





ปัญหาพิเศษ



T096582

เรื่อง

ความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซิเตรดด้วยไมโครเวฟ

(Feasibility of Modified Starch Citrate by Microwave Technique)

โดย

นางสาวพิชญ์ภัทร์	โมกนิษชาติ	รหัส	30-0314
นางสาวพิชญ์	สุจิตพงษ์	รหัส	30-0315
นางสาวสิริวัณทร	ปิ่นเวหา	รหัส	30-0324

แก้ไข

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปัญหาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.พ.

พ.ศ. 2533

พ523๑

2533

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน

96582

รับเดือนปี

3 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตโพลิฟอสเฟตสตาร์ชซีเตรทโดยใช้ไมโครเวฟนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตโพลิฟอสเฟตสตาร์ชซีเตรทได้โดยลดระยะเวลาและขั้นตอนในการผลิต

กรรมวิธีการผลิตสตาร์ชซีเตรทจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว ทำโดยผสมแป้งวัตถุดิบกับสารละลายกรดซิตริก pH 4.5 ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 5 และ 10 % (db) ปรับความชื้น (Condition) ที่ 50°C 8 ชั่วโมง (ความชื้น 17-20 %) นำมาบด (ขนาดประมาณ 0.315 มม.) แล้วนำไปให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟที่ 2450 MHz. เวลาที่ใช้เป็น 3, 5 และ 7 นาที สำหรับแป้งมันสำปะหลัง และ 1, 3 และ 5 นาที สำหรับแป้งข้าวเหนียว

สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่ได้ มีปริมาณความชื้น (Water Content, WC) 2-7 % และ 3-14 % ปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโพลิฟอสเฟตสตาร์ช (Bound Citric Acid, BC) เป็น 3-8.7 % และ 4-8 % ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shear Stability, SB) เป็น 36-48 % และ 22-34 % ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา (Reaction Efficiency, RE) เป็น 59-87 % และ 65-91 % ตามลำดับ

## คำนิชม

ปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์

ดร. วุฒิชัย นาครักษา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขจนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้



พิธีวันเฝ้าพระมกุฎราชกุมาร  
พิธีขึ้นเสวยพระสุพรรณบัฏ  
พิธีรับท้าวพระยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญรูป	(3)
สารบัญตารางผนวก	(5)
สารบัญรูปผนวก	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการ	19
ผลการทดลอง	27
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การบด ตีาสตาร์ชเด็กซ์ตรินในรูปของกาว	2
2	การส่งออกแป้งธรรมชาติในรูปของแป้งมันสำปะหลังและ โมดิไฟด์สตาร์ชในรูปของเด็กซ์ตรินและโมดิไฟด์สตาร์ชอื่น ๆ	3
3	ขบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้ไมโครเวฟ	15
4	คุณสมบัติและสูตรโครงสร้างของ anhydrous และ mono - hydrate ของกรดซิตริก	16
5	ปริมาณกรดซิตริกน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดพิษ (LD <sub>50</sub> ) และวิธีการ ได้รับสารประกอบกรดซิตริก	18
6	องค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบ	19
7	ปริมาณ Bound Citric Acid (%) ของสตาร์ชไซเตรทที่ผลิตจาก แป้งมันสำปะหลัง (5 % กรดซิตริก, เวลาให้ความร้อน 7 นาที)	23
8	ความคงทนต่อแสงแดด (SB, %) ของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ เป็นวัตถุดิบ	25
9	คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชไซเตรทที่ผลิตจากแป้ง - มันสำปะหลัง	27
10	คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชไซเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	28
11	ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา	29
12	คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชไซเตรทและประสิทธิภาพใน - การเข้าทำปฏิกิริยา	38
13	ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (r) และ r <sup>2</sup>	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แผนผังแสดงการปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโคทิวีทีทางเคมีและฟิสิกส์	7
2	แผนผังกระบวนการผลิตสตาร์ชซีเตรท	26
3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water content กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	30
4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % bound citric acid กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	31
5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shear stability กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	32
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water content กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	33
7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % bound citric acid กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	34
8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shear stability กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่		หน้า
9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % reaction efficiency กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทกึ่งผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง	36
10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % reaction efficiency กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทกึ่งผลิตจากแป้งข้าวเหนียว	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการจัด การทดลองแบบแฟคทอเรียล	48
2	% BC ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดย ใช้เวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ	49
3	% BC ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดย ใช้เวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับจาก 3 น้ำ และ ค่าเฉลี่ย	50
4	ตาราง ANOVA ของ % BC ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจาก แป้งมันสำปะหลังโดยใช้เวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ	51
5	ค่า $x$ (independent variable) และ $y$ (depen - dent variable) ในการคำนวณหาค่า $r$ และ $r^2$ ของ แต่ละคู่ความสัมพันธ์	55

สารบัญรูปผนวก

รูปผนวกที่

หน้า

1 สหสัมพันธ์แบบต่าง ๆ

54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนำ

โมดิฟายด์สตาร์ช (modified starch) เป็นสตาร์ชหรือแป้งดัดแปลงที่มีคุณสมบัติในการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร และอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมการทำกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ โมดิฟายด์สตาร์ชส่วนใหญ่ที่ใช้ภายในประเทศได้จากการนำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย เยอรมัน ฝรั่งเศส ฮังการี ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ และไต้หวัน (กรมศุลกากร, 2530)

สตาร์ชที่ผลิตในประเทศไทยเกือบทั้งหมด อยู่ในรูปของสตาร์ชธรรมชาติ (native starch) การผลิตเป็นโมดิฟายด์สตาร์ชยังมีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบการนำเข้าและการส่งออก จะพบว่าการส่งออกสตาร์ชธรรมชาติมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการส่งออกโมดิฟายด์สตาร์ชในปี พ.ศ. 2531 ส่วนการนำเข้าโมดิฟายด์สตาร์ช จะนำเข้าในรูปของกาว ดังจะเห็นจากตารางที่ 1 และ 2

การผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชในทางการค้า เพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธีขึ้นกับชนิดของโมดิฟายด์สตาร์ช ขบวนการผลิตส่วนใหญ่ใช้เวลาค่อนข้างนาน อาจเป็นวันหรือสัปดาห์ และมีกรรมวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อน การผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชโดยใช้ไมโครเวฟ อาจเป็นอีกขบวนการหนึ่งที่สามารถใช้ผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชได้โดยลดระยะเวลาและขั้นตอนในการผลิต ทั้งนี้เพราะการผลิตอยู่ในรูปของ dry process และเนื่องจากการศึกษาค้นคว้าในด้านนี้ ยังไม่มีผลสรุปเป็นที่แน่นอนที่จะสนับสนุนความสำเร็จในการผลิตเป็นโมดิฟายด์สตาร์ช ดังนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องประกอบกับการค้นคว้าและเก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถให้ผลสรุปที่แน่นอนซึ่งอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชในประเทศไทยต่อไป

สำหรับประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลองผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชโดยใช้ไมโครเวฟคือสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปสนับสนุนความเป็นไปได้ในการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชโดยใช้ไมโครเวฟ และสามารถนำวิธีกาวผลิตดังกล่าวมาใช้ภายในประเทศ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชในประเทศไทยต่อไป

ตารางที่ 1 การนำเข้าสตาาร์ชเด็กซ์ตรินในรูปของกาว (dextrins starches soluble or roasted starch glues)

ปี พ.ศ.	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2523	348,260	6,563,792
2524	600,500	8,792,370
2525	561,349	8,040,912
2526	180,192	3,368,995
2527	252,421	5,457,873
2528	125,479	3,609,753
2529	209,332	6,517,649
2530	130,923	6,314,090
2531	111,908 <sup>1</sup>	6,934,294
	842,060 <sup>2</sup>	29,403,676
2532 <sup>3</sup>	446,000 <sup>1</sup>	15,340,752
	396,942 <sup>2</sup>	13,113,481

- หมายเหตุ
1. การนำเข้ากาวในรูปของสตาาร์ชเด็กซ์ตริน หรือโมดิฟายด์สตาาร์ชอื่น ๆ (glues based on starches or on dextrins or other modified starches)
  2. การนำเข้าเด็กซ์ตริน และโมดิฟายด์สตาาร์ชอื่น ๆ
- \* นำเข้าช่วงเดือนมกราคม - เมษายน

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง

พ.ศ. 2523-2530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การส่งออกแป้งธรรมชาติ (native starch) ในรูปของแป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch) และโมดิฟายด์สตาร์ชในรูปของเด็กซ์ตริน และ โมดิฟายด์สตาร์ชอื่น ๆ

