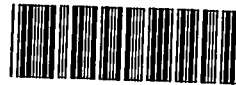


14483



การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซิเตรท  
Physicochemical Properties of Starch Citrate



T096785

นางสาววันที นิมิตชูชัย  
นางสาววิภารัตน์ ไชยยานุวัฒน์ศิริ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ป/พ.  
๖๔๖๒ก  
๒๕๖๗

พ.ศ. ๒๕๖๗

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 96785  
วันเดือนปี..... 4 JUN 2023



# ใบรับรองปัญหาพิเศษ

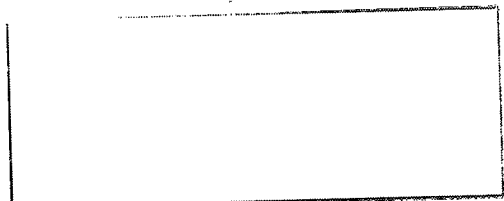
เรื่อง

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซิเตรท  
( PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SYARCH CITRATE )

โดย

นางสาววันทนีย์ นิมิตฐชัย  
นางสาววิภากรัตน์ ไชคยานุวัตศิริ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก



ศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ อรรถนุกุล ๒1/03/37 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ  
(ดร. ประสงค์ อรรถนุกุล)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

(ศาสตราจารย์ ดร. ประสงค์ อรรถนุกุล)

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ ๒๘ เดือน ๓ พ.ศ. ๒๕๓๗

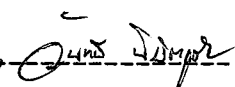
ร.พ.

๗๔๒๗

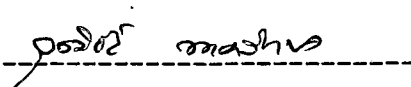
๒๕๓๖

วันที นิมิตชูชัย และ วิภารัตน์ ไชยยานุวัตน์ศิริ. 2537. : การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซิเตรท (PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF STARCH CITRATE). ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. วุฒิชัย นาครักษา, 79 หน้า.

จากการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังซึ่งผ่านการหมักด้วยกรดซิตริกความเข้มข้น 10 % แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนาน 7 นาที (T1007) และสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวซึ่งใส่กรดซิตริกความเข้มข้น 5 % แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนาน 5 นาที (G0505) กับสตาร์ชธรรมชาติทั้งสองชนิด (G0000, T0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟทั้งสองชนิด (G0005, T0007) ซึ่งคุณสมบัติที่ทำการศึกษามีดังนี้คือ ปริมาณความชื้น (moisture content, MC) , ดัชนีการดูดซึมน้ำ (water absorption index, WAI) , ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index, WSI) , ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (freeze-thaw stability, FTS) โดยวัดในรูปปริมาณน้ำที่ออกจาก paste และ ความคงทนต่อแรงเฉือน (shearing stability, SHS) พบว่า G0505 มี MC ต่ำกว่า G0000 แต่สูงกว่า G0005 , ค่า SHS และ WAI สูงกว่า G0000 แต่ต่ำกว่า G0005 , ค่า WSI และ FTS สูงกว่าทั้ง G0000 และ G0005 สำหรับ T1007 มี MC ต่ำกว่า T0000 แต่สูงกว่า T0007 , WSI และ FTS สูงกว่าทั้ง T0000 และ T0007 , WAI สูงกว่า T0000 แต่ต่ำกว่า T0007 และคุณสมบัติสุดท้ายคือ ค่า SHS ต่ำกว่าทั้ง T0000 และ T0007

วัชรชัย ไชยยานุวัตน์ศิริ, 

ลายมือชื่อนักศึกษา

วัชรชัย ไชยยานุวัตน์ศิริ, 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

วัน เดือน ปี

## กิตติกรรมประกาศ

การที่ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ  
ผศ. ดร. นิมิตชัย นาครักษา เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความปรึกษา แนะนำการทดลอง และตรวจแก้ไข  
งานปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งอนุเคราะห์เตาไมโครเวฟ ตลอดจนขอขอบพระคุณ  
ท่านอาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและห้องธุรการ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้  
ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา ไว้ ณ โอกาสนี้

วันที่ นิมิตชัย

วิภารัตน์ ไชยยานุวัตน์ศิริ

มีนาคม 2537

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญตารางผนวก	ช
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 สตาร์ช	2
2.2 การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชขณะหุงต้ม	7
2.3 ไมโครเวฟ	8
2.4 กรดซिटริก	14
2.5 ไมดิฟายด์สตาร์ช	16
2.6 ครออสลิงกิง	19
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
3.1 อุปกรณ์	21
3.2 วัสดุดิบ	25
3.3 สารเคมี	25
3.4 กระบวนการผลิตสตาร์ชซีเตรท	26
4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	27
5. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	30
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	58
ภาคผนวก ค	65
ประวัติผู้เขียน	79

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	6
2. กระบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้ไมโครเวฟ	11
3. คุณสมบัติและสูตรโครงสร้างของ anhydrous และ monohydrate ของกรดซิตรีก	14
4. ชนิดและสมบัติของแป้งแปรสภาพชนิดต่าง ๆ	17
5. คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวเปรียบเทียบกับ สตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ	30
6. คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับ สตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ	31
7. สรุปลักษณะสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ	43

## สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่	หน้า
1. ข้อมูลการหาปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เกาะเกี่ยวกับโคม์เลขคู่สตาร์ช	58
2. ข้อมูลค่าแก้ไขปริมาณกรดซัลฟิวริกที่เกาะเกี่ยวกับโคม์เลขคู่สตาร์ชและ ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา	59
3. ข้อมูลการทดลองหาปริมาณความชื้น	60
4. ข้อมูลการทดลองหาค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ	61
5. ข้อมูลการทดลองหาค่าดัชนีการละลายน้ำ	62
6. ข้อมูลการทดลองหาค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย	63
7. ข้อมูลการทดลองหาค่าความคงทนต่อแรงเฉือน	64
8. ตาราง ANOVA ของค่า % BC จากแป้งข้าวเหนียว	65
9. ตาราง ANOVA ของค่า % MC จากแป้งข้าวเหนียว	66
10. ตาราง ANOVA ของค่า % WAI จากแป้งข้าวเหนียว	67
11. ตาราง ANOVA ของค่า % WSI จากแป้งข้าวเหนียว	68
12. ตาราง ANOVA ของค่า % FTS จากแป้งข้าวเหนียว	69
13. ตาราง ANOVA ของค่า % SHS จากแป้งข้าวเหนียว	70
14. ตาราง ANOVA ของค่า % BC จากแป้งมันสำปะหลัง	71
15. ตาราง ANOVA ของค่า % MC จากแป้งมันสำปะหลัง	72
16. ตาราง ANOVA ของค่า % WAI จากแป้งมันสำปะหลัง	73
17. ตาราง ANOVA ของค่า % WSI จากแป้งมันสำปะหลัง	74
18. ตาราง ANOVA ของค่า % FTS จากแป้งมันสำปะหลัง	75
19. ตาราง ANOVA ของค่า % SHS จากแป้งมันสำปะหลัง	76
20. ตารางข้อมูลอุณหภูมิของสตาร์ชในขณะถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	77

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. โครงสร้างอะไมโลส	4
2. โครงสร้างอะไมโลเพคติน	4
3. Glutinous rice starch ขยาย 5000 เท่า	5
4. Tapioca starch ที่ผ่านไมโครเวฟ ขยาย 1000 เท่า	5
5. กลไกการคืนตัว ( set back ) ของเพสต์	8
6. การเรียงตัวของประจุอาหารตามธรรมชาติ	13
7. การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ	13
8. Hot air oven	22
9. Centrifugur	22
10. Water bath	23
11. Brookfield viscometer	23
12. Roter Mixer	24
13. กราฟแสดงปริมาณความชื้น ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	33
14. กราฟแสดงค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	34
15. กราฟแสดงค่าดัชนีการละลายน้ำ ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	35
16. กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	36

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
17.	กราฟแสดงค่าความคงทนต่อแรงเฉือน ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	37
18.	กราฟแสดงปริมาณความชื้น ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	38
19.	กราฟแสดงค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	39
20.	กราฟแสดงค่าดัชนีการละลายน้ำ ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	40
21.	กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	41
22.	กราฟแสดงค่าความคงทนต่อแรงเฉือน ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	42
23.	กราฟแสดงอุณหภูมิของสตาร์ชซีเตรทในขณะถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	78

## บทนำ

การผลิตแป้งในระดับอุตสาหกรรมในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่แล้วจะผลิตเป็นแป้งดิบ ( Native starch ) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขั้นมูลฐานจากผลผลิตทางการเกษตร มีสมบัติเฉพาะตัวตามชนิดของแป้งทำให้การนำไปใช้ประโยชน์อยู่ในวงจำกัดและมีราคาต่ำ แป้งดังกล่าวสามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อย่างกว้างขวาง รวมทั้งมีความสะดวกขึ้น โดยแป้งที่ผ่านการตัดแปรแล้วจะเรียกว่า โมดิฟายด์สตาร์ช ซึ่งการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชในทางการค้า เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี แต่กระบวนการผลิตส่วนใหญ่ใช้เวลาค่อนข้างนาน อาจเป็นวันหรือเป็นสัปดาห์ และมีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อนและสิ้นเปลืองน้ำ ดังนั้นการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชด้วยวิธีทางเคมีและฟิสิกส์ในการผลิตสตาร์ชซีเตรทโดยใช้น้ำโครเวพ จึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถใช้ผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชได้ โดยสามารถลดระยะเวลาและขั้นตอนการผลิตลง ทั้งนี้เพราะการผลิตอยู่ในรูปของ dry process และเนื่องจากว่ายังไม่ีผลสรุปที่แน่นอนอันแน่ของคุณสมบัติที่เฉพาะทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการค้นคว้าและเก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถให้ผลสรุปที่แน่นอน ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชในประเทศไทยต่อไป

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทนี้ มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ช ( bound citric acid ) ปริมาณความชื้น ( moisture content ) ดัชนีการดูดซึมน้ำ ( water absorption index ) ดัชนีการละลายน้ำ ( water solubility index ) ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ( freeze-thaw stability ) และ ความคงทนต่อแรงเฉือน ( shearing stability ) ซึ่งการทดลองโครงการวิทยานิพนธ์นี้ คาดว่าประโยชน์ที่จะได้รับคือ สามารถทราบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรท เพื่อที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะตัวของสตาร์ชซีเตรทต่อไป

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### 2.1 สตาร์ช ( starch ) คืออะไร

องค์การอาหารและยา หรือ เอฟดีเอ ( Food and Drug Administration หรือ FDA ) ให้ความหมายของสตาร์ชว่าเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคส ( anhydroglucose ) ที่ต่อกันเป็นสายและกิ่งก้านที่เรียกว่า อะไมโลส ( amylose ) และอะไมโลเพกติน ( amylopectin ) ตามลำดับ แหล่งของสตาร์ชในธรรมชาติได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น เมล็ด ราก ลำต้นและใบ เป็นต้น สตาร์ชเป็นส่วนที่สะสมอาหารในพืชที่เกิดจากปฏิกิริยาการรวมตัวของน้ำตาลกลูโคส โดยจะสูญเสียน้ำ 1 โมเลกุล ต่อพันธะระหว่างน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล ( Smith, 1982 )

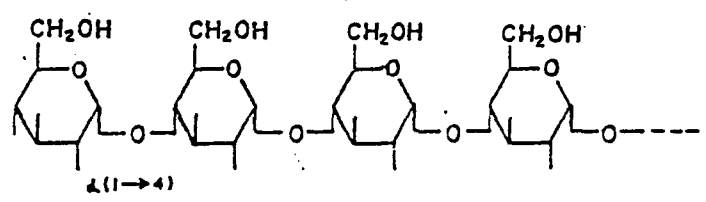
สตาร์ชที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่ในรูปแบบเม็ดแป้ง ( starch granule ) ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งมีลักษณะดังนี้คือ

2.1.1 อะไมโลส ( amylose ) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสที่เรียงต่อกันเป็นสายด้วยพันธะ แอลฟา-1-4 เพียงอย่างเดียว มีขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของพืช ประมาณว่าประกอบไปด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสตั้งแต่ 200 ถึง 2,000 หน่วย ( Smith, 1982 ) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 ถึง 1,000,000

2.1.2 อะไมโลเพกติน ( amylopectin ) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากพันธะแอลฟา-1-4 เป็นส่วนใหญ่และจะมีพันธะแอลฟา-1-6 แทรกอยู่ประมาณร้อยละ 4 ถึง 6 ( Hood, 1982 ) จึงมีรูปร่างเป็นกิ่งก้านที่แต่ละกิ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสตั้งแต่ 25 ถึง 30 หน่วย เรียงต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1-4 ( Smith, 1982 ) พอลิเมอร์หนึ่งของอะไมโลเพกตินจะมีขนาดใหญ่มากกว่าอะไมโลสมาก ประมาณว่าประกอบด้วยน้ำตาลแอนไฮโดรกลูโคสมากกว่า 200,000 หน่วยขึ้นไป ( Wurzburg, 1987 )

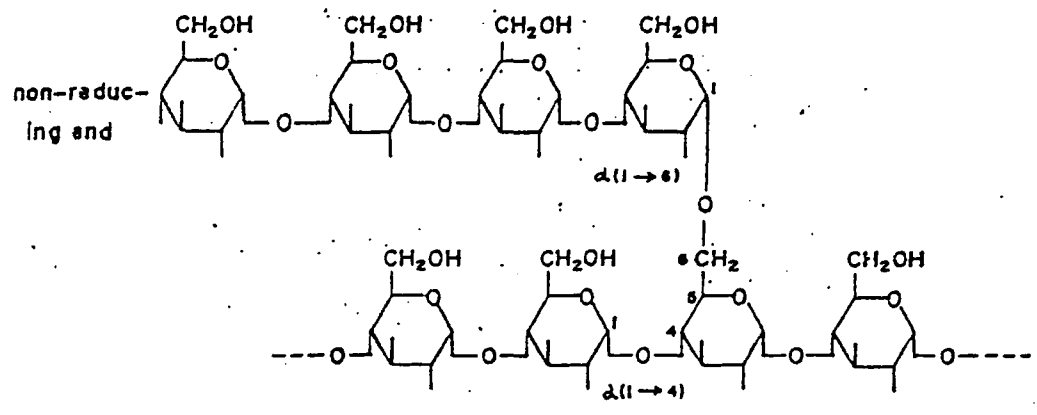
อะไมโลสและอะไมโลเพกตินจะเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบแบบแผนในเม็ดสตาร์ช ภาย  
 ในเม็ดสตาร์ชจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึกหรือที่เรียกว่า ออสซิลลิน  
 ซึ่งจะเรียงสลับกัน ทำให้เกิดการหักเหสองแนวเป็นเงากากบาทเมื่อส่องผ่านแสงโพลาไรส์  
 ( Polarized light ) เรียกว่า ไบรีฟริงเจนซ์ ( birefringence ) จากการศึกษาทำ  
 หน้าที่ทราบว่า อะไมโลเพกตินเป็นตัวการสำคัญในการเรียงตัวของส่วนผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึก  
 ในเม็ดสตาร์ช โดยที่อะไมโลเพกตินขนาดใหญ่ 1 ไมโครลจะอยู่ในทั้งสองส่วน ซึ่งส่วนผลึกนั้น  
 เกิดจากส่วนที่เป็นเส้นตรงในไมโครล อะไมโลเพกตินเรียงต่อกันและเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น  
 ระหว่างสายในไมโครลเดียวกันและต่างไมโครลมากมาย แต่พันธะไฮโดรเจนจะลดลงเรื่อย ๆ  
 จากส่วนผลึกมาเป็นส่วนที่ไม่เป็นผลึก ซึ่งก็คือ ส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาของอะไมโลเพกตินนั่นเอง  
 ส่วนอะไมโลสจะแทรกอยู่ระหว่างไมโครลของอะไมโลเพกตินในทั้งสองส่วนนี้ ( Rutenberg,  
 1984 )

การสร้างสตาร์ชนั้นเกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ไม่เฉพาะแต่เกิดขึ้นภายในเม็ด  
 สตาร์ชเท่านั้น เช่น ในใบมีการสร้างสตาร์ชขึ้นชั่วคราวในคลอโรพลาสต์ ( chloroplast )  
 แต่สตาร์ชส่วนใหญ่ที่เป็นแหล่งสะสมคาร์โบไฮเดรตถาวร จะสร้างสตาร์ชในออร์แกเนลล์ที่เรียกว่า  
 อะไมโลพลาสต์ ( amyloplast ) ในผล เมล็ด ลำต้น ราก และหัว จากการศึกษา  
 การเกิดอะไมโลพลาสต์ของเมล็ดข้าวโพดที่กำลังเจริญภายหลังการผสมเกสร พบว่า พลาสติด  
 ( plastid ) ที่อยู่ใกล้ผิวเคลือบเกิดการเจริญเติบโต ทำให้การขยายขนาดและการแยกเป็น  
 เม็ดเล็ก ๆ ของโปร-สตาร์ช ( pro-starch ) ที่จะตกผลึกอย่างต่อเนื่องกลายเป็น  
 นิวเคลียสหรือไฮลัม ( hilum ) ของเม็ดสตาร์ชต่อไป ในระยะแรกเม็ดสตาร์ชจะมีลักษณะทรง  
 กลมคล้ายกัน ต่อมาเม็ดสตาร์ชเจริญขึ้นจากการพอกไมโครลสตาร์ชจากภายนอก ที่เรียกว่า  
 Apposition ทำให้เม็ดสตาร์ชมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสตาร์ชนั้น ๆ เช่น เม็ดสตาร์ช  
 ข้าวสาลี จะมี 2 ลักษณะ คือ เป็นรูปไข่ขนาด 20-30 ไมครอน และ รูปทรงกลมขนาดประมาณ  
 2-10 ไมครอน เม็ดสตาร์ชข้าวโพดมีลักษณะกลมและหลายเหลี่ยมขนาดใหญ่ถึง 20 ไมครอน เม็ด  
 สตาร์ชมันฝรั่ง เป็นรูปไข่มีขนาดใหญ่ที่สุดประมาณ 35 ไมครอน ส่วนเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีรูปร่าง  
 หลายเหลี่ยม เช่นเดียวกับกับเม็ดสตาร์ชข้าวโพด แต่มีขนาดเล็กที่สุดประมาณ 3-8 ไมครอน  
 ( Rutenberg, 1984 )



