56	28.60	14.09
2	36.16	27.73	13.92
3	35.49	28.54	13.90
4	37.04	27.67	13.31

ตารางผนวกที่ 12 : ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราส่วน liquid phase : solid phase 0.67:1

ระยะ ครึ่งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	47.00	39.67	17.06
2	46.61	40.54	17.17
3	48.82	38.95	15.22
4	47.05	41.97	15.29

ตารางผนวกที่ 13 : อุณหภูมิของแป้งเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที

ครั้งที่	เวลา (นาที)		
	3	5	7
1	155	177	185
2	160	175	191
เฉลี่ย	157.5	176	188



รูปที่ 17 อุณหภูมิของแป้งเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 3, 5 และ 7 นาที

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

$$SD = \left[\frac{\sum (x_1 - X)^2}{(N-1)} \right]^{1/2}$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance, cv)

$$cv = \frac{SD}{X} * 100$$

เมื่อ X คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล = $\sum x / N$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการทดลองนี้ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างเบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม sas ได้ผลดังนี้

ตารางผนวกที่ 1 : การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณความชื้น

source	d.f.	Sum of square	Mean square	F_{cal}	F_{table}
treatment	8	503.0186	54.2449	7.8750	2.104
error	63	433.9593	6.8824		
total	71	930.9780			

จากตารางพบว่า $F_{cal} > F_{table}$ แสดงว่า แต่ละตัวอย่างมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 2 : การวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยว

source	d.f.	Sum of square	Mean square	F_{cal}	F_{table}
treatment	8	0.2468	0.0308	909.48	2.104
error	63	0.0009	0.00003		
total	71	0.2477			

จากตารางพบว่า $F_{cal} > F_{table}$ แสดงว่า แต่ละตัวอย่างมีปริมาณไนโตรเจนที่เกาะเกี่ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 3 : การวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับการแทนที่

source	d.f.	Sum of square	Mean square	F_{cal}	F_{table}
treatment	8	0.00346	0.00043	271.23	2.104
error	63	0.00004	0.000002		
total	71	0.00350			

จากตารางพบว่า $F_{cal} > F_{table}$ แสดงว่า แต่ละตัวอย่างมีระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางผนวกที่ 4 : การวิเคราะห์ความแตกต่างของประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา

source	d.f.	Sum of square	Mean square	F_{cal}	F_{table}
treatment	8	4924.59	615.574	274.34	2.104
error	63	60.58	2.244		
total	71	4958.17			

จากตารางพบว่า $F_{cal} > F_{table}$ แสดงว่า แต่ละตัวอย่างมีระดับการแทนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ประวัติผู้เขียน

นางสาว กฤติกา ตันประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2515 มลรัฐมิชิแกน
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ในปี พ.ศ. 2533

นางสาว ชลพัทธ์ บุญมาศิริ เกิดเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเซนต์โยเซฟ บางนา ในปีพ.ศ. 2533

นางสาว นพมาศ เนืองทอง เกิดเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในปีพ.ศ. 2533