ปี พ.ศ.	ปริมาณ (กิโลกรัม)	มูลค่า (บาท)
2523	2,681,847	15,499,516
2524	595,092	4,768,930
2525	9,706,581	51,023,755
2526	6,892,126	53,405,727
2527	10,450,193	70,406,101
2528	56,574,466	277,434,432
2529	56,339,445	376,998,616
2530	92,045,628	662,822,996
2531	182,102,509	958,530,016
	56,020,758 <sup>1</sup>	489,401,469

หมายเหตุ 1. ปริมาณการส่งออกเด็กซ์ตรินและโมดิฟายด์สตาร์ชอื่น ๆ

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง  
พ.ศ. 2523 - 2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซีเตรท (Starch Citrate) โดยใช้ -  
ไมโครเวฟ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physiochemical properties) ของสตาร์ช  
ซีเตรท ได้แก่
  - ปริมาณความชื้น (Water Content)
  - ปริมาณกรดซิตริกที่เกาะอยู่กับโมเลกุลของสตาร์ช (Bound Citric Acid)
  - ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา (Reaction Efficiency)
  - ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shear Stability)

## การตรวจเอกสาร

### สตาร์ช (Starch)

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างขึ้น และสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะใน เมล็ดและผล เช่น กล้วยไม้ต่าง ๆ บางชนิดสะสมไว้ตามรากหรือหัว เช่น เผือก มัน เพื่อใช้เป็น แหล่งสะสมอาหารให้ต้นอ่อน โดยทั่วไปพืชมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 30-70 %

สตาร์ชที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) ภายใน เม็ดแป้งประกอบด้วยสายโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 จัดเรียงตัว เป็นวงแหวนซ้อนกันหลายชั้น เรียกว่า concentric shell โมเลกุลของอะไมโลสมีลักษณะ เป็นสายตรง (linear chain) ขดตัวเป็นวง (helix) ส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินมี ลักษณะเป็นกิ่งก้านสาขา (branch chain) ยึดติดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งบริเวณที่เกิด เรียกว่า micelle เป็นสาเหตุให้เม็ดแป้งเกิดลักษณะ birefringence การเกิด micelle ขึ้นนั้นเนื่องมาจากการรวมตัวของโมเลกุลของอะไมโลสอย่างหลวม ๆ ทำให้น้ำ สามารถซึมเข้าไปอยู่ระหว่าง micelle ได้

จากลักษณะการจัดเรียงตัวดังกล่าว เมื่อน้ำสามารถเข้าไปภายในโมเลกุลแป้งจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว แต่จะพองตัวอย่างมีขีดจำกัด การพองตัวของเม็ดแป้งที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า true swelling สามารถนำไปทำให้แห้งกลับคืนสภาพเดิมได้ (set back) แต่ถ้าให้น้ำแป้งนั้นมาให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่า critical temperature ซึ่งมีค่าตั้ง แต่ 50° C ขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง จะทำให้ความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่ จับกันระหว่างโมเลกุลลดลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำไว้ได้มากขึ้น และเม็ดแป้งพองตัวมากขึ้น ในขั้น นี้รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งจะเปลี่ยนแปลง soluble starch จะละลายออกมา ปฏิกริยาใน ขั้นนี้ไม่มีการผันกลับ ความหนืดและความใสของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้น และเม็ดแป้งจะสูญเสีย birefringence

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อนต่อไป การพองตัวของเม็ดแป้งจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

soluble starch จะซึมไหลออกมามากขึ้น จนในที่สุด เม็ดแป้งจะแตกและจับกันแน่นจนแยกไม่ออก เกิดเป็นของเหลวข้นเหนียว เรียกว่า เพส (paste or gel) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า gelatinization และอุณหภูมิที่เกิด gelatinization เรียกว่า gelatinization temperature ถ้าตั้งเพสทิ้งไว้ให้เย็น อะไมโลสที่แขวนลอยอยู่ขณะร้อน จะพยายามจัดตัวให้อยู่ในรูปเดิมอีกครั้ง (recrystallization) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เพสมีความเหนียวเพิ่มขึ้น เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า การเกิด Retrogradation

### โมดิฟายด์สตาร์ช (modified starch)

โมดิฟายด์สตาร์ช หรือแป้งที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติ เป็นแป้งที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางขึ้น โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ไปทำให้โมเลกุลสตาร์ชมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม ทั้งนี้รวมถึงการทำลายโมเลกุลแป้ง การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ภายในโมเลกุล หรือการทำให้โมเลกุลแป้งมีการจัดเรียงตัวใหม่ วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติแป้ง แบ่งเป็น 2 วิธี (รูปที่ 1) คือ

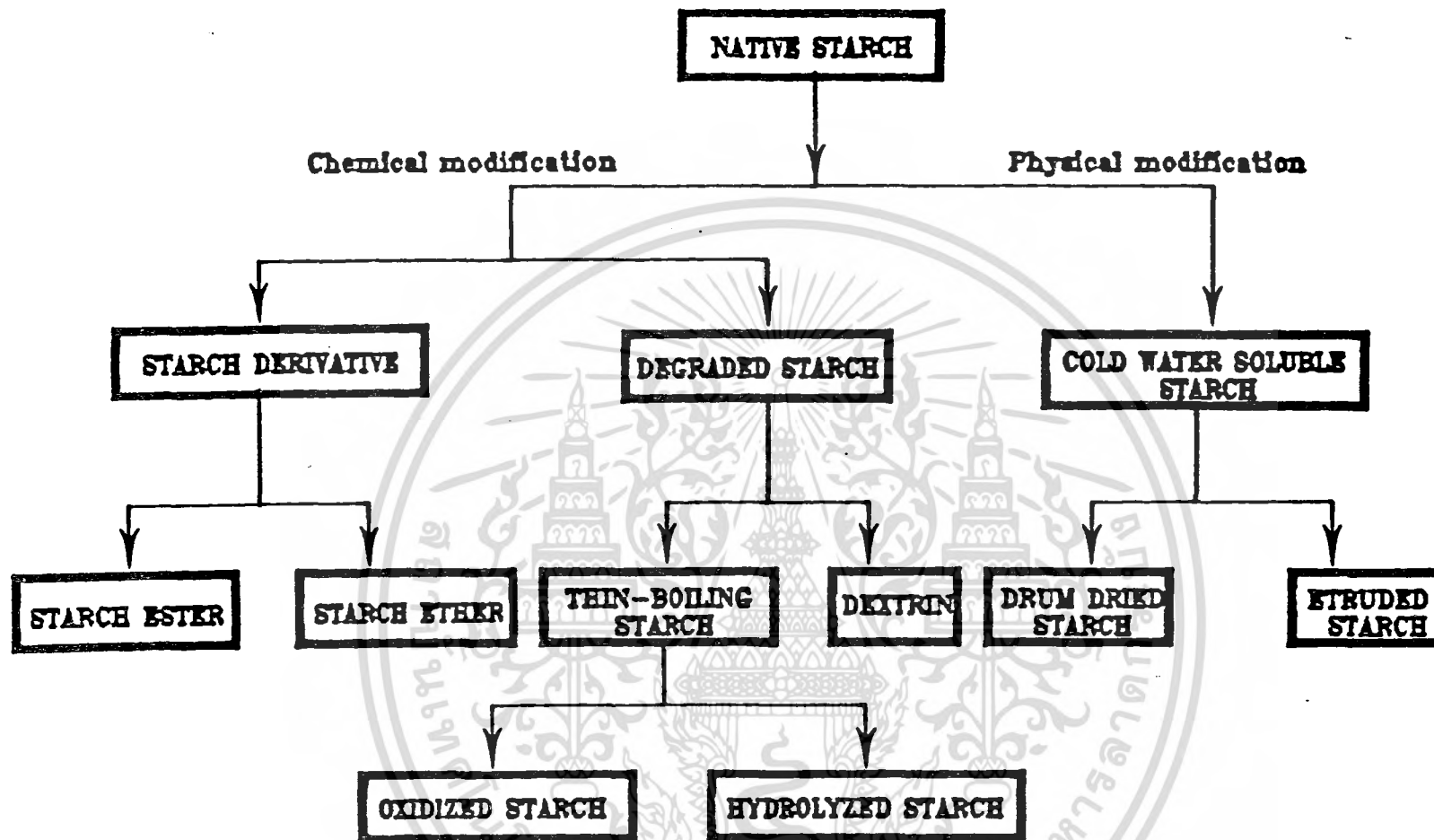
1. การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีการทางเคมี (chemical modification)
2. การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีการทางฟิสิกส์ (physical modification)

#### การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีการทางเคมี

เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยการใส่สารเคมีทำปฏิกิริยากับโมเลกุลสตาร์ชภายใต้สภาวะที่ควบคุม วิธีการใส่สารเคมีสามารถเข้าไปย่อยโมเลกุลแป้งให้มีขนาดเล็กลง (degradation) และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสตาร์ช (derivatization) เป็นผลให้แป้งมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป ตามชนิดของสารเคมีที่ทำปฏิกิริยา และชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีนี้ทำให้สามารถแบ่งแป้งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. starch derivative
2. degraded starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แผนผังแสดงการปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีทางเคมีและฟิสิกส์  
 ที่มา : Narkrugs, 1990

### Starch derivative

Starch derivative ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของกลูโคสในโมเลกุลสตาร์ช เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสในโมเลกุลสตาร์ชส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 secondary และ 1 primary hydroxyl group ดังนั้นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ คือ esterification, etherification, การเกิด acetals, carbonates และ graft

คุณสมบัติของ starch derivative จะขึ้นกับธรรมชาติของอนุพันธ์ที่เข้ามาทำปฏิกิริยาและระดับการแทนที่ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารจะใช้ starch derivative ที่มีระดับการแทนที่ต่ำ (DS) โดยมีค่าในช่วง 0.01-0.20 (Wurzburg, 1986) การแทนที่ในระดับต่ำ โดยทั่วไปทำให้สตาร์ชมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับ amylose และป้องกันการเกิด retrogradation สำหรับอนุพันธ์ที่เข้ามาแทนที่ ถ้าเป็น hydrophilic group เช่น carboxyls จะทำให้คุณสมบัติในการเกิดเจลลดลงและความหนืดเพิ่มขึ้น hydrophobic group เช่น acetyl group ทำให้มีคุณสมบัติเป็น emulsion stabilizing agent

นอกจากปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลแล้ว สารเคมีบางประเภทสามารถทำปฏิกิริยากับ hydroxyl group ของโมเลกุลสตาร์ช 2 โมเลกุลที่ต่างกัน เกิดพันธะขึ้นระหว่างสารเคมีกับโมเลกุลสตาร์ช เรียกว่า cross-linked starch พันธะที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงจึงช่วยให้โมเลกุลสตาร์ชมีความคงตัวมากขึ้น สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเรียกว่า cross-linking reagents ได้แก่ mixed anhydride ของ acetic acid, adipic acid, metaphosphates และ phosphate oxychloride

cross-linked starch มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมากขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น ทนต่อแรงเฉือน (shear) อุณหภูมิสูง และสภาวะความเป็นกรดต่างมากขึ้น มีประโยชน์ในการใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร และทำให้สตาร์ชมีความคงตัวดีที่อุณหภูมิของ retort

### Degraded starch

โมดิฟายด์สตาร์ชประเภทนี้ ได้จากการใช้สารเคมีย่อยสลายโมเลกุลสตาร์ชที่พันธะ

กลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ทำให้โมเลกุลสตาร์ชแตกตัว หรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็นอัลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) หรือคาร์บอกซิล (carboxyls) หรือเกิดการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลสตาร์ชทำให้แป้งมีความหนืดลดลง

degraded starch แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

### 1. Thin-boiling starch

เป็นสตาร์ชที่ถูกย่อยสลายให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง โดยใช้กรด เอนไซม์ หรือต่าง แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

#### 1.1. Oxidized starch

เป็นโมดิฟายด์สตาร์ชที่เตรียมได้จากการย่อยสลายสารแขวนลอย (suspensions) ของแป้งด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะออกซิไดซ์หมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนตำแหน่งต่าง ๆ ได้เป็นอัลดีไฮด์ คีโตน หรือหมู่คาร์บอกซิล ขณะเดียวกันก็จะย่อยโมเลกุลแป้งให้เล็กลงด้วย oxidized starch ที่ได้ จะมีความคงตัวดี ไม่เกิดเจล และละลายในน้ำเย็นได้เล็กน้อย

#### 1.2. Hydrolysed starch

เป็นโมดิฟายด์สตาร์ชที่เตรียมได้จากการย่อยสลายสารละลายแป้ง เข้มข้น ด้วยกรดที่อุณหภูมิ 40-60 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้ง กรดที่ใช้โดยทั่วไปเป็นกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายที่  $\alpha$ -1,4 และ  $\alpha$ -1,6 glucosidic bond ทำให้โมเลกุลสตาร์ชมีขนาดเล็กลง เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับคุณสมบัติของสตาร์ชที่จะนำไปใช้ และหยุดปฏิกิริยากรดโดยการทำให้เป็นกลาง หลังจากนั้นนำมากรอง แล้วทำให้แห้ง

### 2. Dextrin

dextrin ได้จากการปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยการใช้ความร้อน กรด หรือบัฟเฟอร์ และความชื้นของสตาร์ชในสภาพของ dry conversions วิธีนี้อาจเรียกว่า Thermal degradation หรือ dextrinization เตรียมได้โดยการพ่นแป้งผงที่มีความชื้น 5-20 % ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง หรือบัฟเฟอร์ เช่น แอมโมเนียมคาร์บอเนต หรือไตรโซเดียมฟอสเฟต ขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนควบคู่ไปด้วย อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 100-

200° C วิธีการนี้ทำให้โมเลกุลสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงโดยกรดและความร้อนจะย่อยสลายพันธะ  
ไกลโคซิดิกระหว่างหน่วยของกลูโคส ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง (hydrolysis) ขณะ  
เดียวกันก็มีการเกิดพันธะขึ้นที่ตำแหน่งใหม่ในโมเลกุลสตาร์ช (transglucosidation) ทำให้  
ได้โมเลกุลที่มี 'branch chain' เพิ่มขึ้น และทำให้เกิดเป็น polymer ขึ้นมาใหม่ได้อีก  
(repolymerization) โมดิฟายด์สตาร์ชที่ได้มี 3 ประเภท คือ white dextrin,  
yellow dextrin และ british gums มีคุณสมบัติในการละลายในน้ำเย็นและมีความคงตัวเพิ่ม  
ขึ้น

### การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีกาวทางฟิสิกส์

การปรับปรุงคุณสมบัติแป้งโดยวิธีนี้จะทำให้แป้งผ่านการสุกมาก่อน (pre-cooked)  
แล้วนำมาทำให้แห้งด้วย dryer เช่น drum dryer, spray dryer และ extruder  
เป็นต้น แป้งที่ได้จากวิธีนี้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูง และสามารถละลายในน้ำเย็นได้ นอกจากนี้  
ยังมีการเติมวัตถุเจือปนอาหาร เพื่อป้องกันการจับตัวของสตาร์ชเป็นก้อน เช่น การใช้ tri -  
calcium phosphate และ triacetin เป็นต้น

### ไมโครเวฟ (Microwave)

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความถี่ในช่วง  $10^8 - 10^{11} \text{ cm}^{-1}$   
สามารถเจาะทะลุผ่านสสารต่าง ๆ ยกเว้นโลหะได้ ให้ความร้อนโดยการเกิดการเสียดสี  
ระหว่างวัตถุ (hysteresis) คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีค่าระหว่าง 890 MHz ถึง  
2450 MHz เรียกว่า แถบความถี่อุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และการแพทย์ (industrial  
science and medical bands or ISM bands) สำหรับความถี่ไมโครเวฟมาตรฐานที่ใช้อยู่  
ในปัจจุบันคือ 2450 และ 915 MHz

คลื่นไมโครเวฟสามารถแสดงคุณลักษณะที่สำคัญของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อขบวนการแปรรูปอาหาร การออกแบบเตาไมโครเวฟตลอดจนการเลือกวัสดุ และ โครงสร้างของภาชนะบรรจุ คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นไมโครเวฟคือ

1. สามารถทะลุผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmittance)

คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุบางชนิดได้โดยไม่มีการดูดกลับเข้าไป คุณสมบัติข้อนี้ทำให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านภาชนะใส่อาหาร ทำให้ภาชนะที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟไม่ร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับเตาอบธรรมดา แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นกับภาชนะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากอาหารสู่ภาชนะ

2. สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection)

คลื่นไมโครเวฟมักสะท้อนกลับเมื่อพุ่งไปกระทบวัตถุประเภทโลหะ ซึ่งเป็นสื่อไฟฟ้าที่ดี คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบของเตาอบไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของเตา ทำให้สามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารจากทุกด้าน ทั้งด้านบนด้านล่าง และข้าง-ขวา

3. สามารถดูดกลืนเข้าไปในอาหารได้ (Adsorption)

คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนเข้าไปในอาหารได้ คุณสมบัติข้อนี้ทำให้อาหารสุกได้ อาหารที่มีน้ำอยู่ในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง เป็นส่วนที่ไมโครเวฟถูกดูดกลืนเข้าไปได้ง่ายที่สุด

หลักการให้พลังงานความร้อนและการทำให้อาหารสุกของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง มีแหล่งกำเนิดจากหลอดแมกนีตรอน ซึ่งเป็นหลอดสุญญากาศที่อยู่ภายในตู้อบ โดยแมกนีตรอนจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ ให้ออกมาอยู่ในรูปของคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลัง (พลังงานต่อหน่วยเวลา) ในช่วง 600-700 วัตต์ และมีคลื่นนำ (wave guide) จากท่อนำคลื่น (wave guide couple) ทำหน้าที่ควบคุมทิศทาง การกระจายของคลื่นไมโครเวฟ

ในด้านของการให้พลังงานความร้อน โดยหลักการแล้ว คลื่นไมโครเวฟจะก่อให้เกิดสสาร เกิดความร้อนขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสสารดูดกลืน (absorbed) คลื่น สสารพวกโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) เช่น น้ำ หรือสสารที่มีประจุอื่น ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา เมื่อโมเลกุลของสสารเหล่านี้วางตัวในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ จะพยายามเรียงตัวตามแนวสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวรั้วบวกและรั้วลบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล มีการผลักรันระหว่างขั้วที่เหมือนกันทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลเป็นผลทำให้เกิดความร้อนขึ้น

สำหรับอาหารจะมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมาก โดสธรรมชาติแล้วโมเลกุลเหล่านี้จึงเรียงตัวไม่เป็นระเบียบในเนื้ออาหาร เมื่อไมโครเวฟผ่านเข้าสู่อาหารโมเลกุลของน้ำและสารที่มีประจุอื่น ๆ จะถูกคลื่นไมโครเวฟเอาไว้มัดและจัดเรียงตัวในแนวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากไมโครเวฟมีความถี่สูงมากถึง 2450 MHz การเปลี่ยนแปลงทิศทางกลับไปกลับมามีความถี่ถึง 2450 ล้านครั้งต่อวินาที ทำให้โมเลกุลของอาหารต้องจัดตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งก่อให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างเสียดสีกัน การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของโมเลกุลเหล่านี้เองเป็นผลให้เกิดความร้อนในอาหารและทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว

#### การประยุกต์ไมโครเวฟมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจุบันมีการนำเอาไมโครเวฟมาใช้ในการแปรรูปอาหารต่าง ๆ มากขึ้น ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือน (Copson, 1975) การนำเอาไมโครเวฟมาใช้ในขอบข่ายต่าง ๆ เช่น การพาสเจอร์ไรซ์, การทำแห้ง, การอบ นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาเพื่อนำเอาไมโครเวฟมาใช้ในขอบข่ายต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีก เช่น การลวก (blanching), การทำแห้งโดยการแช่แข็ง (freeze drying) ตารางที่ 3 แสดงการนำไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารต่าง ๆ ทั้งที่มีใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน และที่อยู่ระหว่างการศึกษาระดับโรงงานต้นแบบ (pilot plant)

#### 1. การอบแห้ง (drying)

การอบแห้งได้มีการใช้ไมโครเวฟคลื่นความถี่ 13 MHz เพื่อลดปริมาณความชื้นของผักกระหล่ำปลีและมันฝรั่งจาก 9 และ 15 % ให้เหลือ 5 และ 7 % ตามลำดับ ทั้งนี้การอบแห้งแบบใช้ลมร้อนจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงกว่า ใช้เวลานานกว่า และทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี แต่ถ้าใช้ไมโครเวฟแล้วพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเหลือเพียง 1 ใน 3 ของเวลาที่อบแห้งด้วยลมร้อนธรรมดา และหากใช้ระบบสุญญากาศร่วมด้วยจะยิ่งทำให้เวลาที่ใช้ลดลงอีก 50 %

นอกจากนั้น การทำแห้ง pasta เป็นขบวนการผลิตที่ประสบความสำเร็จ ในการนำไมโครเวฟมาใช้ โดยจะใช้ที่ความถี่ 915 MHz ช่วยลดความชื้นหลังจากผ่านลมร้อน มาแล้วอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงลดอุณหภูมิของ pasta ลง ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาลงถึง 6 เท่า pasta ที่ได้มีคุณภาพดี สีสวย และมีจำนวนจุลินทรีย์เหลืออยู่น้อยกว่าวิธีอื่น นอกจากนี้สามารถ ลดค่าใช้จ่ายได้ 20-25 % ของวิธีธรรมดา

## 2. การทำแห้งโดยการแช่แข็ง (freeze drying)

การทำแห้งโดยระบบการแช่แข็งนั้น ต้องการปริมาณความร้อนที่พอเหมาะที่จะทำ ให้ผลิตภัณฑ์เกิดการระเหิดได้โดยไม่เกิดการหลอมเหลวของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นน้ำ เพราะอาจทำให้น้ำ ดูดพลังงานจากไมโครเวฟ และเกิดความร้อนขึ้น เป็นผลให้เนื้อเยื่อของอาหารถูกเผาไหม้ และถูกทำลายได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมีคุณภาพต่างไปจากที่ต้องการ สำหรับการทำงานโดยใช้ไมโครเวฟนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการแช่แข็งล่วงหน้ามาก่อน เมื่อนำเข้าสู่ห้องอบแห้งจะถูกลดอุณหภูมิ ลงมาจนเหลือประมาณ  $-25^{\circ}$  ถึง  $-40^{\circ}$  C เมื่อลดความชื้นในห้องอบแห้ง จนถึงความชื้น ที่ต้องการ จึงเริ่มใช้ไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยแกนกลางของผลิตภัณฑ์ที่เป็น น้ำแข็ง ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของส่วนที่เป็นน้ำแข็งและส่วนที่แห้งภายนอก เกิด การถ่ายเทความร้อนได้ดี เมื่อน้ำแข็งระเหิดไปจนหมดแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมีความชื้นต่ำ

การทำแห้งโดยการแช่แข็ง โดยใช้ไมโครเวฟพบว่า สามารถลดเวลาจาก 12 ชั่วโมงโดยวิธีการระเหิดธรรมดาเหลือเพียงประมาณ 4.2 ชั่วโมง ทำให้เพิ่มรอบการผลิต ได้จาก 2 รอบต่อวันเป็น 5 รอบต่อวัน และลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 25 %

## 3. การเพิ่มอุณหภูมิผลิตภัณฑ์แช่แข็ง (tempering)

ไมโครเวฟถูกนำมาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิมากกว่าการแปรรูปอาหารอื่น ๆ การเพิ่มอุณหภูมิจะไม่ทำงานผลิตภัณฑ์แช่แข็งเกิดการละลาย (thawing) โดยสมบูรณ์เนื่องจากไม่จำเป็น แต่สามารถทำได้ เนื่องจากจะทำให้การขนย้ายง่ายขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิจะเพิ่มจนผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิ ประมาณ  $-8^{\circ}$  ถึง  $-2^{\circ}$  C แล้วแต่ชนิดของผลิตภัณฑ์

การละลายผลิตภัณฑ์แช่แข็ง จะต้องทำที่อุณหภูมิควบคุมเพื่อควบคุมการเจริญของ แบคทีเรียที่อาจเจริญขึ้นได้ ปกติจะทำที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}$  C ซึ่งจะใช้เวลาหลายวัน สำหรับการ

ใช้ไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที ก็สามารถละลายน้ำแข็งออกได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์จะมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่ำกันตลอดทั้งผลิตภัณฑ์ และสามารถทำให้ผิวของอาหารสุกแต่สภาพภายในยังคงสภาพเป็นอาหารแช่แข็งบางส่วนได้

#### 4. การ Pre-cooking ส่วนต่าง ๆ ของสัตว์ปีก

การ pre-cooking สัตว์ปีกแต่เดิมใช้ไอน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่เสียเวลาและสิ้นเปลืองพลังงาน ถ้าใช้ไมโครเวฟจะใช้เวลารวดเร็วกว่า แต่ก็ให้ yield และคุณภาพดีกว่าเล็กน้อยเท่านั้น และถ้าใช้ทั้งระบบไมโครเวฟและการใช้น้ำรวมกันจะให้ผลดีขึ้นมากกว่าการใช้ระบบใดระบบหนึ่งเพียงอย่างเดียว สำหรับระบบการทำงานนั้น ไข่ทั้งตัวจะถูกตัดเป็นชิ้น ๆ แบ่งเป็น ออก. น่อง, ขา และปีก แล้วจึงแยกเข้าสู่เครื่อง microwave steam cooker 2 เครื่อง เนื่องจากน้ำหนักของส่วนต่าง ๆ นั้นต่างกัน ส่วนที่หนักต้องการพลังงานและเวลามากกว่า กำลังของเครื่องไมโครเวฟใช้ในระดับ 80 และ 50 กิโลวัตต์ เวลาที่ใช้ประมาณ 10-12 นาที เครื่องไมโครเวฟนี้จะมีอายุการใช้งานได้หลายพันชั่วโมง