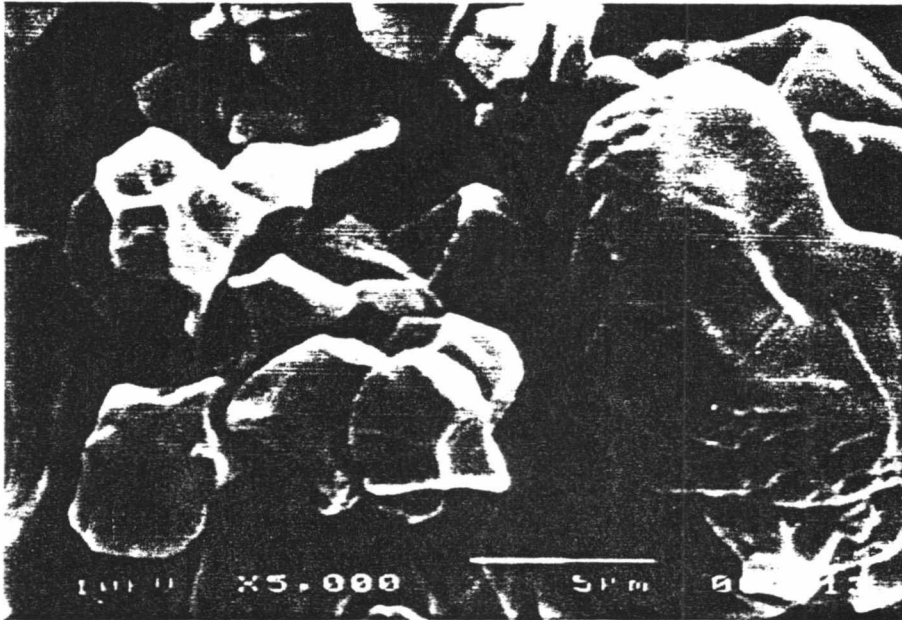
รูปที่ 1 โครงสร้างอะไมโลส

ที่มา : สิริินทร์ , 2521



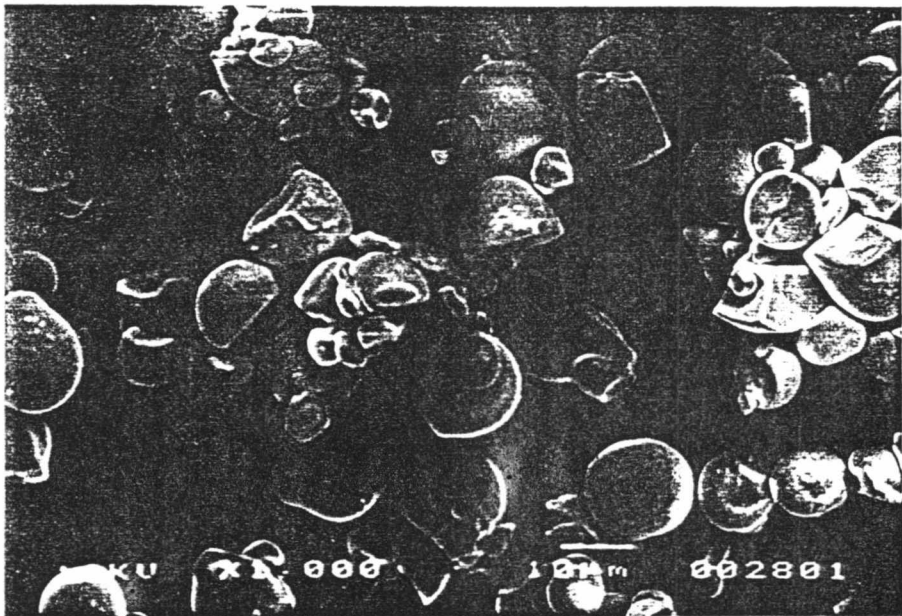
รูปที่ 2 โครงสร้างอะไมโลเพคติน

ที่มา : สิริินทร์ , 2521



รูปที่ 3 Glutinous rice starch ขยาย 5000 เท่า

ที่มา : วุฒิชัย



รูปที่ 4 Tapioca starch ที่ผ่านไมโครเวฟ ขยาย 1000 เท่า

ที่มา : วุฒิชัย

ตารางที่ 1 ปริมาณ อะไมโลส และ อะไมโลเพคติน

Starch source	Amylose content (%)	Amylopectin content (%)
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

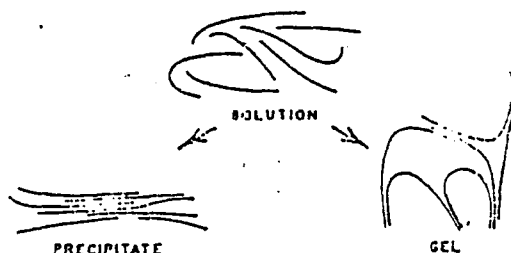
ที่มา : วรนุช , 2535

พืชต่างชนิดกันมีสัดส่วนอะไมโลส ต่อ อะไมโลเพคตินต่างกัน อัตราส่วนของอะไมโลส ต่ออะไมโลเพคตินจะมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง (swelling) ความหนืด ( viscosity ) หรือการคืนตัว ( set back )

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชขณะหุงต้ม

เมื่อต้มสตาร์ชในน้ำ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนในส่วนอสัณฐานก่อน ทำให้น้ำสามารถแทรกเข้าภายในเม็ดได้และเกิดการพองตัว (Rutenberg, 1984) ระหว่างนี้เม็ดสตาร์ชจะสูญเสียการหักเหของแนวภายในเม็ด เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ช เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้นทำให้ความหนืดของของผสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและของผสมมีความมาสมมากขึ้นจนเม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง เรียกอาการนี้ที่ปรากฏนี้ว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) สตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธะภายในเม็ดสตาร์ชนั้น ๆ (Wurzburg, 1987)

สตาร์ชที่เกิดการเจลาตินในเซชัน เมื่อทิ้งให้เย็นมีผลทำให้โมเลกุลสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอะโมไรสที่มีขนาดเล็กกว่าอะโมไรสเพกตินจะเข้ามาเรียงตัวใกล้กัน และเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นบางส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย ทำให้ข้นและขุ่นขึ้น ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy maize) (Smith, 1982) พบว่าความหนืดของข้าวโพดจะเพิ่มขึ้น ส่วนความหนืดของข้าวโพดข้าวเหนียวไม่เปลี่ยนแปลง อาการที่สตาร์ชบางชนิดเกิดมีความข้นและขุ่นกลับคืนเมื่อเย็นตัวลงนี้เรียกว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือ การคืนตัว (set back)



รูปที่ 5 กลไกการคืนตัว ( set back ) ของเพสต์

ที่มา : Elder and Schoch , 1959

### 2.3 ไมโครเวฟ ( Microwave )

เตาไมโครเวฟทำงานได้โดยอาศัยคลื่นในอากาศ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่แผ่กระจายไปในรูปคลื่นที่เรียกว่า ไมโครเวฟ ( Microwave ) ปรอบทิศทางในลักษณะ การส่งผ่าน การดูดซับหรือการสะท้อนกลับได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่เป็นตัวกลาง สำหรับความถี่คลื่น ไมโครเวฟมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ 915 และ 2,450 เมกะเฮิร์ต โดยที่ความถี่ คลื่นไมโครเวฟ 915 เมกะเฮิร์ต จะผ่านเข้าไปในอาหารได้ลึก 30 เซนติเมตร ในขณะที่ความถี่ คลื่นไมโครเวฟ 2,450 จะผ่านเข้าไปได้เพียง 10 เซนติเมตร ( IFT, 1989 ) คลื่นไมโคร เวฟมีความยาวคลื่นต่อไซเคิล 12 เซนติเมตร ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สามารถ ทำให้โมเลกุลของอาหารเกิดการสั่นสะเทือนได้ประมาณ 2.5 พันล้านครั้งต่อวินาที ดังนั้น เมื่อ โมเลกุลของอาหารสั่นสะเทือน เสียคลัสกัน จะทำให้เกิดความร้อนและทำให้อาหารสุกได้

### คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟมี 3 ลักษณะด้วยกัน คือ

#### 1. การส่งผ่าน ( Transmission )

การแผ่กระจายของคลื่นไมโครเวฟออกไปรอบทิศทางนั้น คลื่นไมโครเวฟจะสามารถส่งผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ พลาสติก ไม้ เครื่องปั้นดินเผา ได้ โดยไม่ทำให้อาหารเหล่านั้นร้อน เหมาะใช้งานกับเตาไมโครเวฟ

#### 2. การดูดซับ ( Absorbtion )

การที่อาหารมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ทำให้อาหารดูดซับเอาคลื่นไมโครเวฟไว้ได้ และทำให้โมเลกุลของอาหารเกิดการสั่นสะเทือน เสียผลด้วยความถี่ที่สูงมาก ในที่สุด อาหารนั้นจะเกิดความร้อนและสุก

#### 3. การสะท้อนกลับ ( Reflection )

การทำงานของคลื่นไมโครเวฟในเตาอบไมโครเวฟนั้น เมื่อคลื่นถูกส่งผ่านไปยังอาหาร ถ้าภาชนะที่บรรจุอาหารทำด้วยโลหะ จะทำให้คลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับ เพราะไม่สามารถส่งผ่านภาชนะที่เป็นโลหะได้ แต่คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบของเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของเตา ทำให้สามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารจากทุกด้าน ทั้งด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้ายและด้านขวา

### หลักการให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง มีแหล่งกำเนิดจากหลอดแมกนีตรอนที่อยู่ภายในเตาอบ แมกนีตรอนจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ให้อยู่ในรูปคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลัง 600-700 วัตต์ ในการทำให้สสารเกิดความร้อนจะต้องมีสสารดูดกลืนคลื่นเป็นพวกโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น น้ำหรือสารมีประจุอื่น ๆ เมื่อโมเลกุลของสสารเหล่านี้อยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะพยายามเรียงตัวตามแนวขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่มีการผลักรันระหว่างขั้วที่เหมือนกัน เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลเป็นผลให้เกิดความร้อน ( Copson, 1975 )

### หลักการทำอาหารให้สุกโดยใช้นิโครเวฟ

นิโครเวฟจะส่งพลังงานจากตัวแม่เหล็กด้วยความถี่สูงสุด จนโมเลกุลของอาหารสั่นสะเทือนโมเลกุลของอาหารก็จะชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไป เกิดเป็นพลังงานขึ้นและพลังงานจลน์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนกระจายความร้อนออกไป ทำให้อาหารสุก ถ้าคลื่นนิโครเวฟพุ่งตรงไปที่อาหารก็จะกระทบโมเลกุลของน้ำภายในอาหาร ทำให้เกิดการเสียดสีและเกิดความร้อนขึ้น อาหารจึงสุก ( Copson, 1975 ) ซึ่งจะมีรสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารสูงกว่าการทำอาหารให้สุกโดยวิธีให้ความร้อนทั่ว ๆ ไป นอกจากนี้ยังสะดวกรวดเร็ว และประหยัดพลังงาน อีกทั้งสามารถควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ได้แน่นอนกว่าด้วย ( Giese, 1992 )

### การประยุกต์ใช้นิโครเวฟมาใช้ในการอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันมีการนำเอานิโครเวฟมาใช้ในการบวนการแปรรูปอาหารต่าง ๆ มากขึ้น ทั้งในระดับครัวเรือน อาทิเช่น ยุ่น ต้ม ผัด ตุ่น นึ่งหรือทอดอาหาร และในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การทำแห้ง การอบ การเพิ่มอุณหภูมิผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง การพาสเจอร์ไรส์ และการสเตอริไรส์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กระบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้ไมโครเวฟ

Application	Frequency ( MHz )	Power ( kW )	Products
Tempering Batch Continuous	915	30-70	Meat, fish, poultry
Drying Vacuum drying Freeze drying	915 or 2450	30-50	Pasta, onions, snack foods, fruit juices
Precooking	915	50-240	Bacon, meat patties, poultry, sausage, sardines
Pasteurization/ Sterilization	2450	10-30	Fresh pasta, prepared meals, pouch-packaged foods, semi-solid foods, milk, sliced bread
Baking	915	2-10	Bread, donut proofing

ที่มา : ดัดแปลงจาก IFT , 1989 ; Decareau , 1986

แต่ไมโครเวฟยังไม่ได้รับความนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากปัญหาทางด้านค่าใช้จ่ายที่สูงและขาดความรู้ทางวิชาการทางด้านนี้ รวมทั้งความไม่มั่นใจในความปลอดภัยของคลื่นไมโครเวฟ ( Schiffmann, 1992 ; Mudgett, 1989 )

## การเลือกภาชนะใช้กับเตาไมโครเวฟ

แก้ว เครื่องเคลือบเซรามิก โพลีเอทิลีน กระจก ใช้ได้ดีกับเตาไมโครเวฟ ส่วนพลาสติกสามารถใช้ในการอุ่นอาหารในช่วงเวลาสั้น ๆ เท่านั้น เพราะถ้าใช้นานภาชนะอาจละลายและบิดเบี้ยวได้

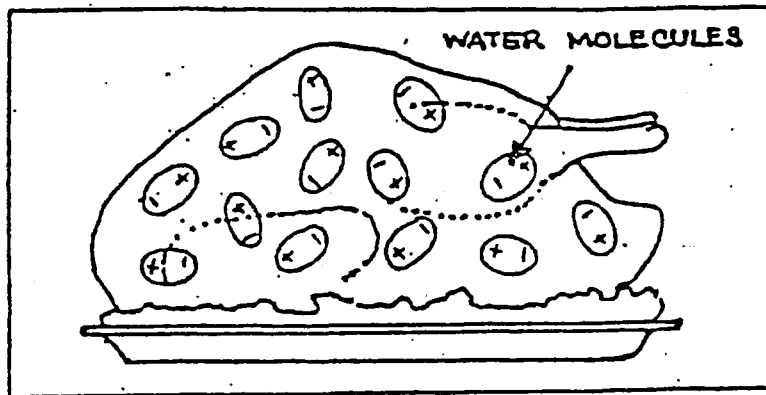
กระดาษไข กระดาษเช็ดมือ จานกระดาษ สามารถใช้กับเตาไมโครเวฟได้เช่นกัน แต่ใช้ได้ในระยะเวลาล้าน ๆ เท่านั้น เพราะภาชนะเหล่านี้้อาจไหม้ได้

ฟาง เครื่องจักรสานไม้ เช่น ตะกร้าฟาง ตะกร้าหวาย สามารถใช้ได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เพราะคลื่นไมโครเวฟอาจทำให้ไม้แห้ง กรอบ เปราะ และแตกง่าย แต่เครื่องจักสานที่ทำด้วยเหล็กเกอร์หรือน้ำมันวานิชไม่ควรนำมาใช้กับเตาไมโครเวฟ

ภาชนะแก้ว กระจกที่มีขอบเงินหรือขอบทอง ไม่ควรใช้กับเตาไมโครเวฟ เนื่องจากโลหะเป็นตัวสะท้อนคลื่น ทำให้อาหารสุกไม่ทั่วถึงและอาจเกิดประกายไฟสูง

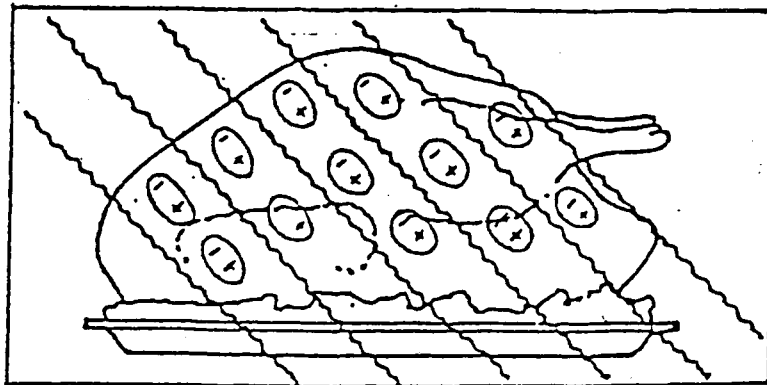
ภาชนะโลหะ ไม่ควรใช้กับเตาไมโครเวฟ เนื่องจากโลหะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่น ซึ่งอาจทำให้ผนังโลหะชำรุดได้

อลูมิเนียมฟอยล์ สามารถใช้กับเตาไมโครเวฟได้อย่างปลอดภัยถ้านำมาใช้ใช้อย่างถูกวิธี เช่น นำมาห่ออาหารบางอย่าง เช่น การอบเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารบางส่วนสุกเร็วเกินไป



รูปที่ 6 การเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ

ที่มา : Copson , 1975



รูปที่ 7 การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

ที่มา : Copson , 1975

## 2.4 กรดซิตริก ( Citric acid )

กรดซิตริก มีชื่อทางเคมีว่า  $\beta$ -hydroxy tricarboxylic acid หรือ 2-hydroxyl-1,2,3-propanetricarboxylic acid มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น อยู่ในรูปของ anhydrous และ monohydrate ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติและสูตรโครงสร้างของ anhydrous และ monohydrate ของกรดซิตริก

คุณสมบัติ	anhydrous	monohydrate
Empirical formula	$C_6H_8O_7$	$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$
Structure formula	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2\text{-COOH} \\    \\  \text{OH-C-COOH} \\    \\  \text{CH}_2\text{-COOH}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2\text{-COOH} \\    \\  \text{OH-C-COOH} \cdot \text{H}_2\text{O} \\    \\  \text{CH}_2\text{-COOH}  \end{array}  $
Molecular weight	192.13	210.15
Melting point ( $^{\circ}$ C)	150	100

ที่มา : คัดแปลงจาก Gruber , 1948

กรดซิตริกเป็นสารที่ละลายได้ง่าย โดยกรดซิตริก 1 กรัมสามารถละลายน้ำ 0.5 มิลลิ ลิตร หรือ ละลายในเอทานอล 2 มิลลิลิตร มีรสเปรี้ยว สามารถย่อยสลายและกำจัดได้ง่าย

ตลอดจนสามารถผลิตได้เองในประเทศ ทำให้หาซื้อได้ง่ายและราคาถูก และเนื่องจากกรดซิตริก เป็นสารที่เกิดขึ้นในระหว่างขบวนการ Krebs's cycle ซึ่งเป็นขบวนการออกซิเดชันกรดไขมัน วิตามินระบบการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิต และพบทั่วไปในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ต่าง ๆ ดังนั้น การได้รับกรดซิตริกที่เจือปนกับอาหารเข้าไปนั้น จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย โดยจากการศึกษา ปริมาณกรดซิตริกที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน ( Gruber, 1948 ) พบว่าระดับที่ปลอดภัยสำหรับอาหารทุกชนิด ( unconditional acceptance level ) เป็น 0-60 mg. / kg. body weight และระดับที่ปลอดภัยเมื่อได้รับอาหารที่มีแคลเซียมสูง ( conditional acceptance level ) เป็น 60-120 mg. / kg. body weight

### ประโยชน์ของกรดซิตริก

กรดซิตริกอาจจะถูกนำไปใช้ในรูปของกรดซิตริกโดยตรง หรืออาจจะใช้ในรูปเกลือและเอสเทอร์ของกรดซิตริกในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในรูปของ antioxidant, sequestrant, acidulant ซึ่งประโยชน์ของกรดซิตริก เกลือและเอสเทอร์ของกรดซิตริก มีดังนี้

1. ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด ผลไม้เชื่อม เยลลี่ แยม ผักและผลไม้ดอง น้ำหวาน น้ำเชื่อม น้ำผลไม้และไวน์ ซึ่งกรดซิตริกมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มกลิ่น-รส ลดความฝาด ควบคุมความเป็นกรด และป้องกันการบูเนของไวน์ได้

2. ในอุตสาหกรรมทอผ้า ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในยาบางชนิด เพื่อควบคุมความเป็นกรด ผสมยาที่มีฟองฟูเมื่อผสมน้ำดื่ม การใช้ผสมในยานี้มีการใช้ในรูปของเอสเทอร์ หรือเกลือของกรดซิตริก

3. ในอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอางค์ ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมครีมนวดผผ น้ำยาเช็ดผผ และโลชั่น โดยกรดซิตริกจะควบคุมระดับ pH ของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความแวววาวของน้ำยา

4. ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในน้ำยาล้างขัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม น้ำหมัก สี เป็นต้น

## 2.5 โมดิฟายด์สตาร์ช ( modified starch )

แป้งจัดว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นส่วนสำคัญของอาหารที่ทำให้เกิดลักษณะอาหารที่นารับประทาน โดยแป้งจะเป็นส่วนที่ให้ความข้น (thickness ) คือเพิ่มความเหนียวและความหนืดทำให้เกิดเป็นก้อนเหนียว (cohesive) ใ้เนื้อสัมผัสที่ดี ป้องกันการแยกกันของส่วนผสม นอกจากนี้แป้งยังมีบทบาทในการทำให้กลืนด้วย ถึงแม้แป้งจะมีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ แป้งที่ยังไม่แปรสภาพ ( native starch ) ก็มีข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ เช่น อาหารที่เป็นกรด อาหารแช่แข็ง อาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูงและใช้เวลานาน อาหารที่ผ่านกระบวนการที่ต้องมีการปะทะรุนแรง ( strong shear ) ดังนั้นจึงมีผู้ชำนาญทางอาหารคิดหาวิธีปรับปรุงคุณภาพแป้ง เพื่อที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น แป้งแปรสภาพที่ได้นี้ เรียกว่า modified starch โดยอาศัยหลักที่ว่าในอาหารประเภทต่าง ๆ นั้น เราต้องการใช้แป้งเพื่อให้คุณลักษณะของอาหารอย่างไร เช่น ใช้แป้งเป็น thickener filler binder หรือ stabilizer

ตารางที่ 4 ชนิดและสมบัติของแป้งแปรสภาพชนิดต่าง ๆ

ประเภทการแปรสภาพ	คุณสมบัติ	ประโยชน์
1. Physical modification	<ul style="list-style-type: none"> <li>- แป้งมีการกระจายตัวในน้ำเย็นได้ดี</li> <li>- แป้งสุกที่อุณหภูมิต่ำ (pregelatinized starch)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- snack extrusion ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ</li> <li>- instant fruit pie filling</li> </ul>
2. Enzymatic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความหนืดบะรื้อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลูกกวาด</li> <li>- เบเกอรี่</li> </ul>
3. Chemical modification		
3.1 Derivatization	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราการเกิด retrogradation ของ paste ลดลง</li> <li>- อุณหภูมิของแป้งสุก (pasting temperature) ลดลง</li> <li>- paste มีความใสขึ้น มีลักษณะยาวและเหนียว</li> <li>- water-holding capacity เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) ลดลง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- freeze/thaw stability</li> <li>- frozen pizza and topping</li> </ul>
3.2 Hydrolysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีความหนืดน้อยลงที่อุณหภูมิสูง</li> <li>- จับกับน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ลูกกวาด</li> <li>- ซอคโกแลต</li> </ul>

( ตารางที่ 4 ต่อ )

	- ความสามารถในการยึดเกาะกันดีขึ้น	
3.3 Oxidation	- มีการกระจายของของแข็งมากขึ้น	- ใช้เป็นผงโรย เช่น
	- pasting temperature ลดลง	ในหมกฝรั่ง เพื่อป้องกัน
	- retrograded ของ amylose	เกิดการติดกัน
	ลดลง	
	- paste มีความใสเพิ่มขึ้น	
3.4 Cross-linking	- เม็ดแป้งมีความต้านทานต่อการ	- sauces
	พองตัว	
	- อัตราการเกิด gelatinization	- pie filling
	และ swelling ลดลง	
	- paste viscosity ของแป้งมี	- pudding cheese
	ความต้านทานต่อความร้อน กรด	and sauces
	และ shear สูง ๆ	

---

ที่มา : วรนุช , 2535

## 2.6 Cross-linking

Cross-linking เป็นการแปรสภาพโดยสารที่มี bi หรือ poly functions ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลได้มากกว่า 1 กลุ่ม ทำให้เกิดสะพาน (crosslinks หรือ bridges) ระหว่างโมเลกุลแป้ง 2 โมเลกุล เพื่อช่วยลดอัตราการพองตัวของเม็ดแป้ง สารที่ใช้ ได้แก่ ฟอสฟอรัส ออกซิคลอไรด์ (phosphorus oxychloride) กรดอะซิติก (acetic acid) กรดซิตริก (citric acid) กรดอะดิปิก (adipic acid) และ เมทาฟอสเฟส (metaphosphate) เป็นต้น (Brand, 1988)

การที่แป้งมี cross-linking เกิดขึ้นทำให้โมเลกุลภายในเม็ดแป้ง (granule) จับตัวกันแน่นยิ่งขึ้น ดังนั้นเม็ดแป้งจะมีความแข็งแรงมากขึ้น การที่เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้นนั้นจะมีผลต่อลักษณะของ paste ที่แตกต่างไปจากเดิม คือ ถ้าเพิ่ม degree ของ cross linking มากขึ้น ความสามารถของเม็ดแป้งที่จะพองตัวก็จะน้อยลง ซึ่งจะมีผลทำให้ viscosity ที่ได้ต่ำลงด้วยและในขั้นสุดท้ายแป้งจะไม่สามารถ form paste ได้เลย แม้ว่า จะอยู่ในน้ำที่เดือดอยู่ตลอดเวลา

Cross-linked starch นี้เวลาให้ความร้อนในน้ำเม็ดแป้งจะพองตัวไม่ได้มากนัก ถึงแม้ว่า starch/starch hydrogen bonds จะถูกทำลายบ้าง แต่ chemical bonds จะไม่ถูกทำลายไปเลยทำให้เม็ดแป้งที่ได้มีความแข็งแรงมากขึ้นดังได้กล่าวแล้วในตอนต้น

ผลสำคัญของ Cross-linking starch ที่มีต่ออุตสาหกรรมอาหาร คือ

- 1) ช่วยเปลี่ยนลักษณะของ starch paste จาก long textured และ cohesive ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไปเป็น paste ที่มีลักษณะเป็น short textured และทำให้เกิด mouth feel ดีขึ้น
- 2) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรง และช่วยทำให้ paste viscosity ที่ได้นั้นคงที่ ไม่แตกตัวออก เนื่องจากการ treat ด้วยความร้อนหรือ mechanical shear
- 3) ช่วยเพิ่มความต้านทานน้ำให้ paste ถูก break down ได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด

อุตสาหกรรมอาหารที่นิยมใช้ Cross-linked starch คือพวก fruit-pie fillings เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น ต้องไม่เกิดการ break down ของแป้งภายใต้สภาพที่เป็นกรดหรืออุณหภูมิสูง หรือมี shear force เกิดขึ้น นอกจากนั้นอาจใช้ใน soup manufacture เป็น thickening agents

คุณสมบัติที่ไม่ดีของ Cross-linking ของแป้งเหล่านี้คือ

- 1) ความคงตัวของ starch paste ที่อุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนไป
- 2) ไม่เกิดลักษณะใส เมื่อเก็บไว้นาน ๆ

\*

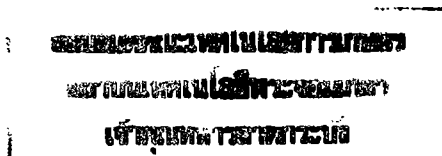
14483

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 Hot air oven ( รูปที่ 8 )  
Model 400 ( Memmert )
- 3.1.2 Freezer  
Model TCH 220 ( Ariston )
- 3.1.3 Centrifugeur ( รูปที่ 9 )  
Model GR 4-11 ( Jouan )
- 3.1.4 Water bath ( รูปที่ 10 )  
Type W 600 ( Memmert )
- 3.1.5 Brookfield viscometer ( รูปที่ 11 )  
Model RVF-100
- 3.1.6 Roter Mixer ( รูปที่ 12 )  
Type RW 20 ( Kika Labortechnik )
- 3.1.7 Seive shaker  
Type 03.502 ( Fritsch )
- 3.1.8 Microwave  
Model ER-461 OD ( Goldstar )
- 3.1.9 Soxhlet extractor
- 3.1.10 Desiccater





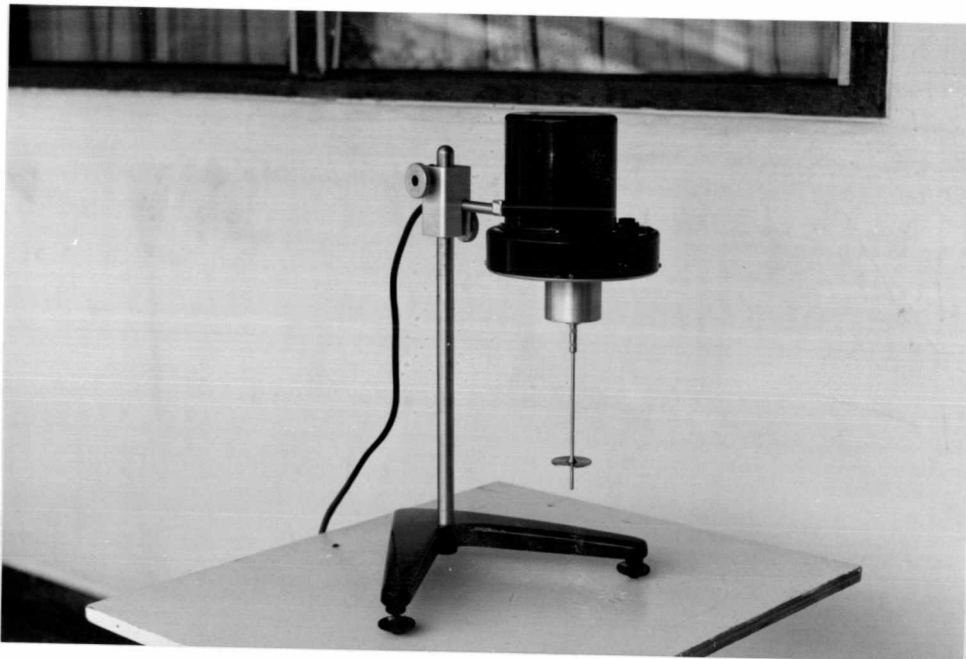
รูปที่ 8 Hot air oven



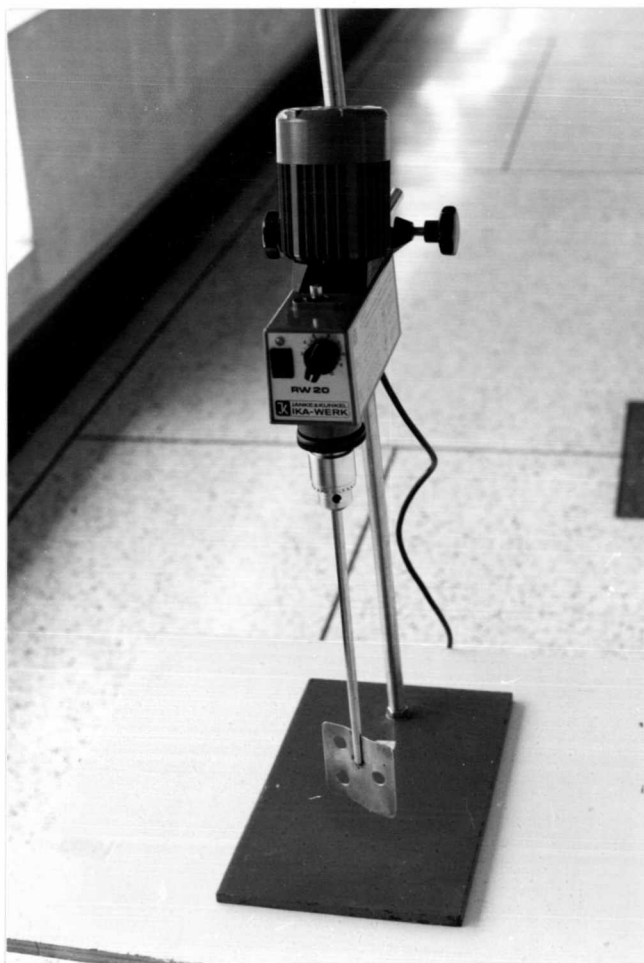
รูปที่ 9 Centrifugeur



รูปที่ 10 Water bath



รูปที่ 11 Brookfield viscometer



รูปที่ 12 Roter Mixer

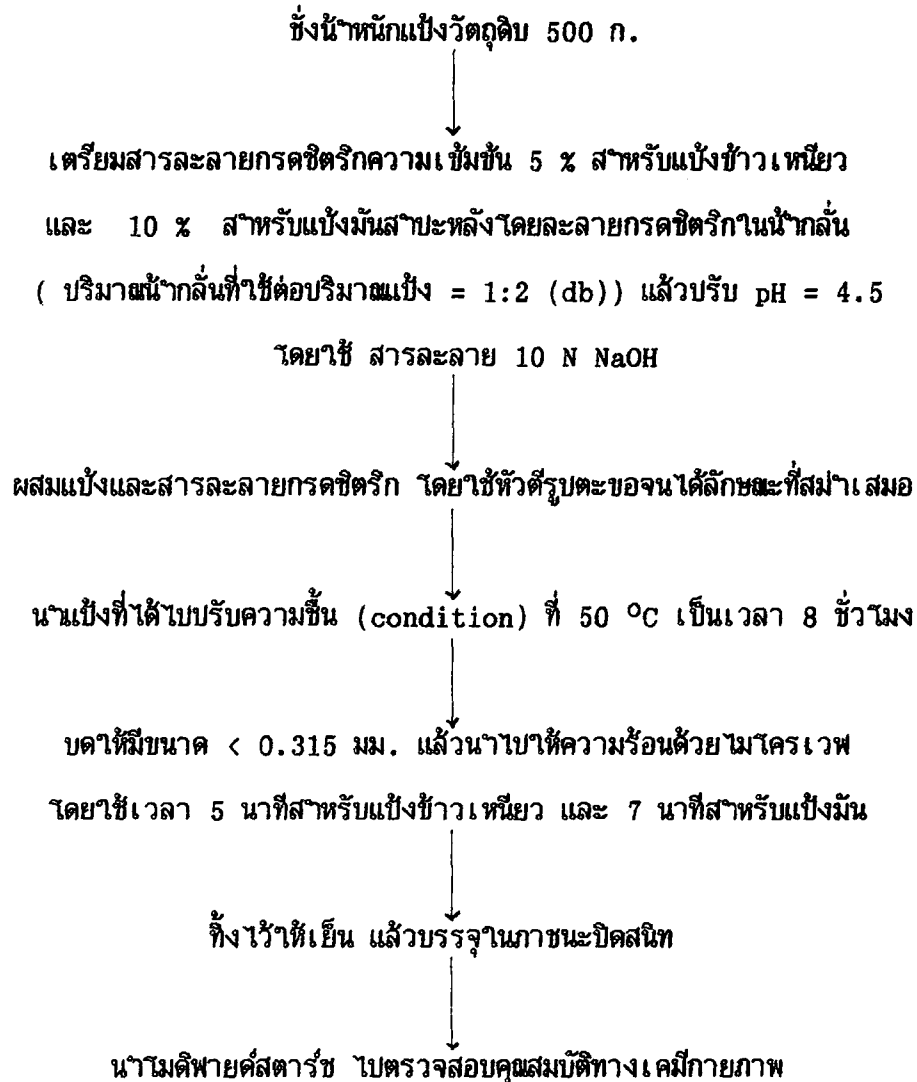
### 3.2 วัตถุดิบ

1. แอ่งมันสำปะหลัง ตราจิงโจ้บินเหยียบลูกโลก หจก.เจริญธุรกิจ
2. แอ่งข้าวเหนียว ตราทานตะวัน บ.ไทยอินเตอร์เรชั่นเนลไรซ์พลาว จำกัด