#### 5. การใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมมันฝรั่งทอด

การใช้ไมโครเวฟในอุตสาหกรรมมันฝรั่งทอดให้มันขึ้นเนื่องมาจากการเกิดสีน้ำตาล ในมันฝรั่งทอดเมื่อปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในมันฝรั่งมีค่ามากกว่า 0.2 % การทอดมันฝรั่งโดยทั่วไปจะทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิ 182-193 °C นาน 2-3 นาที ขณะที่ทอดจะเกิดสีในมันฝรั่งเมื่อความชื้นประมาณ 6-8 % การใช้ไมโครเวฟจะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลนี้ได้ โดยหลังจากทอดมันฝรั่งในน้ำมันจนมีปริมาณความชื้น 7 หรือ 8 % จะใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2450 MHz. เพื่อลดความชื้นให้เหลือ 2 % หรือ 1.5 % ตามลำดับ วิธีการนี้ใช้ได้ แม้ว่ามันฝรั่งจะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงถึง 1 % ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในมันฝรั่งทอด เมื่อทอดด้วยวิธีเก่ามีค่าประมาณ 40 % ในขณะที่ใช้ไมโครเวฟจะมีน้ำมันเหลือ 35 % และพบว่าการทอดด้วยวิธีเก่าจะมีกลิ่นเหม็นมากกว่าการใช้ไมโครเวฟประมาณ 3 วัน

ตารางที่ 3 ขบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้ไมโครเวฟ

PROCESS	PRODUCTS
Tempering	meat, fish, poultry, berries
Cooking	chicken, bacon, meat, patties, fish, potatoes
Rendering	lard, tallow
Blanching	corn, potatoes, fruit
Pasteurization	bread
Sterilization	pouch pack foods
Drying	pasta, onions
Baking	bread, doughnuts
Roasting	peanuts, coffee, cocoa
Freeze-drying	meat, vegetable, fruit
Vacuum drying	fruit, juices, grains

ที่มา : Copson, 1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริกมีชื่อทางเคมีว่า  $\beta$ -hydroxy tricarboxylic acid หรือ 2-hydroxyl-1,2,3-propanetricarboxylic acid มีลักษณะเป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น อยู่ในรูปของ anhydrous และ monohydrate ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 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}  CH_2-COOH \\    \\  OH-C-COOH \\    \\  CH_2-COOH  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  CH_2-COOH \\    \\  OH-C-COOH \cdot H_2O \\    \\  CH_2-COOH  \end{array}  $
Molecular weight	192.13	210.15
Melting point ( $^{\circ}C$ )	150	100

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gruber, 1948

กรดซิตริก 1 กรัมสามารถละลายในน้ำ 0.5 มิลลิลิตร หรือในเอทานอล 2 มิลลิลิตร มีรสเปรี้ยว สออสลางได้ง่าย มีความเป็นพิษต่ำ และกำจัดได้ง่าย จึงมีการใช้กรดซิตริก เกือบของกรดและเอสเทอร์ของกรดนี้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในรูปของ antioxidant, sequestrant, acidulant งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ของกรดซิตริก

ในอุตสาหกรรมอาหารและการผลิตยา พบว่ามีการใช้กรดซิตริกอย่างกว้างขวาง เพราะเป็นสารที่ละลายได้ง่าย มีรสเปรี้ยว มีความเป็นพิษต่ำ สอดคล้องง่าย ราคาถูก รวมทั้งหาได้ง่าย และสามารถผลิตได้เองในประเทศ นอกจากนี้ กรดซิตริกยังใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอางค์ ผสมน้ำยาล้างขัดโลหะ และเป็นส่วนผสมในสารเคมีหลายชนิด

ประโยชน์ของการใช้กรดซิตริก เกลือ และเอสเทอร์ของกรด

1. ในอุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด ผลไม้เชื่อม เยลลี่ แยม ผัก-ผลไม้ดอง น้ำหวาน น้ำเชื่อม น้ำผลไม้และไวน์ ซึ่งกรดซิตริกมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มกลิ่น-รส ลดความฝาด ควบคุมความเป็นกรด และป้องกันการขึ้นของไวน์ได้
2. ในอุตสาหกรรมทอผ้าใช้เป็นส่วนผสมในสบางชนิดเพื่อควบคุมความเป็นกรด ผสมยากที่มีฟองฟูเมื่อผสมน้ำดื่ม การใช้ผสมในสบานี้มีการใช้ในรูปแบบของเอสเทอร์หรือเกลือของกรดซิตริก
3. ในอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอางค์ใช้เป็นส่วนผสมครีมนวดผผ น้ำยาเช็ด และโลชั่น ซึ่งนอกจากกรดซิตริกจะควบคุมระดับ pH ของผลิตภัณฑ์แล้ว ยังมีผลทำให้เพิ่มความแวววาวของน้ำยาอีกด้วย
4. ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น เป็นส่วนผสมในน้ำยาล้างขัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม น้ำหมัก สี เป็นต้น

การศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของกรดซิตริก

เนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารเกิดขึ้นในระหว่างขบวนการ Kreb's cycle ซึ่งเป็นขบวนการออกซิเดชันกรดไพรูวิกในระบบการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิต และพบทั่วไปในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ต่าง ๆ ดังนั้น การได้รับกรดซิตริกที่เจือปนกับอาหารเข้าไปนั้น จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย

จากการทดลองกับสุนัข (Krop, 1945) โดยให้สุนัขบริโภคกรดซิตริกในปริมาณ 1380 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม พบว่า สุนัขไม่มีอาการผิดปกติและไม่มีอาการของไตถูกทำลาย ส่วนการทดลองกับหนู 2 generations ให้บริโภคอาหารที่มีกรดซิตริก 1.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงหรือเผยแพร่ข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(600 mg/kg body weight per day) พบว่า ไม่มีอาการผิดปกติเกี่ยวกับโลหิต การสืบพันธุ์ และการสูญเสียแคลเซียม หรือสารประกอบอื่น ๆ ยกเว้นในระบบของฟัน พบว่าหนูมี dental attrition เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Bonting, 1956)

จากการศึกษาถึงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน (acute toxicity) ของกรด ซิตริกโดยให้กับสัตว์ทดลองโดยทางเส้นโลหิต (intravenous : IV) และฉีดเข้าทางระบบ อาหาร (intraperitoneal : IP) พบว่า ปริมาณที่ทำให้เกิดพิษได้นั้นมีปริมาณสูง และการได้รับสารประกอบกรดซิตริกเข้าสู่ร่างกายโดยทางเส้นโลหิต จะเกิดอันตรายมากกว่าการได้รับ ทางระบบอาหารดังตาราง

ตารางที่ 5 ปริมาณกรดซิตริกน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดพิษ (LD<sub>50</sub>) และวิธีการให้สารประกอบกรดซิตริก

Animal	Route	LD <sub>50</sub> (mg/kg)
Mouse	IV (rapid injection)	42
Mouse	IP	961
Rat	IP	884

ที่มา : Gruber, 1948

จากการศึกษา ปริมาณกรดซิตริกที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน (Gruber, 1948) พบว่า ระดับที่ปลอดภัยสำหรับอาหารทุกชนิด (unconditional acceptance level) เป็น 0-60 mg/kg body weight และระดับที่ปลอดภัยเฉพาะเมื่อได้รับอาหารที่มี แคลเซียมสูง (conditional acceptance level) เป็น 60-120 mg/kg body weight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### 1. วัตถุดิบ

- 1.1 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกรไทย หจก. เวียดนามจิ้น
- 1.2 แป้งข้าวเหนียว ตราโม้ บริษัท ธนากร เทรดดิ้ง จำกัด

#### ตารางที่ 6 องค์ประกอบโดยประมาณของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	% ความมัน	% ไขมัน	% เถ้า
แป้งมันสำปะหลัง	12.99	0.93	0.29
แป้งข้าวเหนียว	12.04	1.32	0.25

หมายเหตุ : วิธีการที่ใช้ในการหาองค์ประกอบโดยประมาณ

ความมัน	จาก AOAC	ข้อ 14.004
ไขมัน	จาก AOAC	ข้อ 7.004
เถ้า	จาก AOAC	ข้อ 14.006

#### 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

##### 2.1 ตู้อบไมโครเวฟ

Model : Goldstar ER-461 OD

Specification :

Power Input : Ac 220 V , 50 Hz.