### 3.3 สารเคมี

1. Citric acid 5 และ 10 %  
ของ Farmitalic Carlo Erba
2. Ethyl alcohol 95 %  
ของ โรงงานสุราอยุธยา
3. KOH 1 N  
ของ Farmitalic Carlo Erba
4. Acetic acid 5 N  
ของ Merck
5. Borate buffer  
ของ Merck
6. Murexid indicator  
ของ Merck
7.  $\text{CuSO}_4$  0.05 M  
ของ Merck

### 3.4 กระบวนการผลิตสตาร์ชซีเทรท



## บทที่ 4

### การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

- 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ช ( % Bound Citric acid, % BC ) โดยใช้วิธีของ Klaushofer 1979

#### หลักการ

เมื่อไตเตรทสารละลายสตาร์ชด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตจนถึงจุดที่ indicator ( Murexid ) เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง กรดซิตริกจะจับกับ Cu(II)ไอออน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัว

#### การเตรียมตัวอย่าง

บดและคัดขนาดของตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 0.5 มม. นำไปสกัดด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 95 % นาน 4 ชั่วโมง โดยใช้ Soxhlet extractor ผึ่งตัวอย่างที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องใน hood chamber เป็นเวลา 1 คืน

- 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ( Moisture Content ,MC ) โดยใช้วิธีของ AOAC 1990

#### หลักการ

การวิเคราะห์ความชื้นในอาหารทำได้หลายวิธี เช่น การอบไล่ความชื้นในตู้อบ การกลั่นหรือการไตเตรชัน วิธีการอบไล่ความชื้นนับว่าง่ายในทางปฏิบัติ โดยคำนวณหาน้ำหนักของสารที่หายไปหลังการอบแห้ง น้ำส่วนที่ระเหยน้ำนี้ คือ free water อย่างไรก็ตามน้ำหนักที่หายไปมิได้บ่งถึงปริมาณความชื้นเท่านั้นที่ระเหยไป แต่องค์ประกอบที่ระเหยง่ายก็จะถูกขจัดออกไปพร้อมความชื้นด้วยเช่นกัน การระเหย free water จะเร็วขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น การนำแบ่งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ หรือไม่ผ่านการให้ความร้อนมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น เพื่อต้องการทราบว่าแบ่งจะมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่เท่าไร

#### 4.3 การวิเคราะห์ดัชนีการดูดซึมน้ำ ( Water absorption index ,WAI )

โดยวิธีของ Schoch 1968

##### หลักการ

เมื่อน้ำแข็งละลายน้ำ เม็ดแข็งจะดูดน้ำเข้าไปและเกิดการพองตัว ปริมาณน้ำที่ดูดเข้าไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ทั้งนี้ เพราะการจัดตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งแตกต่างกัน น้ำเย็นการพองตัวจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการพองตัวจะเพิ่มมากขึ้น เพราะน้ำสามารถเข้าไปในเม็ดแป้งได้มากขึ้น เนื่องจากแรงที่เกาะกันระหว่างโมเลกุลของแป้งอ่อนลง ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C การพองตัวจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว เป็นอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก และเริ่มกระจายตัวในน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งที่ผ่านการตากแห้งที่อุณหภูมิมาแล้ว การพองตัวจะมีมาก ปัจจัยที่มีผลต่อการสุกของแป้ง สามารถหาได้จากการวัดปริมาณน้ำที่เม็ดแป้งดูดเข้าไป โดยระดับการเกิดเจลาตินในขั้นนี้จะขึ้นกับปริมาณความชื้นของแป้ง ขนาดอนุภาคของแป้ง และอุณหภูมิ ในการทดลองนี้จะวัดการพองตัวของแป้งโดยการวัดค่าดัชนีการดูดซึมน้ำของแป้ง ซึ่งหมายถึง น้ำหนักของน้ำที่แป้งดูดซึมต่อกรัมของแป้งแห้ง

#### 4.4 การวิเคราะห์ดัชนีการละลายน้ำ ( Water solubility index, WSI )

โดยวิธีของ Schoch 1968

##### หลักการ

ในธรรมชาติแป้งละลายน้ำได้น้อยซึ่งปริมาณการละลายน้ำนั้นจะขึ้นกับชนิดของแป้ง ทั้งนี้ เพราะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งแตกต่างกันไป ซึ่งการหาค่าดัชนีการละลายน้ำนั้น เป็นการหาปริมาณของแป้งที่ละลายได้ในน้ำที่แยกออกจากการนำแป้งมาเติมน้ำแล้วคนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยง จากนั้นนำไปอบจนแห้ง โดยที่น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น คือปริมาณของแป้งที่สามารถละลายได้นั่นเอง

#### 4.5 การวิเคราะห์ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ( Freeze-thaw stability, FTS ) โดยใช้วิธีของ Schoch 1968 และ Berghofer 1975

##### หลักการ

งานการเก็บรักษาอาหารประกอบด้วย การแช่แข็ง และการเก็บไว้ในที่เย็นเป็นระยะเวลานาน เพลสต์ของแป้งมักใช้ เป็นสารให้ความหนืดในอาหาร การคืนตัวของเจลอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ไม่ต้องการ รวมทั้งการเกิดลักษณะที่เป็นเจล ความชุ่มชื้นที่เพิ่มขึ้น และการแยกตัวของน้ำ หรือการที่มีน้ำไหลซึมออกจากเพลสต์ อันเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้น ภายหลังการแช่แข็ง ซึ่งมักพบในอาหารที่ผ่านการแช่แข็ง การวิเคราะห์ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อสังเกตการแยกตัวของน้ำ โดยนำเพลสต์ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  แล้วนำมาละลายจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยง และวัดปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมา

#### 4.6 การวิเคราะห์ความคงทนต่อแรงเฉือน ( Shearing stability, SHS )

โดยใช้วิธีของ Klaushofer 1975

##### หลักการ

เมื่อต้องการที่จะคงคุณลักษณะ paste ของแป้งสุกภายใต้การกวนเป็นเวลานาน ชั่วขณะ หรือการบีบเพลสต์แจกจ่ายไปทั่วทั้งโรงงาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือความชื้นหนืดของเพลสต์ที่ลดลงซึ่งอาจเป็นผลมาจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง เราสามารถทำการทดสอบเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยการให้แรงเฉือน หรือการกวนด้วยความเร็วสูงกับเพลสต์ในเวลาที่เหมาะสม ที่ความเร็วในการกวนต่าง ๆ และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดในหน่วย centripoise(cp) ด้วย Brookfield viscometer ผลที่ได้จากการศึกษาของผู้ทำการทดลองหลายท่านได้แสดงให้เห็นว่า วิธีนี้สามารถบอกให้ทราบถึงความแข็งแรงของเพลสต์ ซึ่งมีผลต่อความยากง่ายในการแตกตัวของเม็ดแป้ง

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรท ซึ่งผลิตจากแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติและสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวเปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติและสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	ชนิดแป้ง		
	G0000	G0005	G0505
ปริมาณกรดชิตริกที่เกาะเกี่ยวกับ			
โมเลกุลสตาร์ช ( % BC )	0	0	3.3
ปริมาณความชื้น ( % MC )	11.0017	3.2528	3.4320
ดัชนีการดูดซึมน้ำ ( % WAI )	128.4270	153.7100	130.4720
ดัชนีการละลายน้ำ ( % WSI )	1.4107	0.8096	4.7319
ความคงทนต่อแรงเฉือน ( % SHS )	25.7644	33.3405	28.8026
ความคงทนต่อการแช่แข็งและ			
การละลาย ( % FTS )	53.1	58.0	72.7

#### หมายเหตุ

1. สัญลักษณ์ต่าง ๆ ตาราง

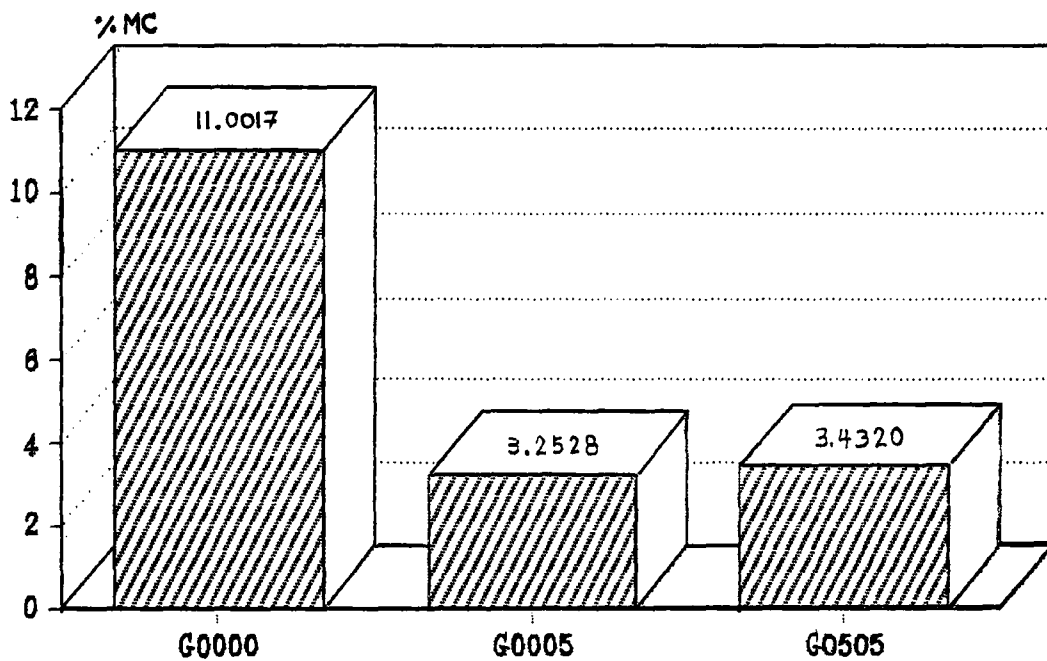
G มาจาก Glutenous rice หรือแป้งข้าวเหนียว

ตัวเลข 2 ตัวแรก หมายถึง % กรดชิตริกที่ใช้

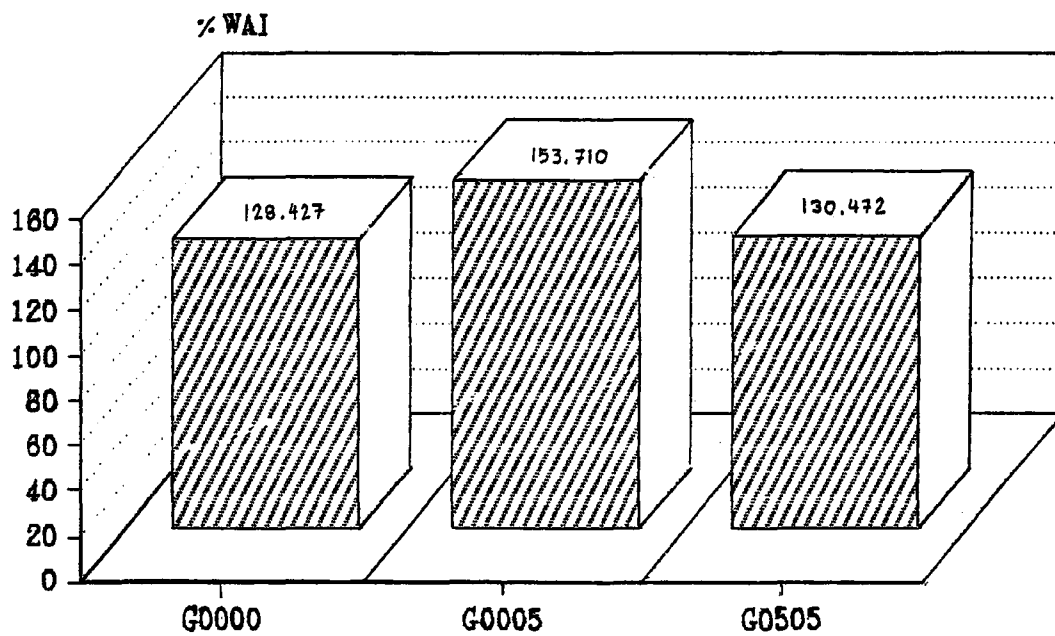
ตัวเลข 2 ตัวหลัง หมายถึง เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ( นาที )



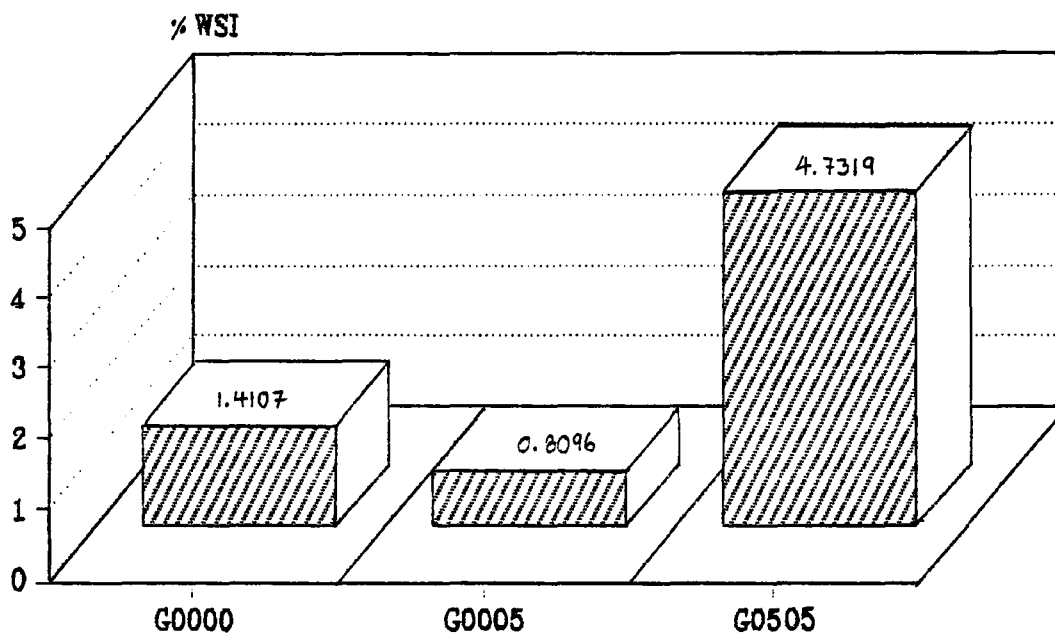




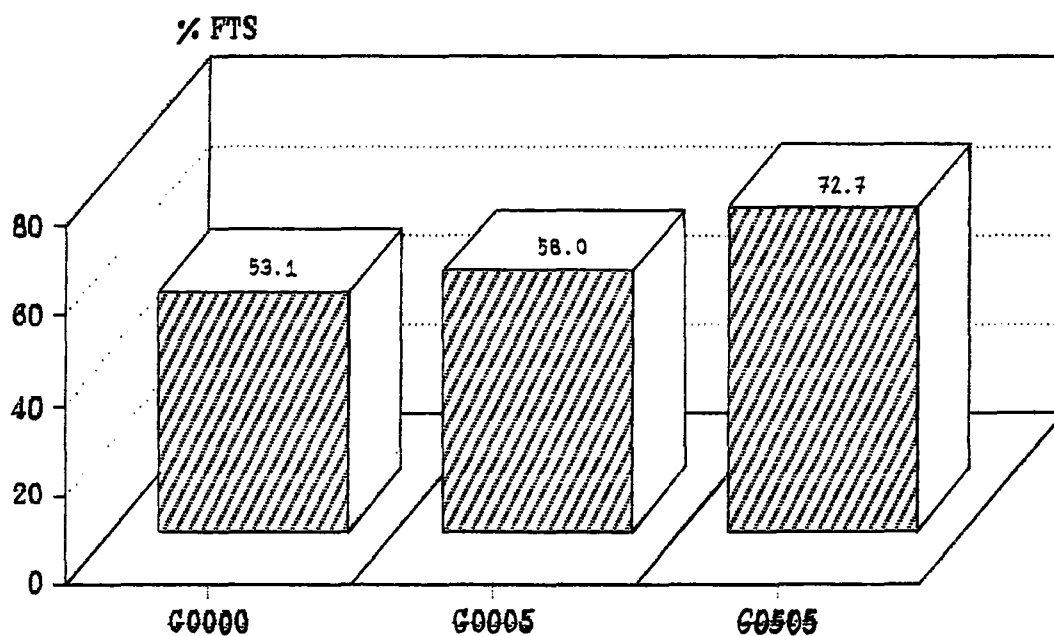
**รูปที่ 13** กราฟแสดงปริมาณความชื้นของสตาร์ชซีเทรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว (G0505) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (G0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (G0005)



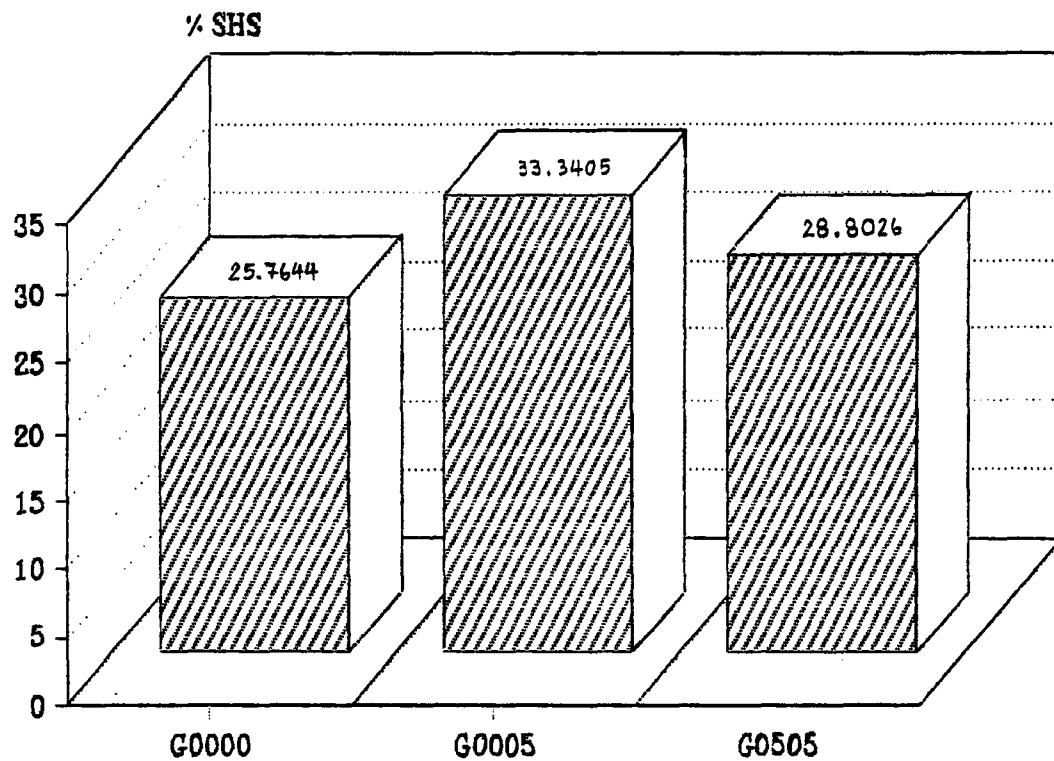
รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าดัชนีการดูคิมน้ำของสสารขีเตรงที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว ( G0505 )  
เปรียบเทียบกับสสารธรรมชาติ ( G0000 ) และสสารที่ผ่านไมโครเวฟ ( G0005 )



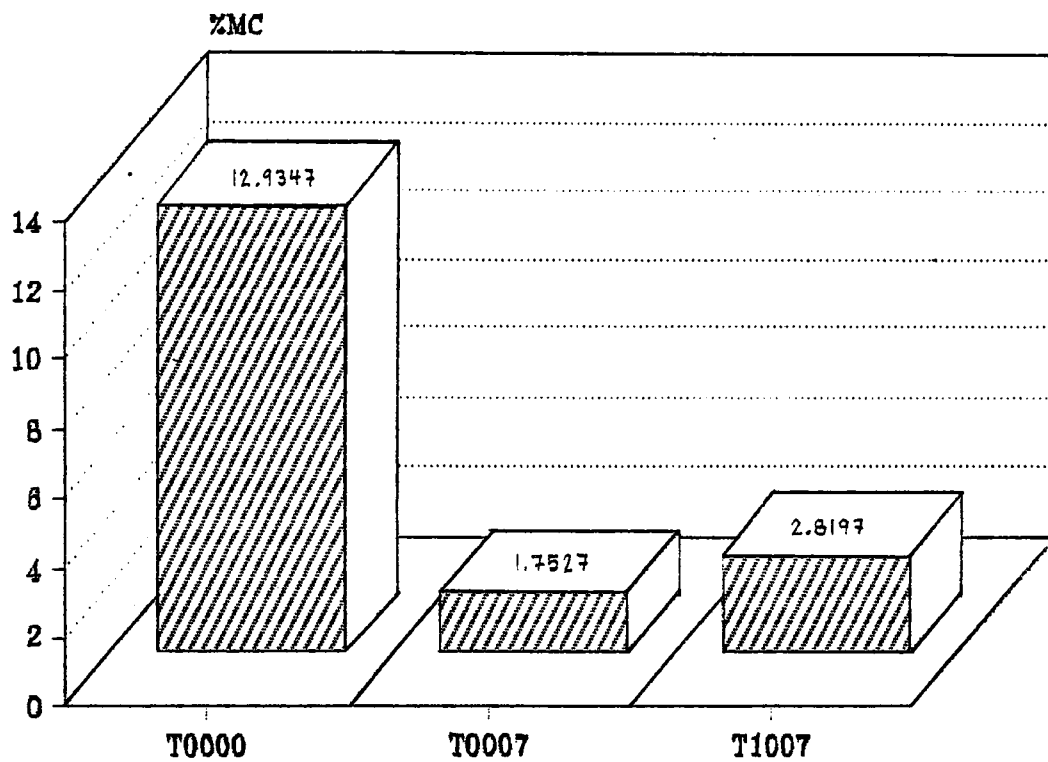
รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าดัชนีในการละลายน้ำของสตาร์ชชนิดที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว (G0505) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (G0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (G0005)



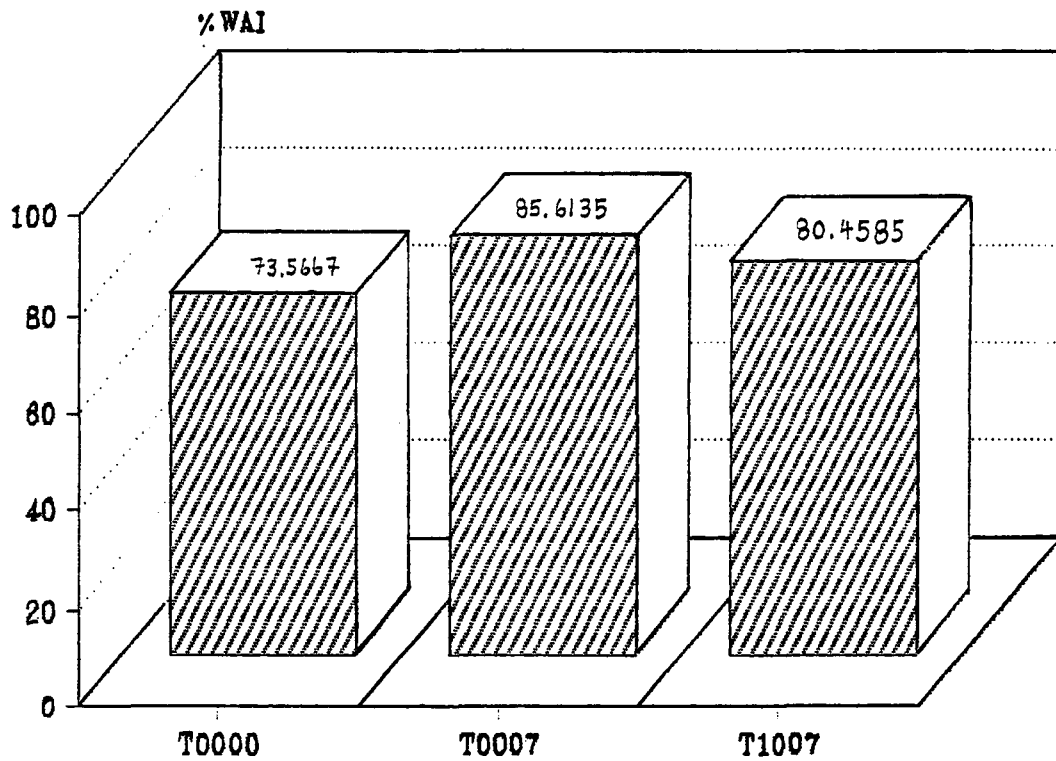
รูปที่ 16 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายของสตาร์ชซีเทรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว (G0505) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (G0000) และ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (G0005)



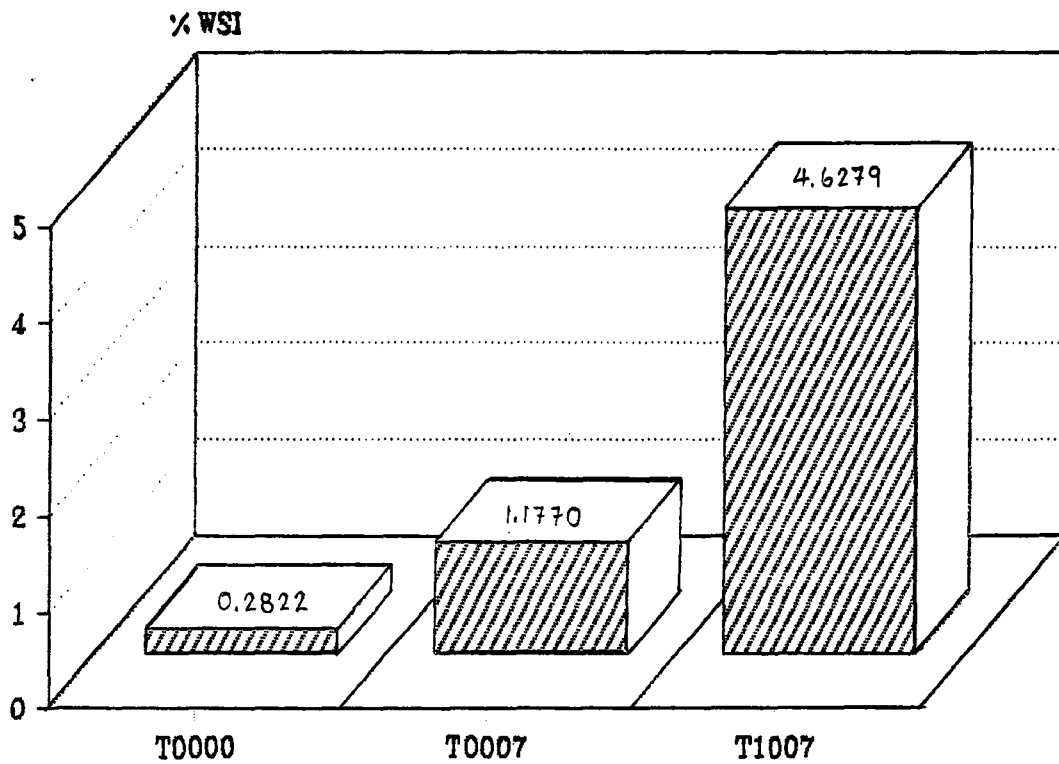
**รูปที่ 17** กราฟแสดงค่าความคงทนต่อแรงเงื่อนของสตาร์ชชนิดที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว (G0505) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (G0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (G0005)



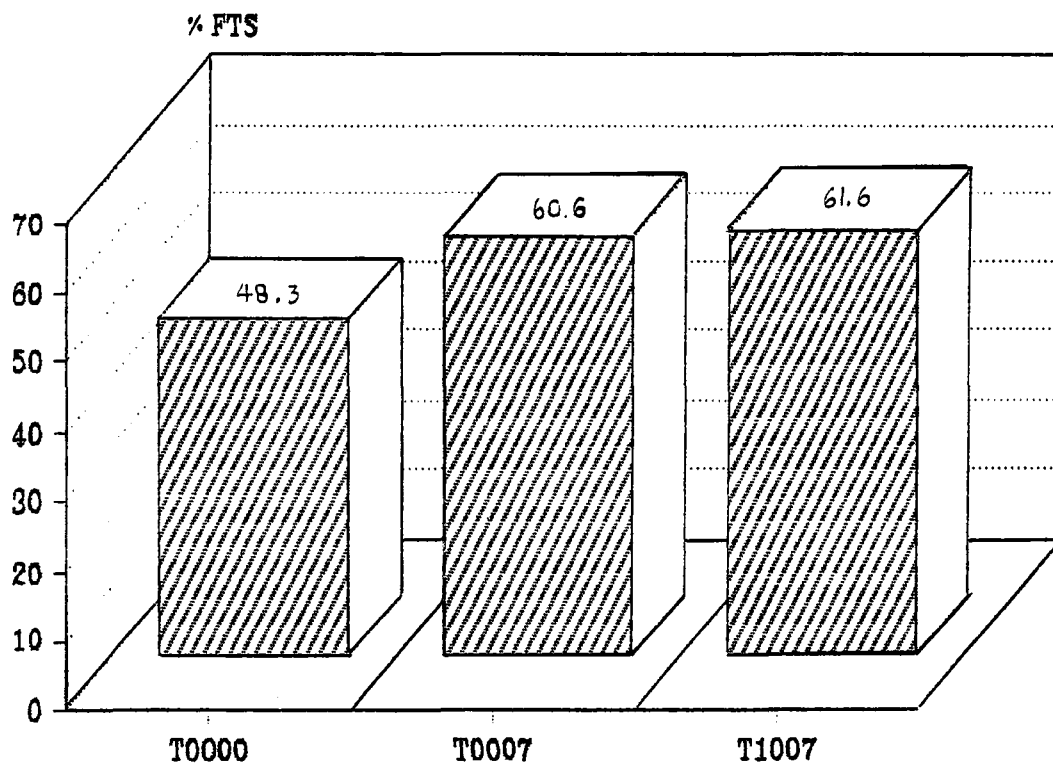
รูปที่ 18 กราฟแสดงปริมาณความชื้นของสตา์ชชีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (T1007) เปรียบเทียบกับสตา์ชธรรมชาติ(T0000) และสตา์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (T0007)



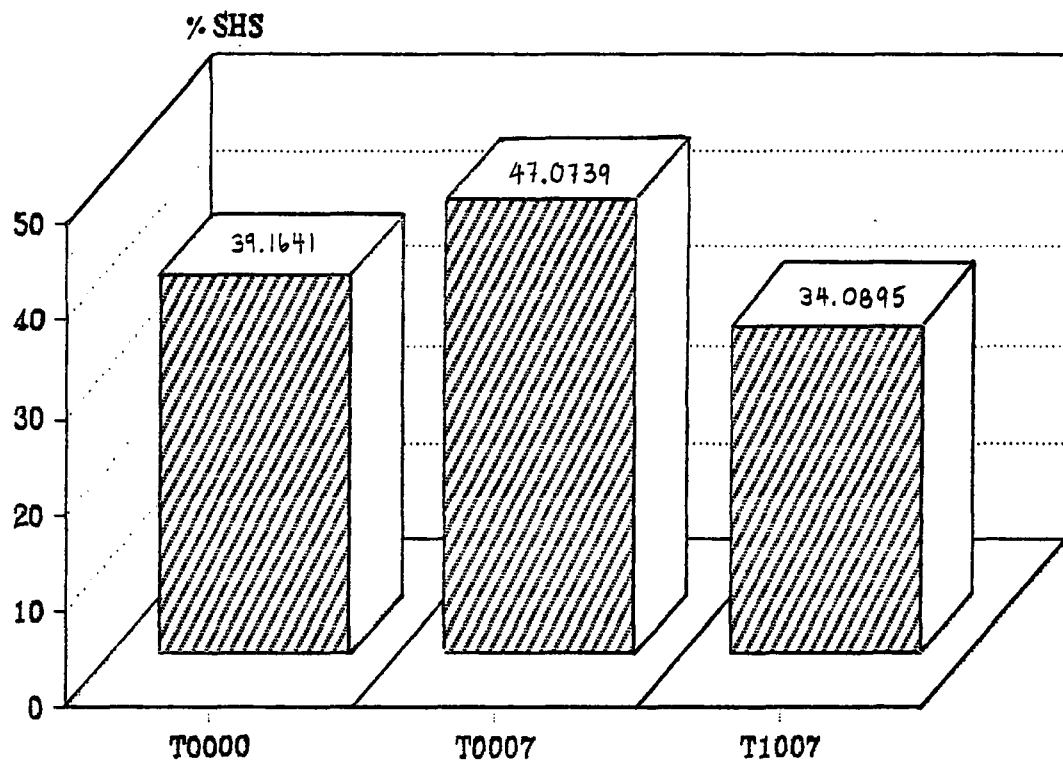
รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าดัชนีการตัดสินใจของสตาร์ชชิตเรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (T1007) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (T0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (T0007)