Power Consumption : 900 W (Microwave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

850 W (Brail)  
1450 W (Bake/Roast & Toast)  
Output : 500 W (Microwave)  
800 W (Brail)  
1400 W (Bake/Roast & Toast)

Microwave Frequency : 2450 MHz.

Outer Dimension : 491x276x332 mm (WxHxD)

Cavity Dimension : 300x143.5x298 mm (WxHxD)

## 2.2 ตะแกรงร่อน

Model : PRUFSIES DIN 4188  
Durchmesser : 8"  
Hohe : 2"  
Rand : Edelstahl  
Gewebe : Edelstahl  
Nummer  
Maschenweite : 0.315 mm.

## 2.3 Tray dryer

Model : BWS-3  
Temp. : 30°C-250°C

## 3. การผลิตสารชี้เตรก

3.1 ชั่งน้ำหนักแป้งวัดตุ้ม 500 ก.(db)

3.2 เตรียมสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0 , 5 และ 10 % (db)

โดยละลายกรดซิตริกในน้ำกลั่น (ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ต่อปริมาณแป้ง =

1:2 (db) ) แล้วปรับ pH = 4.5 โดยใช้สารละลาย 10 N NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- 3.3 ผสมแป้งและสารละลายกรดซิตริก โดยใช้หัวตีรูปตะขอนไว้ลักษณะ  
ที่สม่ำเสมอ
- 3.4 นำแป้งที่ได้ไปปรับความชื้น (Condition) ที่ 50° C เป็นเวลา  
8 ชั่วโมง (ความชื้นประมาณ 17-20 %)
- 3.5 บดให้มีขนาด < 0.315 มม. แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ  
โดยใช้เวลาต่าง ๆ คือ 3, 5 และ 7 นาที สำหรับแป้งมันสำปะหลัง  
และ 1, 3 และ 5 นาที สำหรับแป้งข้าวเหนียว
- 3.6 ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบรรจุในภาชนะปิดสนิท

4. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์

4.1 % water content (AOAC ข้อ 14.004)

การวิเคราะห์

อบ aluminium dish พร้อมฝาที่ 130±3° C แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

ใน desiccator และชั่งน้ำหนัก แล้วชั่งตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีประมาณ 2 ก. ลงใน dish  
ดังกล่าว ปิดฝา แล้วนำไปอบในตู้อบประมาณ 130±3° C นาน 1 ชม. (โดยเริ่มจับเวลา  
ตั้งแต่อุณหภูมิของตู้อบเป็น 130° C) จากนั้นนำ dish ไปใส่ desiccator ทิ้งไว้ให้เย็นแอมอุณหภูมิ  
เท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนัก รายงานผลโดยส่วนที่เหลือ คือ total solids และน้ำหนักที่  
หายไป คือ ความชื้น

4.2 % bound citric acid

หลักการ เมื่อไตเตรทสารละลายสตาร์ช ด้วยสารละลายคอปเปอร์ -

ซัลเฟต จนถึงจุดที่ indicator (murexid) เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง กรดซิตริกจะจับกับ  
Cu (II) อีออน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัว

การเตรียมตัวอย่าง บดและคัดขนาดตัวอย่างให้มีขนาดประมาณ 0.5 mm.

นำไปสกัดด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ 96 % นาน 4 ชม. โดยใช้ Soxhlet extractor ผึ่งตัวอย่าง  
ที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ใน hood chamber เป็นเวลา 1 คืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเกษตร** ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถานันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

การวิเคราะห์ ซึ่งตัวอย่าง 0.4-0.5 ก. ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 2 มล. และสารละลายโบตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N 50 มล. คนด้วย magnetic stirrer นำไปต้มใน water bath ที่ 95°C นาน 10 นาที เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 มล. ปรับ pH ให้ได้ประมาณ 8.5 ด้วย 5 N สารละลายกรดอะซิติกแล้วเติมสารละลาย borate buffer 25 มล. ใส่ murexid indicator 0.3 ก. นำไปไตเตรทกับสารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟต 0.05 M จนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง

การคำนวณ

0.05 M.  $CuSO_4$  Solution 1 มล. จะทำปฏิกิริยากับกรดซิตริก 9.61 มก. (db) และไตรโซเดียมซีเตรท 12.9 มก.

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

เมื่อ X = น้ำหนักตัวอย่างเป็น ก. (wb)  
 Y = ปริมาตรเป็นมล. 0.05 M สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ที่ใช้ในการไตเตรทจนถึงจุดที่ indicator เปลี่ยนสี  
 Z = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่าง ที่ผ่านการสกัดด้วย เอซิลแอลกอฮอล์

9.61 = Calibration factor from pure citric acid (db)

หมายเหตุ Blank ที่ใช้ในการคำนวณใช้ค่า % BC ของสตาร์ชที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย ไมโครเวฟ คือ แป้งมันสำปะหลัง = 0.38-0.46 % BC ที่ 3, 5, 7 นาที  
 แป้งข้าวเหนียว = 1.76-1.90 % BC ที่ 1, 3, 5 นาที

ตารางที่ 7 ปริมาณ bound citric acid (%) ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง (5 % กรดซิตริก , เวลาให้ความร้อน 7 นาที)

Sample No.	Bound Citric Acid (%)
1	4.58
2	4.50
3	4.26
4	4.76
5	4.73
6	4.74
7	4.39
8	4.99
9	4.74
10	4.75

mean ( X ) = 4.64 %  
std ( S ) = 0.21 %  
cv = 4.56 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 % shear stability

#### หลักการ

การต้มและกวน paste ของแป้งเป็นเวลานาน หรือการบีบ paste ไปยังส่วนต่าง ๆ ของโรงงาน อาจเป็นผลทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ ของ paste เคลือบอยู่ที่ผิวของภาชนะหรือท่อ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแตกตัวของโมเลกุลแป้ง วิธีหนึ่งที่จะใช้บอกความสามารถในการแตกตัวของแป้ง ได้แก่ การวัดค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปภายหลังจากการนำ paste มาเจือมันตัดโมเลกุลหรือกวน paste ด้วยความเร็วสูง โดยใช้เวลาที่เหมาะสมและให้ความเร็วในการกวนต่างกันไป การวัดค่าความหนืดนี้จะวัดในหน่วย centipoise ด้วยเครื่อง Brookfield Viscosimeter (Kite, Schoch and Leach 1957, Schoch 1969, Elder and Schoch 1959, Kite, Maywald and Schoch 1963, Ziemba 1965, Kite 1970, and Klaushofer, Berghofer and Neugeschwandtner 1975) ในการทดลองนี้ วิธีที่ใช้ตัดแปลงจากวิธีของ Klaushofer et. al. (1975) อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ถูกต้องแม่นยำขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนน้อยกว่า 15 %) จึงใช้ความเข้มข้นของสตาร์ชเป็น 5 % (db) และวัดความหนืดด้วย Brookfield Viscosimeter โดยใช้ spindle No. 2 สำหรับสตาร์ชซีเตรทของแป้งมันสำปะหลัง และ spindle No. 3 สำหรับสตาร์ชซีเตรทของแป้งข้าวเหนียว

#### การวิเคราะห์

ซึ่งแป้งตัวอย่าง 5 % (db) ทำให้เป็นสารละลายโดยมีน้ำหนักรวมเป็น 400 ก. ด้วยน้ำกลั่น ใส่ในถ้วยสแตนเลส (เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ซม. และสูง 12.5 ซม.) คนให้เข้ากันเพื่อไม่ให้แป้งจับตัวเป็นก้อน ปิดฝาถ้วยสแตนเลส แล้วนำไปต้มใน water bath ที่ 95°C กวนผสมด้วย blade เบอร์ 3 ด้วยความเร็ว 260 rpm. นาน 30 นาที นำ paste ที่ได้ไปวัดความหนืด ( $V_u$ ) โดยใช้ spindle และความเร็วที่เหมาะสม แล้วนำไปต้มต่อที่ 95°C ตัดโมเลกุลแป้งด้วย blade เบอร์ 1 ความเร็ว 2000 rpm นาน 5 นาที แล้ววัดความหนืด ( $V_p$ ) โดยใช้ spindle และความเร็วเช่นเดียวกับในการวัดค่า  $V_u$

#### การคำนวณ

$$\% \text{ shear stability (SB)} = (V_p/V_u) \times 100$$

เมื่อ  $V_u$  = ความหนืดของตัวอย่างก่อนตัดโมเลกุลแป้ง (cps.)