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าดัชนีการละลายน้ำของสตาร์ชชนิดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (T1007) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ (T0000) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ (T0007)



รูปที่ 21 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้ง  
มันสำปะหลัง ( T1007 ) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ ( T0000 ) และ  
สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ ( T0007 )



**รูปที่ 22** กราฟแสดงค่าความคงทนต่อแรงเฉือนของสตา์ชชีเตอรท์ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ( T1007 ) เปรียบเทียบกับสตา์ชธรรมชาติ ( T0000 ) และสตา์ชที่ผ่านไมโครเวฟ ( T0007 )

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว ( G0505 ) และแป้งมันสำปะหลัง ( T1007 ) กับสตาร์ชธรรมชาติทั้งสองชนิด ( G0000 และ T0000 ) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟทั้งสองชนิด ( G0005 และ T0007 ) โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณความชื้น ( Moisture content ; % MC ) ดัชนีการดูดซึมน้ำ ( Water absorption index ; % WAI ) ดัชนีการละลาย ( Water solubility index ; % WSI ) ความคงทนต่อแรงเฉือน ( Shearing stability ; % SHS ) ความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ( Freeze-thaw stability ; % FTS ) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง ( G0505, T1007 ) เปรียบเทียบกับสตาร์ชธรรมชาติ ( G0000, T0000 ) และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ ( G0005, T0007 )

Modified starch	Physicochemical properties				
	% MC	% WAI	% WSI	% SHS	% FTS
G0505	- <sup>a</sup>	+ <sup>a</sup>	+	+ <sup>a</sup>	+
T1007	- <sup>a</sup>	+ <sup>a</sup>	+	-	+

#### หมายเหตุ

- + หมายถึง สตาร์ชซีเตรทมีค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพนั้น ๆ สูงขึ้น
- หมายถึง สตาร์ชซีเตรทมีค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพนั้น ๆ ต่ำลง
- +<sup>a</sup> หมายถึง สตาร์ชซีเตรทมีค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพนั้น ๆ สูงกว่าสตาร์ชธรรมชาติ แต่ต่ำกว่าสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ

- a หมายถึง สตาร์ชธรรมชาติมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพนั้น ๆ ต่ำกว่าสตาร์ชธรรมชาติ แต่สูงกว่าสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ

จากตารางจะพบว่า

- สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว ( G0505 ) มี % MC ต่ำกว่า G0000 แต่สูงกว่า G0005, % WAI สูงกว่า G0000 แต่ต่ำกว่า G0005 , % WSI และ % FTS สูงกว่าทั้ง G0000 และ G0005 และ % SHS สูงกว่า G0000 แต่ต่ำกว่า G0005

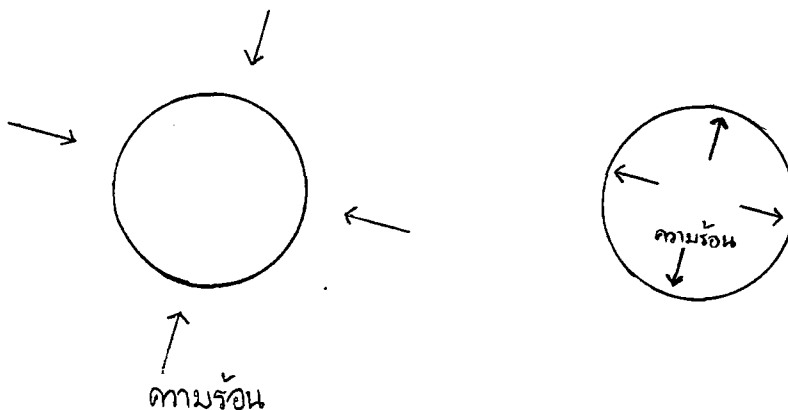
- สำหรับสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ( T1007 ) มี % MC ต่ำกว่า T0000 แต่สูงกว่า T0007, % WAI สูงกว่า T0000 แต่ต่ำกว่า T0007 , % WSI และ % FTS สูงกว่าทั้ง T0000 และ T0007 และคุณสมบัติสุดท้าย ค่า %SHS ต่ำกว่าทั้ง T0000 และ T0007

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสตาร์ชซีเตรทมีคุณสมบัติทางด้านการละลายน้ำสูงขึ้น แต่มีความคงทนต่อแรงเจือปนต่ำลง นอกจากนี้แล้วยังพบว่ามีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายสูง ซึ่งถ้ามีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายสูง จะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพที่ไม่ต้องการ ทั้งนี้เพราะค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายนั้น วัดจากปริมาณน้ำที่ไหลซึมออกจากเฟสค์หลังจากที่นำเฟสค์ของสตาร์ชซีเตรทไปแช่แข็งเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาละลายที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

การที่สตาร์ชซีเตรทมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างไปจากโมดิฟายด์สตาร์ชประเภทครอสลิงกิงโดยทั่ว ๆ ไปนั้น เนื่องจากมีรูปแบบการให้ความร้อนของกระบวนการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชแตกต่างกัน กล่าวคือในกระบวนการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชโดยวิธีทั่วไปนั้น มักจะเป็นการให้ความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในเมล็ดสตาร์ช แต่ในขณะที่การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้น ความร้อนจะเกิดจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของน้ำและเมล็ดที่มีประจุภายในเมล็ดสตาร์ชทำให้เกิดการเสียดสีกันจนเกิดเป็นความร้อนจากภายในเมล็ดสตาร์ชก่อน แล้วจึงถ่ายเทสู่ภายนอก ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เมล็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวออก ( Puff ) ซึ่งการพองตัวของสตาร์ชจะทำให้ความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น และนอกจากรูปแบบการให้ความร้อนแล้วสามารถอธิบายในแง่ของลักษณะโครงสร้างได้คือ สตาร์ชซีเตรทจะมีลักษณะโครงสร้างแตกต่างจากสตาร์ชธรรมชาติและสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยสตาร์ชธรรมชาตินั้นจะมีเม็ดแป้ง ( granule ) ที่เรียงซ้อนกันหนาแน่น เมื่อนำมาผ่านไมโครเวฟเม็ดแป้งจะพองตัว จึงทำให้การเรียงซ้อนกันลดลง ในขณะที่เม็ดแป้งของสตาร์ชซีเตรทนั้นจะเรียงตัวห่างออกไปอีก เนื่องจากมีการคิตรีกมาเชื่อมโซ่ระหว่าง

โมเลกุลของเม็ดแป้ง ดังนั้นจากลักษณะโครงสร้างดังกล่าวทำให้เมื่อได้รับแรงเฉือนแล้ว สตาร์ชซีเทรทจะมีความคงทนต่อแรงเฉือนน้อยกว่าสตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ นอกจากนี้ค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายก็สามารถใช้โครงสร้างของสตาร์ชซีเทรทอธิบายได้เช่นกัน เพราะเนื่องจากว่าสตาร์ชซีเทรทมีช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งมาก ทำให้มีน้ำอยู่ตามช่องว่างดังกล่าว ซึ่งเมื่อนำแป้งที่ผ่านการแช่แข็งแล้วมาละลาย น้ำที่อยู่ตามช่องว่างจะละลายออกมา แต่ในสตาร์ชธรรมชาติ และสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งน้อยกว่า จึงมีน้ำอยู่ตามช่องว่างน้อยกว่า และเมื่อนำแป้งที่ผ่านการแช่แข็งแล้วมาละลายจึงพบว่ามีน้ำไหลซึมออกมาน้อยกว่า ซึ่งแสดงว่ามีค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายน้อยกว่าด้วย

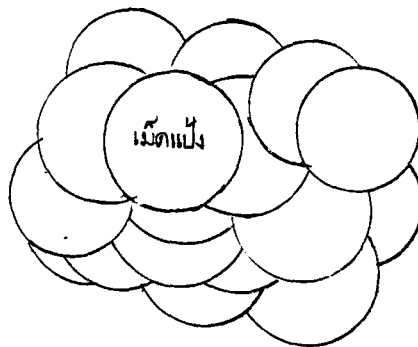
#### ภาพจำลองวิธีการให้ความร้อน



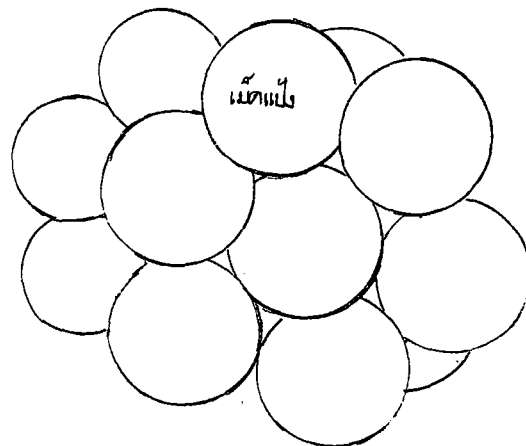
การให้ความร้อนทั่วไป

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

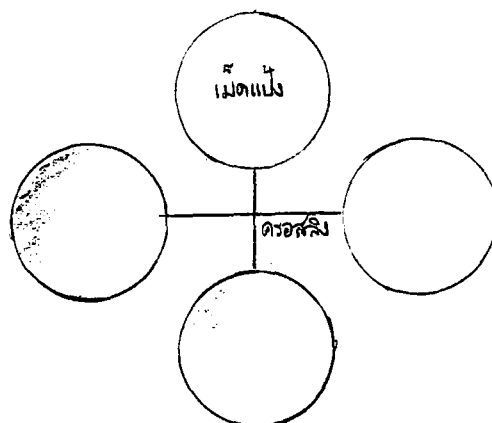
ภาพจำลองลักษณะโครงสร้างของสตาร์ช



สตาร์ชธรรมชาติ



สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ



สตาร์ชซีเตรท

### ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาคูสมบัติทางเคมีกายภาพของสสารซ์ซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวเปรียบเทียบกับสสารซ์ธรรมชาติและสสารซ์ที่ผ่านไมโครเวฟในปฏิกิริยาพิเศษนี้ ทำให้ได้ผลสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับคูสมบัติทางเคมีกายภาพของสสารซ์ซีเตรท แต่ยังไม่สามารถหาข้อสรุปได้ว่า ควรจะนำสสารซ์ซีเตรทนี้ไปประยุกต์ใช้ในด้านใดจึงจะเหมาะสม ดังนั้น จึงควรจะมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อหาข้อสรุปในแง่การนำไปใช้ต่อไป นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า สสารซ์ซีเตรทที่ผลิตจากแป้งวัตถุดิบทั้งสองมีคูสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากธรรมชาติของแป้งวัตถุดิบแต่ละชนิด เช่น รูปร่าง ขนาดของเม็ดสสารซ์ และปริมาตรของไมโครสโตนเม็ดสสารซ์ ต่างกัน จึงควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสสารซ์ซีเตรทจากแป้งวัตถุดิบชนิดอื่นต่อไปด้วยเช่นกัน

## เอกสารอ้างอิง

1. กันทิมาลัย จินดาประเสริฐ, ปรีธดา อวาทพงษ์ และ สิริรุ่ง นภสินธุ์โสภณ . 2536. ผลของไมโครเวฟที่มีต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว และ แป้งมันสำปะหลัง. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. นุชฤดี ศิริบุญ. 2534. การตัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าแบบครอสลิงกิง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหา- บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
3. พัชรินทร์ นพนิยมชาติ, พิษนี สุจริตพงศ์ และ สิรินทร ปิ่นเวหา. 2534. ความเป็นไปได้ ในการผลิตสตาร์ชซีเตรทโดยไมโครเวฟ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. วรนุช ศรีเจษฎารักษ์. 2535. การแปรสภาพแป้ง. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยี อาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 53 หน้า
5. สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2534. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. วารสารเกษตรศาสตร์. 25 : 318-325.
6. AOAC. 1975. Association of Official Analysis Chemists. 12 th ed. Edited by W. Horwitz; Washington, D.C. : Association of Official Chemists, Inc. (1975).
7. Berghofer, E. 1975. Versuche zur Herstellung von Starkederiva- tiven mit hoher Gerfrier-Taustabilitat und wertvollen Kleis- tereigenschaften. Dissertationsarbeit an der Universitat fur Bodenkultur, Wien.
8. Brand, J.C. 1988. Food Starch-the Nutritional Facts. J. Food Tech. 40(7) : 262-265.
9. Copson, D.A. 1975. Microwave eating. Connecticut : Weast Publishing Company.
10. Decareau, R. V. 1985. Microwave in the Food Processing Industry . New York : Academic Press.

11. Decareau, R. V. 1986. Microwave in the Food Processing throughout the world. J. Food tech. 40 (6) : 99-105.
12. IFT. 1989. Microwave food processing. A Scientific Status Summary by the IFT Expert Panel on Food Safety and Nutrition. J. Food Tech. 43(1) : 117-126.
13. Giese, J. 1992. Advances in Microwave Food Processing. J. Food Tech. 46(9) : 118-123.
14. Gruber, C.M. and W.A. Halbeisen. 1984. J. Pharmacol. exp. Ther., 94, 65
15. Hoseney, R.C. 1986. Principles of cereal Science and Technology. Minnesota : The American Association of Cereal Chemists, Inc. 417 pp.10. James , G. 1992. Advances in Microwave Food Processing. J. Food Tech. 118-122.
16. Klaushofer, V.H., E. Berghofer and E. Neugeschwandtner. 1975. On Determination of Shearing Stability of Starch Pastes. Starch /starke. 27(6) : 185-192.
17. Klaushofer, V.H., E. Berghofer and R. Pieber. 1979. Quantitative Bestimmung von Citronensaure in Citratstarcken. Starch/Starke. 31(8) : 251-261.
18. Knight, J.W. 1969. The Starch Industry. London : Pergaman Press 189 pp.
19. Radley, J.A. 1976. Starch Production Technology. London : Applied Science Publishers Ltd. 587 pp.
20. Rutenberg, M.W. and D. Solarck. 1984. Starch Dirivatives : Production and uses. In : Starch chemistry and Technology, Whistler R.L., J.N. Bemiller, and E.F. Paschall,
21. Schiffmann, R. F. 1992. Microwave food processing : Past,

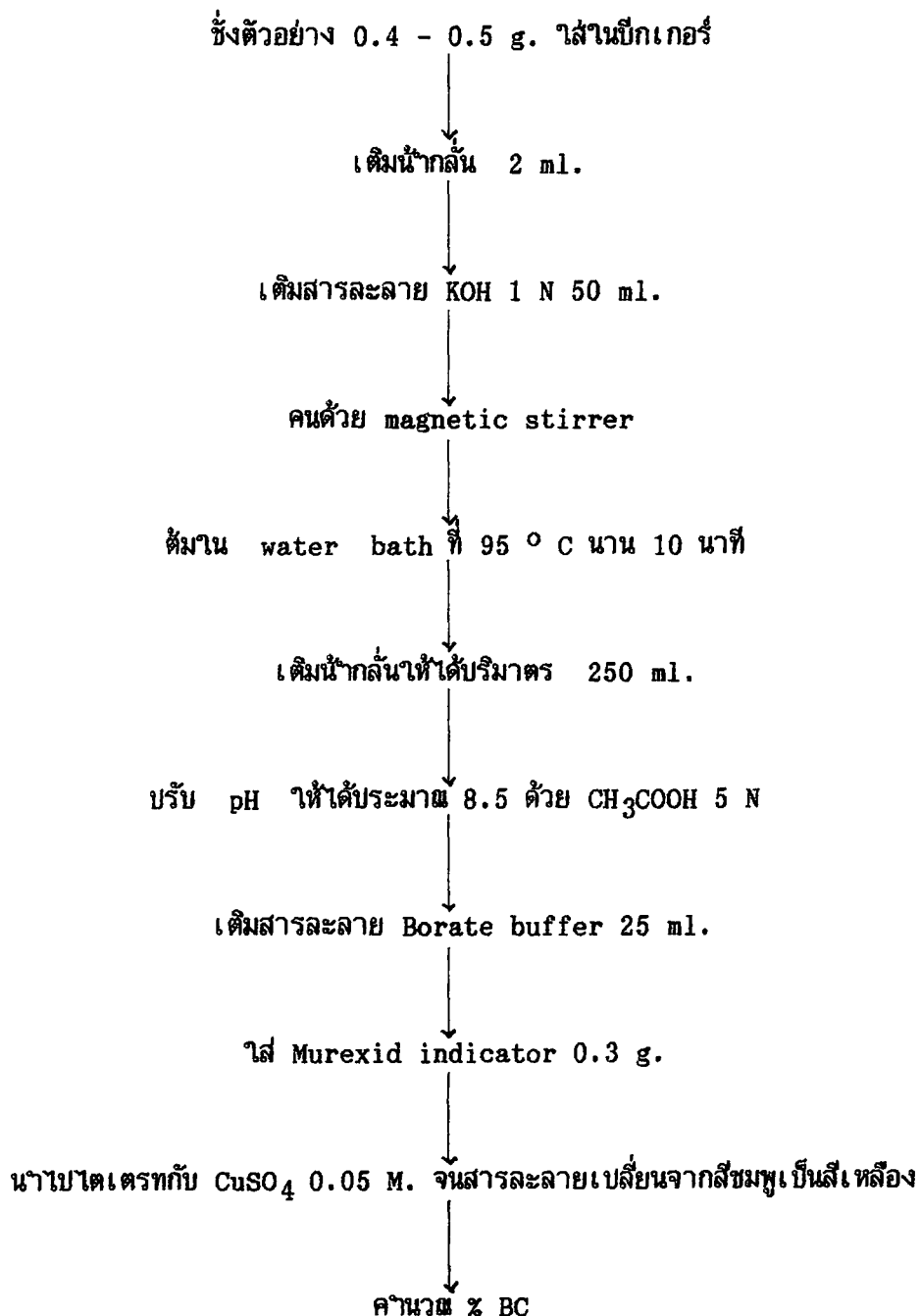
- present ,and future. Paper 148, presented at 52 th Annual Meeting of Inst. of Food Technologists. New Orleans,La., June 21-24.
22. Schoch, T.J. 1968. Effects of Freezing and Cold storage on paste starches. The Freezing preservation of foods. 14 : 44-56.
23. Smith, P. S. 1979. Starch Derrivative and Their Use in food. In : Food carbohydrate, Lineback, D.R., and G.E. Inglett, eds.
24. Whistler, R. L., Bemiller, J.N., Paschall, E.F. 1984. Starch : Chemistry and Technology. Orlando : Academic Press 718 pp.
25. Whistler, R.L. and et,.al. 1984. Starch:Chemistry and Technology. 2<sup>nd</sup> Ed. New York : Academic Press.
26. Wurzburg , O. B. 1987. Modified starch : Properties and Use. Florida : ERC Pren.

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์

ก.1. การหาปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับมวลของสตาร์ช ( Bound citric acid ; BC )



การคำนวณ

0.05 M.CuSO<sub>4</sub> Solution 1 ml. จะทำปฏิกิริยากับกรดซิตริก 9.61 mg.(db.)  
และไตรโซเดียมซีเตรท 12.9 mg.

$$\% \text{ bound citric acid ( db. )} = \frac{9.61 Y * 10}{X ( 100 - Z )}$$

เมื่อ X = น้ำหนักตัวอย่างเป็น g. (wb.)

Y = ปริมาตรเป็น ml. ของ 0.05 M.CuSO<sub>4</sub> ที่ใช้ในการไตเตรทจนถึง  
จุดที่ indicator เปลี่ยนสี

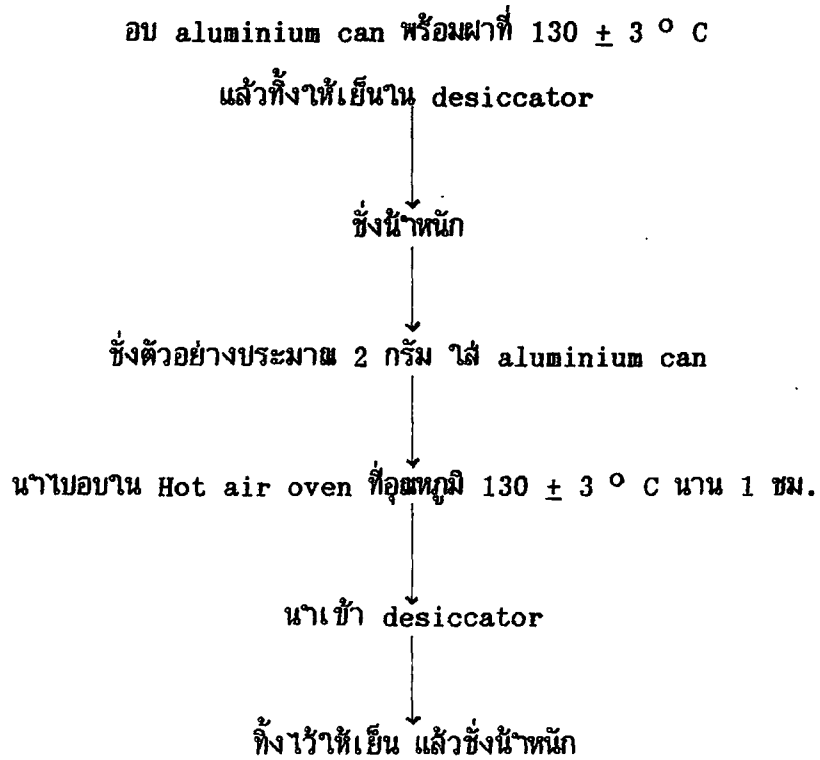
Z = % ความชื้นของตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์

9.61 = Calibration factor from pure citric acid (db.)

หมายเหตุ

Blank ที่ใช้ในการคำนวณใช้ค่า % BC ของค่าเฉลี่ยระหว่าง % BC ของสตาร์ช  
ธรรมชาติและสตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง มีค่า % BC  
เท่ากับ 1.1148 และ สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว มีค่า % BC เท่ากับ 0.2775

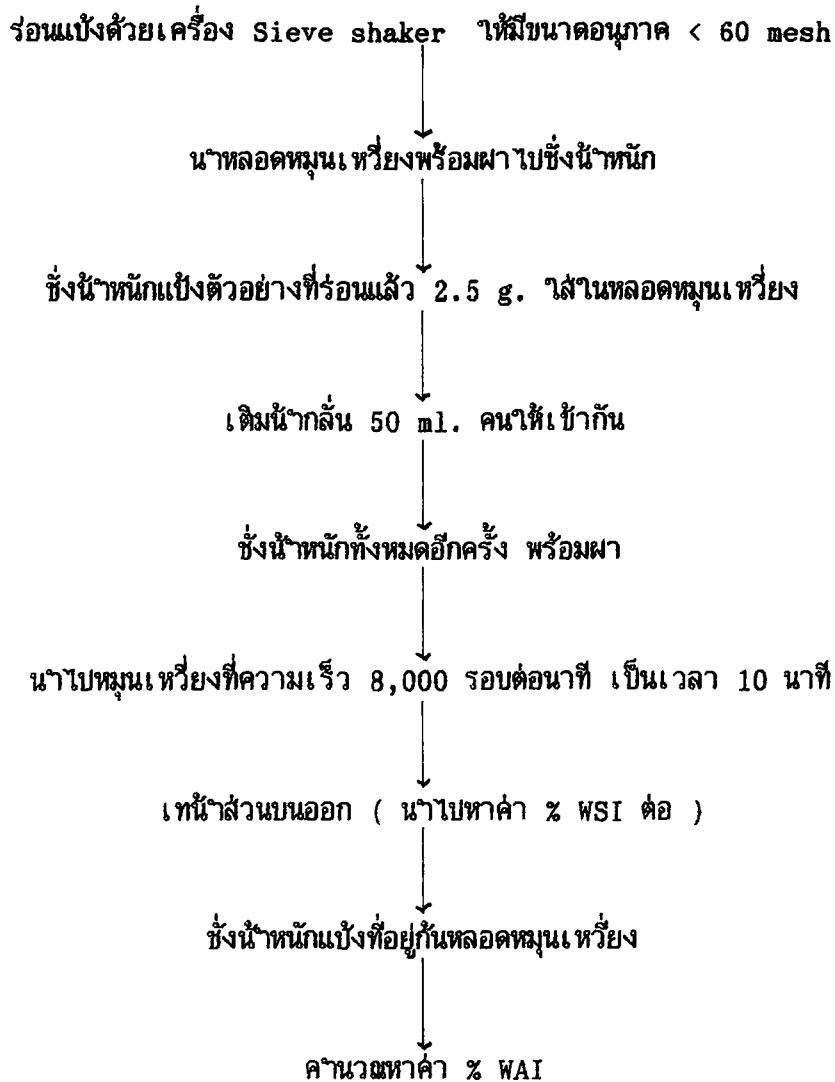
ก.2. การหาปริมาณความชื้น ( Moisture content ; MC )



การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น ( \% MC )} = \frac{\text{นน.แห้งเริ่มต้น} - \text{นน.แห้งหลังอบ}}{\text{นน.แห้งเริ่มต้น}}$$

ก.3. การหาค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ ( Water absorption index ; WAI )



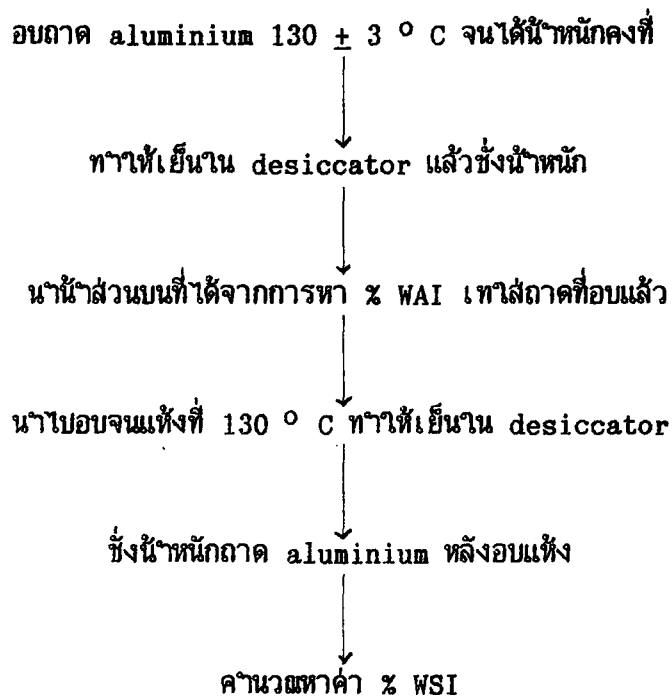
การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการดูดซึมน้ำ ( \% )} = \frac{B - A}{\text{นน. แป้ง}} * 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักแป้งแห้ง ( กรัม )

B = น้ำหนักแป้งหลังการหมุนเหวี่ยง ( กรัม )

ก.4. การทดสอบดัชนีการละลายน้ำ ( Water solubility index ; WSI )

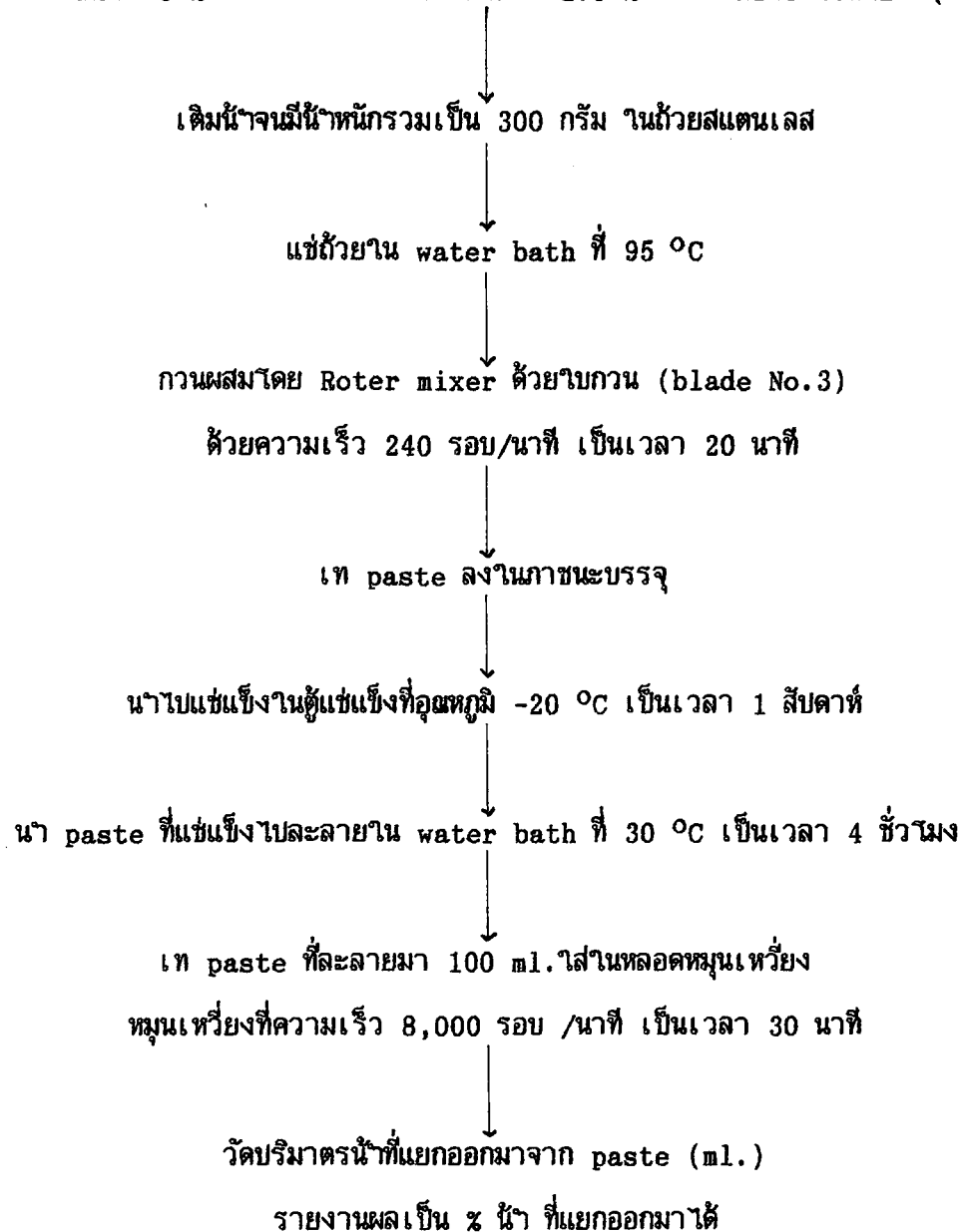


การคำนวณ

$$\% \text{ WSI} = \frac{\text{นน.ของถาด aluminium ที่เพิ่มขึ้น ( กรัม )}}{\text{นน.แป้งตัวอย่าง ( กรัม )}} * 100$$

ก.5. การหาค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย ( Freeze-thaw stability ; FTS )

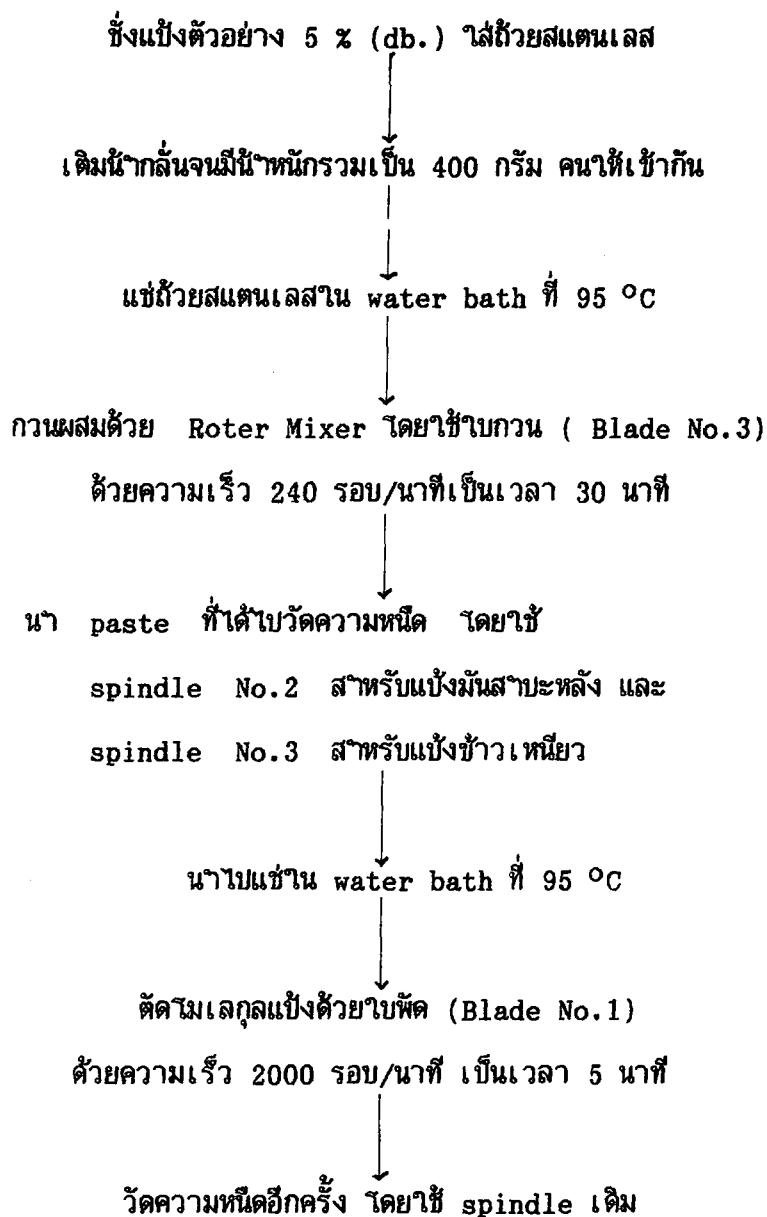
ซังแบ่งตัวอย่าง 5 % สำหรับแป้งมันสำปะหลังและ 2.5 % สำหรับแป้งข้าวเหนียว ( db.)