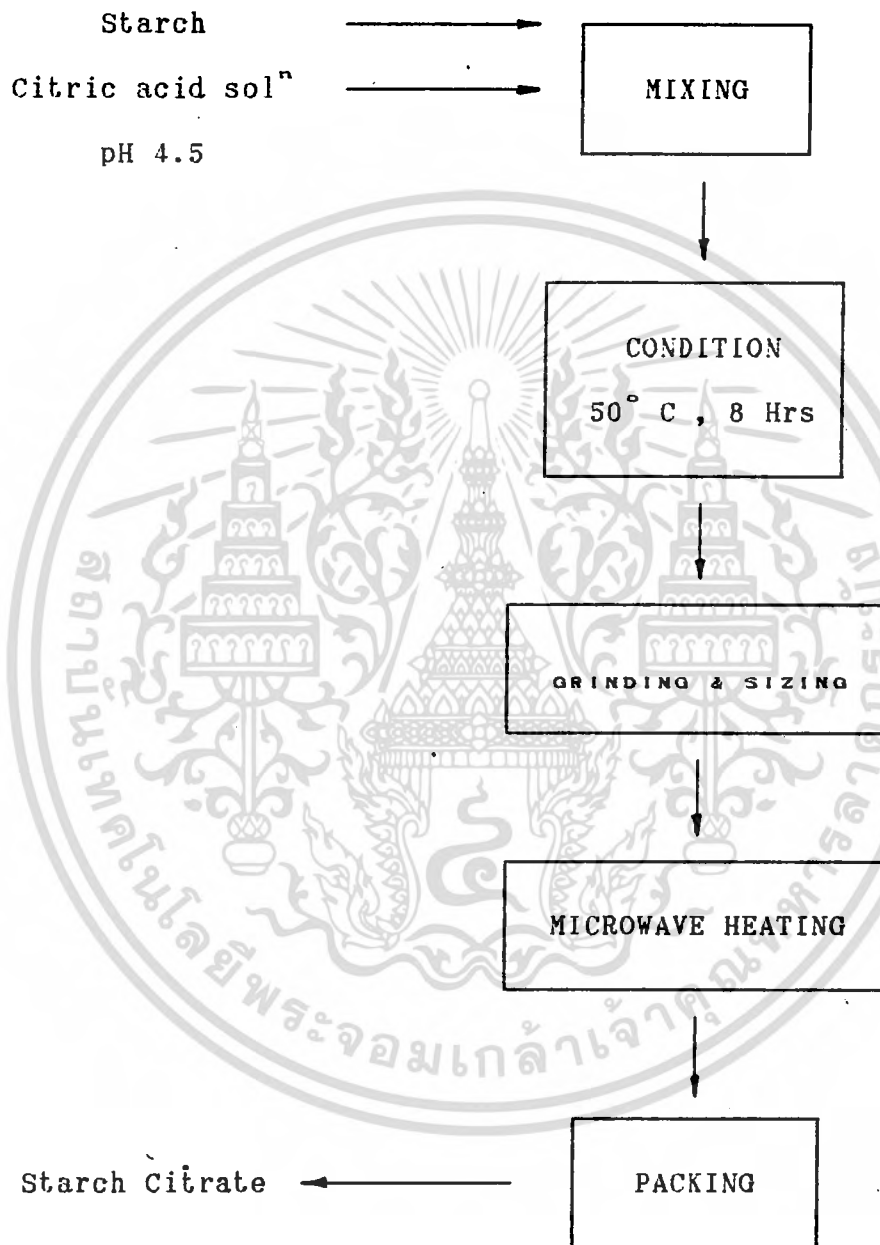
$V_p$  = ความหนืดของตัวอย่างหลังตัดโมเลกุลแป้ง (cps.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เขียนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้างโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ความคงทนต่อแรงเฉือน (SB, %) ของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ตัวอย่างที่	ความหนืด (cps.)		SB (%)
	$V_a$	$V_b$	
1	337.0	139.0	41.25
2	353.0	142.8	40.45
3	354.6	140.0	39.48
4	331.0	142.0	42.90
5	336.4	139.0	41.42
6	353.0	141.0	39.94
7	339.0	141.0	41.59
8	327.2	138.8	42.48
9	323.0	142.0	43.96
10	353.0	142.8	40.45
X	340.72	140.84	41.38
std	11.89	1.57	1.40
cv	3.49	1.11	3.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตสตาร์ชซิเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. การทดลองผลิตสตาร์ชซีเตรทจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว

1.1 เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 9 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

% citric acid	heating time (min.)	water content (%)	BC (%)	SB (%)
0 (control)	3	6.39	0.00	43.02
	5	4.22	0.00	41.35
	7	2.00	0.00	36.48
5	3	6.23	3.23	48.36
	5	4.89	2.98	40.50
	7	2.66	4.03	43.48
10	3	6.77	6.07	42.57
	5	4.56	6.47	42.59
	7	2.62	8.67	42.31

หมายเหตุ % BC ของวัตถุดิบแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวเท่ากับ 41.38 และ 28.41 % ตามลำดับ

จากตารางที่ 9 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลที่ได้รูปที่ 3, 4, 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เมื่อใช้แป้งข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบ

ตารางที่ 10 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

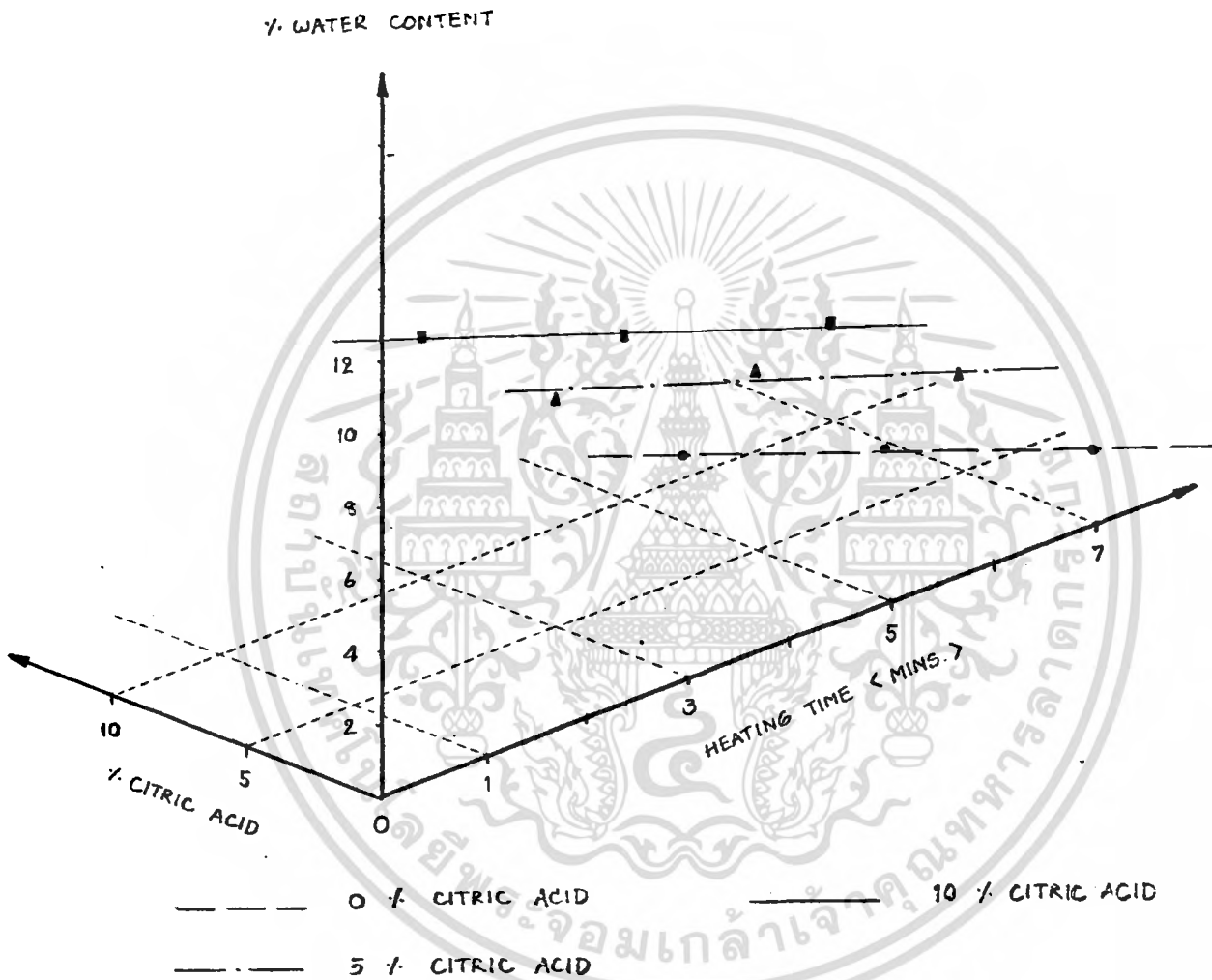
% citric acid	heating time (min.)	water content (%)	BC (%)	SB (%)
0 (control)	1	11.39	0.00	27.45
	3	6.30	0.00	26.17
	5	3.32	0.00	27.58
5	1	13.97	4.03	21.68
	3	8.31	4.20	27.19
	5	4.14	4.56	32.05
10	1	13.15	6.46	34.31
	3	7.90	6.53	24.32
	5	2.73	8.08	27.20