การคำนวณ

% Freeze-thaw stability = ปริมาณน้ำที่แยกออกมาได้ (ml.)

ก.6. การหาค่าความคงทนต่อแรงเฉือน ( Shearing stability : SHS )



การคำนวณ

$$\% \text{ Shearing Stability} = ( V_b / V_a ) * 100$$

เมื่อ  $V_a$  = ความหนืดของแป้งตัวอย่างก่อนได้รับแรงเฉือน (centripoise)

$V_b$  = ความหนืดของแป้งตัวอย่างหลังได้รับแรงเฉือน (centripoise)

**ภาคผนวก ข.**  
**ข้อมูลการทดลอง**

ข.1. Bound citric acid ( BC )

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลการหาค่าปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลของสตาร์ช  
( Bound citric acid ; BC )

ครั้งที่	% BC					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	1.1479	1.0806	4.4153	0.2777	0.2749	6.1893
2	1.1479	1.0814	4.4272	0.2773	0.2782	6.1832
3	1.1479	1.0835	4.4185	0.2771	0.2780	6.1832
4	1.1476	1.0800	4.4261	0.2778	0.2782	6.1801
5	1.1476	1.0827	4.4196	0.2782	0.2778	6.1801
6	1.1479	1.0822	4.4120	0.2773	0.2780	6.1817
7	1.1448	1.0835	4.4251	0.2778	0.2749	6.1801
8	1.1476	1.0827	4.4164	0.2775	0.2782	6.1832
9	1.1481	1.0814	4.4261	0.2775	0.2778	6.1817
10	1.1473	1.0827	4.4099	0.2774	0.2778	6.1847
X	1.1475	1.0821	4.4196	0.2776	0.2774	6.1827
SD	0.0010	0.0012	0.0063	0.0003	0.0013	0.0028
% CV	0.0839	0.1095	0.1420	0.1154	0.4749	0.0453

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลค่าแก้ไขปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชและประสิทธิภาพ  
ในการเข้าทำปฏิกิริยา ( Reaction efficiency ; RE )

ครั้งที่	% corrected BC		% RE	
	G0505	T1007	G0505	T1007
1	3.3005	5.9118	66.01	59.12
2	3.3124	5.9057	66.25	59.06
3	3.3037	5.9057	66.07	59.06
4	3.3113	5.9026	66.23	59.03
5	3.3048	5.9026	66.10	59.03
6	3.2972	5.9042	65.94	59.04
7	3.3103	5.9026	66.21	59.03
8	3.3016	5.9057	66.03	59.06
9	3.3113	5.9042	66.23	59.04
10	3.2951	5.9072	65.90	59.07
X	3.3048	5.9052	66.10	59.05

หมายเหตุ

% corrected BC = % BC ของสตาร์ชชนิดเรท - % BC ของสตาร์ชธรรมชาติ

% RE =  $\frac{\% \text{ BC}}{\% \text{ citric acid}} * 100$

% CV = SD/X

๒.2. Moisture content ( MC )

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลการทดลองหาค่าปริมาณความชื้น ( Moisture content ; MC )

ครั้งที่	% MC					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	11.0591	3.3446	3.3446	12.8186	1.7660	2.7286
2	11.2448	3.2839	3.4647	12.8247	1.7229	2.7885
3	10.6298	3.2890	3.4572	12.5507	1.6529	2.8949
4	10.9550	3.1699	3.4981	12.8705	1.7144	2.8940
5	10.8727	3.3208	3.3012	13.0983	1.6296	2.8945
6	10.9942	3.2894	3.3347	13.1995	1.7167	2.7829
7	10.9936	3.2012	3.4551	13.0084	1.8313	2.8488
8	11.2004	3.2303	3.5009	12.9786	1.8636	2.7417
9	10.9238	3.1751	3.4832	13.1135	1.8276	2.7539
10	11.1432	3.2235	3.4815	12.8842	1.8021	2.8693
X	11.0017	3.2528	3.4320	12.9347	1.7527	2.8197
SD	0.1780	0.0580	0.0750	0.1874	0.0785	0.0676
% CV	1.6181	1.7831	2.1841	1.4485	4.4788	2.3974

๗.3. Water absorption index ( WAI )

ตารางผนวกที่ 4 ข้อมูลการทดลองหาค่าดัชนีการดูดซึมน้ำ ( Water absorption index ; WAI )

ครั้งที่	% WAI					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	128.4335	153.8051	129.2690	73.0884	85.4941	80.1275
2	127.9873	154.8564	129.1979	73.4121	84.0213	79.7163
3	128.6508	153.2691	130.5887	73.0891	85.7092	81.0715
4	128.2987	153.0952	130.2079	73.8059	85.0881	81.8433
5	127.4809	154.7432	131.5381	73.8851	85.9706	81.7500
6	127.8163	152.5821	130.5749	73.1877	86.0251	79.7380
7	127.1161	153.3174	131.4210	73.7802	86.6248	80.8161
8	129.9818	154.7832	129.7876	73.0978	84.3210	79.2927
9	129.7270	152.3348	131.4712	73.0602	87.5555	79.6812
10	128.7811	154.3175	130.6619	73.2602	85.3248	80.5479
X	128.4274	153.7104	130.4718	73.5667	85.6135	80.4585
SD	0.9116	0.9310	0.8188	0.4253	1.0371	0.8509
% CV	0.7098	0.6161	0.6276	0.5781	1.2113	1.0575

๗.4. Water solubility index ( WSI )

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลการทดลองหาค่าดัชนีการละลายน้ำ ( Water solubility index ; WSI )

ครั้งที่	% WSI					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	1.4527	0.8079	4.6781	0.2784	1.1631	4.5891
2	1.3286	0.8132	4.6376	0.2854	1.1946	4.6279
3	1.4063	0.8241	4.7215	0.2784	1.1711	4.6825
4	1.4283	0.8334	4.7442	0.2853	1.1672	4.6806
5	1.3350	0.8080	4.6633	0.2749	1.1792	4.6009
6	1.4166	0.8009	4.7336	0.2993	1.1633	4.5977
7	1.4486	0.8193	4.7899	0.2819	1.1672	4.6085
8	1.4413	0.7805	4.7932	0.2784	1.1790	4.6522
9	1.4394	0.7863	4.7717	0.2888	1.1867	4.6608
10	1.4099	0.8224	4.7862	0.2714	1.1988	4.5783
X	1.4107	0.8096	4.7319	0.2822	1.1770	4.6279
SD	0.0445	0.0167	0.0533	0.0075	0.0122	0.0366
% CV	3.1545	2.0662	1.1264	2.6732	1.0389	0.7914

๒.5. Freeze-thaw stability ( FTS )

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลการทดลองหาค่าความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย  
( Freeze-thaw stability ; FTS )

ครั้งที่	% FTS					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	53.0	58.0	73.0	48.0	60.5	61.0
2	53.0	58.0	73.0	48.0	60.5	62.0
3	53.0	58.0	73.0	48.0	60.5	60.0
4	53.0	58.0	73.0	49.0	61.0	62.0
5	53.5	58.0	72.0	48.0	60.5	62.0
6	53.5	58.0	72.0	49.0	60.5	62.0
7	53.0	58.0	73.0	48.0	60.5	61.0
8	53.0	58.0	72.0	49.0	60.5	62.0
9	53.0	58.0	73.0	48.0	60.5	62.0
10	53.0	58.0	73.0	48.0	61.0	62.0
X	53.1	58.0	72.7	48.3	60.6	61.6
SD	0.2108	0.0	0.4830	0.4830	0.2108	0.6992
% CV	0.3970	0.0	0.6644	1.0001	0.3479	1.1351

๗.6. Shearing stability ( SHS )

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลการทดลองหาค่าความคงทนต่อแรงเฉือน ( Shearing stability ; SHS )

ครั้งที่	% SHS					
	G0000	G0005	G0505	T0000	T0007	T1007
1	26.3158	32.8229	29.5858	38.0000	47.8261	34.1615
2	25.1240	33.4884	28.4091	38.5700	47.5728	34.2508
3	25.1064	33.9713	29.5858	40.5941	46.3303	34.2508
4	25.1064	33.0275	28.2353	38.2271	46.8619	34.3465
5	26.3158	33.4862	28.7356	39.3258	48.3092	33.3333
6	25.3061	33.8829	28.5714	39.3258	47.8469	34.6749
7	26.1044	33.4862	28.2609	39.3258	46.2882	34.2508
8	25.9109	32.8829	28.4946	39.7727	46.4286	34.2508
9	26.2500	33.4862	28.7356	38.3333	46.4286	34.0426
10	26.1044	32.8704	29.4118	40.1662	46.8468	33.3333
X	25.7644	33.3405	28.8026	39.1641	47.0739	34.0895
SD	0.5357	0.4182	0.5297	0.8676	0.7482	0.4300
% CV	2.0792	1.2543	1.8391	2.2153	1.5894	1.2614

ภาคผนวก ค  
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SAS ได้ผลดังนี้

ตารางผนวกที่ 8 ตาราง ANOVA ของค่า % BC จากแป้งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	31.9956	15.9978	99999.99	3.35
Error	27	0.0004	0.000014		
Corrected total	29	31.9960			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % BC มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % BC ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเตรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0005

G0000

G0505

ตารางผนวกที่ 9 ตาราง ANOVA ของค่า % MC จากแบ่งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	391.2565	195.6283	14490.99	3.35
Error	27	0.3643	0.013514		
Corrected total	29	391.6208			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % MC มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % MC ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเตรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0005

G0505

G0000

ตารางผนวกที่ 10 ตาราง ANOVA ของ % WAI จากแป้งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	3944.81	1972.41	2422.31	3.35
Error	27	21.9852	0.8142		
Collected total	29	3966.80			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % WAI มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % WAI ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0000

G0005

G0505

ตารางผนวกที่ 11 ตาราง ANOVA ของ % WSI จากแป้งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	89.2558	44.6279	24730.28	3.35
Residual	27	0.0487	0.0018		
Corrected total	29	89.3045			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % WSI มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % WSI ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0000

G0005

G0505

ตารางผนวกที่ 12 ตาราง ANOVA ของ % FTS จากแป้งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	2080.8667	1040.43	11236.68	3.35
Residual	27	2.5000	0.0926		
Corrected total	29	2083.3667			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % FTS มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % FTS ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0000

G0005

G0505

ตารางผนวกที่ 13 ตาราง ANOVA ของ % SHS จากแป้งข้าวเหนียว

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	290.7328	145.3664	587.39	3.35
Residual	27	6.6819	0.2474		
Corrected total	29	297.4147			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % SHS มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % SHS ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

G0000

G0005

G0505

ตารางผนวกที่ 14 ตาราง ANOVA ของค่า % BC จากแป้งมันสำปะหลัง

SOV	d.f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	232.4806	116.2403	99999.99	3.35
Error	27	0.0000871	0.0000032		
Corrected total.	29	233.4807			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % BC มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % BC ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเทรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

T0007

T0000

T1007

ตารางผนวกที่ 15 ตาราง ANOVA ของค่า % MC จากแป้งมันสำปะหลัง

SOV	d.f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	761.6280	380.8140	24925.64	3.35
Error	27	0.4125	0.0153		
Corrected total	29	762.0405			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % MC มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $F_{cal} > F_{0.05}$ )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % MC ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเตรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

T0007

T1007

T0000

ตารางผนวกที่ 16 ตาราง ANOVA ของค่า % WAI จากแป้งมันสำปะหลัง

SOV	d. f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	730.6519	365.3259	538.81	3.35
Error	27	18.5475	0.6869032		
Corrected total	29	749.1994			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % WAI มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % WAI ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเตรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

T0000

T1007

T0007

ตารางผนวกที่ 17 ตาราง ANOVA ของค่า % WSI จากแป้งมันสำปะหลัง

SOV	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Treatment	2	105.3113	52.6556	91846.03	3.35
Error	27	0.0155	0.00057		
Corrected total	29	105.3268			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % WSI มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % WSI ของสตาร์ชธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชบีเตรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

T0000

T0007

T1007

ตารางผนวกที่ 18 ตาราง ANOVA ของค่า % FTS จากแก้งมันสำปะหลัง

SOV	d.f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	1097.27	548.64	2110.15	3.35
Error	27	6.9	0.26		
Corrected total	29	1104.17			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % FTS มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (  $F_{cal} > F_{0.05}$  )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสาม คือ % FTS สตาร์ธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเทรท โดยใช้ DMRT ได้ผลดังนี้

T0000

T0007

T1007

ตารางผนวกที่ 19 ตาราง ANOVA ของค่า % SHS จากแป้งมันสำปะหลัง

SOV	d.f.	SS	MS	F <sub>cal</sub>	F <sub>0.05</sub>
Treatment	2	856.3728	428.1864	857.90	3.35
Error	27	13.4759	0.4991		
Corrected total	29	869.8487			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % SHS มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อย่างมีนัยสำคัญอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $F_{cal} > F_{0.05}$ )

นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 3 คือ % SHS สตาร์ธรรมชาติ สตาร์ชที่ผ่านไมโครเวฟ และสตาร์ชซีเทรท

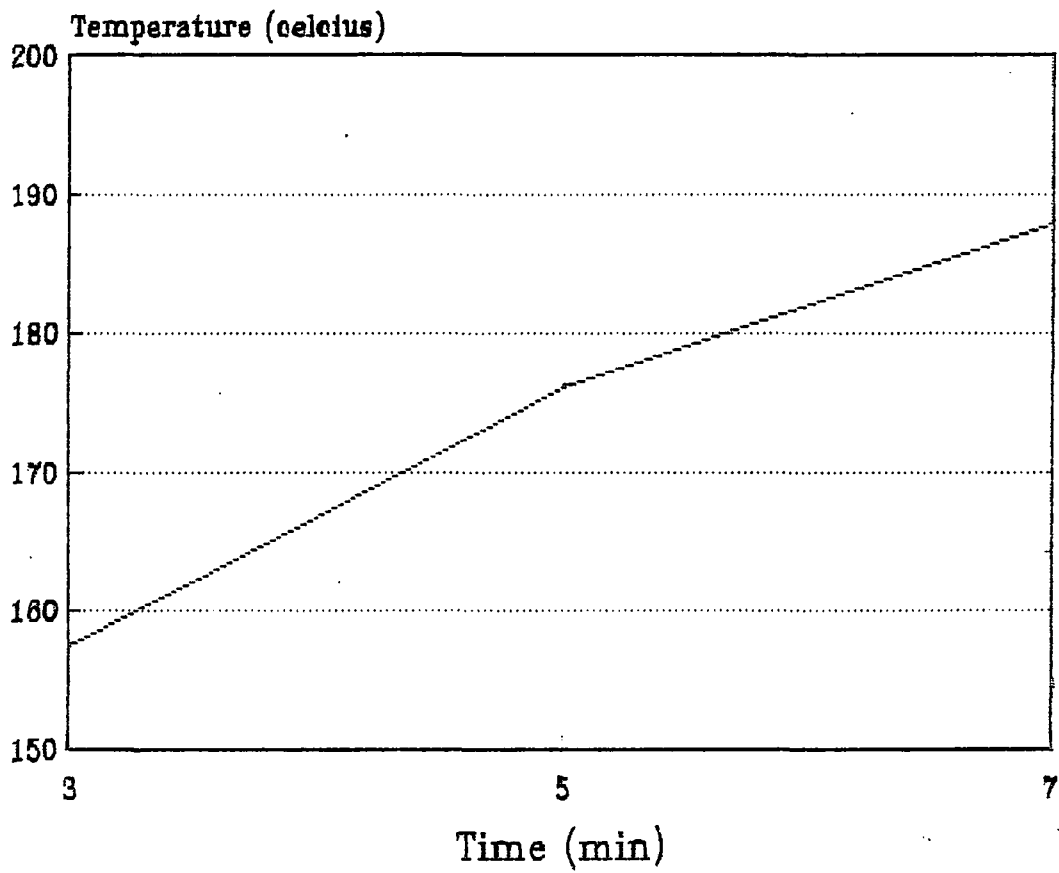
T1007

T0000

T0007

ตารางผนวกที่ 20 ตารางข้อมูลอุณหภูมิของสสารขณะที่ถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ครั้งที่	เวลา ( นาที )	อุณหภูมิ ( ° C )
1	3	155
2	3	160
1	5	177
2	5	175
1	7	185
2	7	191



รูปที่ 26 กราฟแสดงอุณหภูมิของสสารขณะที่ถูกให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

## ประวัติผู้เขียน

นางสาววันทนีย์ นิมิตชูชัย เกิดวันที่ 29 กุมภาพันธ์ 2515 กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีมหาพฤฒาราม กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2533

นางสาววิภารัตน์ ไชคยานุวัตน์ศิริ เกิดวันที่ 12 เมษายน 2515 จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบางกะปิ กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2533