จากตารางที่ 10 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์จากข้อมูลที่ได้ดังรูปที่ 6, 7, 8

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา (RE)

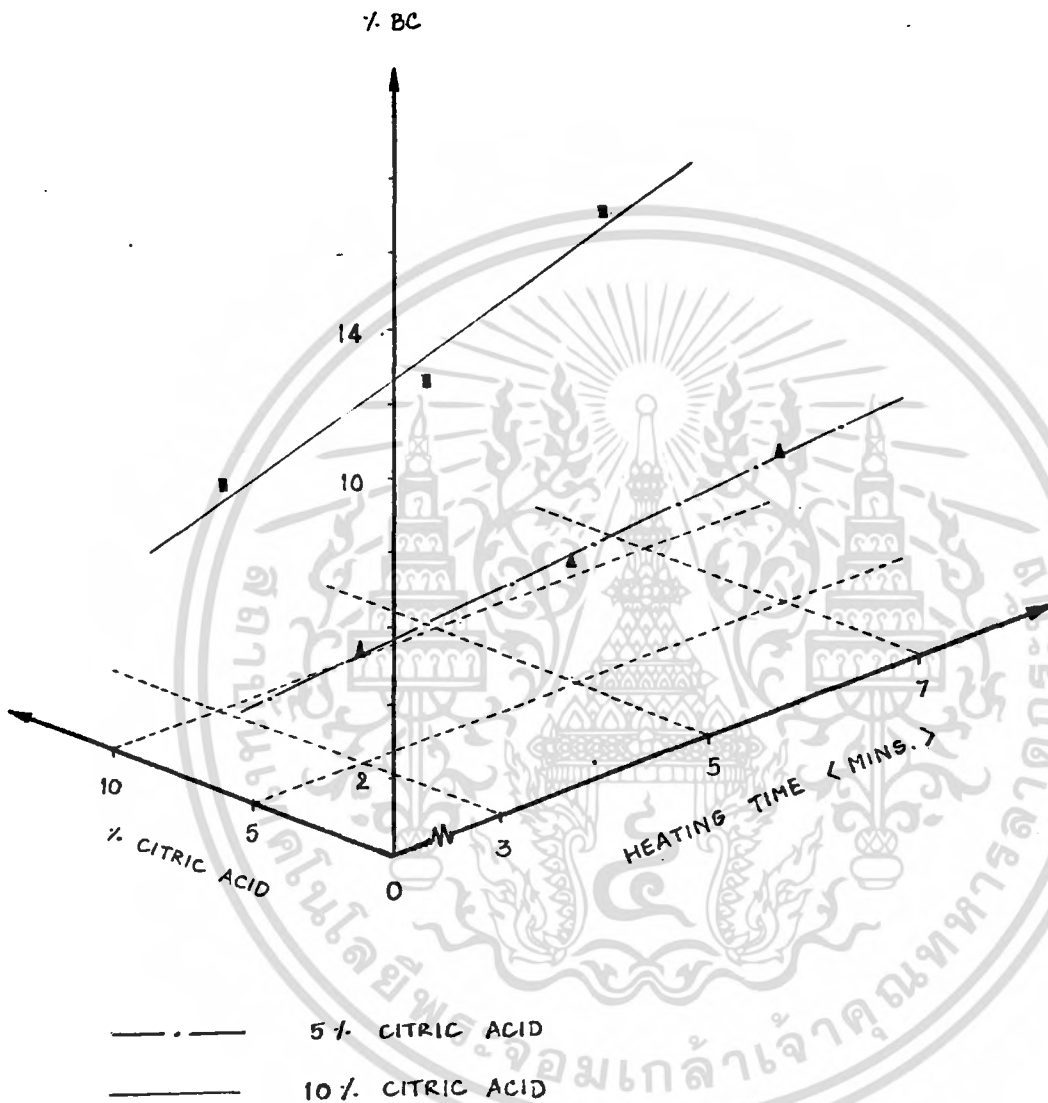
% citric acid	Tapioca		Glutinous Rice	
	heating time (min.)	% RE	heating time (min.)	% RE
5	3	64.65	1	80.52
	5	59.51	3	83.90
	7	80.62	5	91.30
10	3	60.75	1	64.58
	5	64.73	3	65.33
	7	86.70	5	80.85

จากตารางที่ 11 สามารถสร้างกราฟจากข้อมูลได้ดังรูปที่ 9, 10

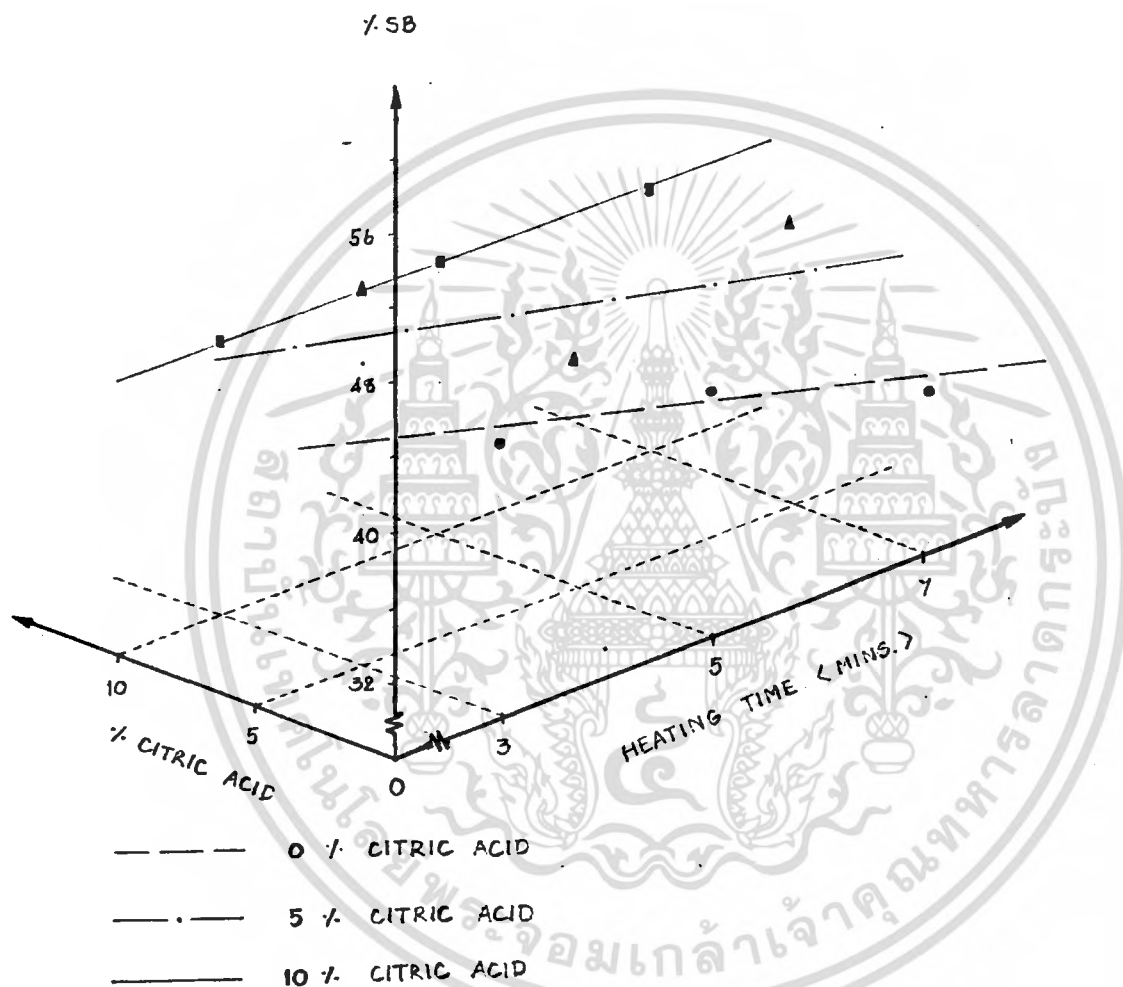


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water content กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตอรท์ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

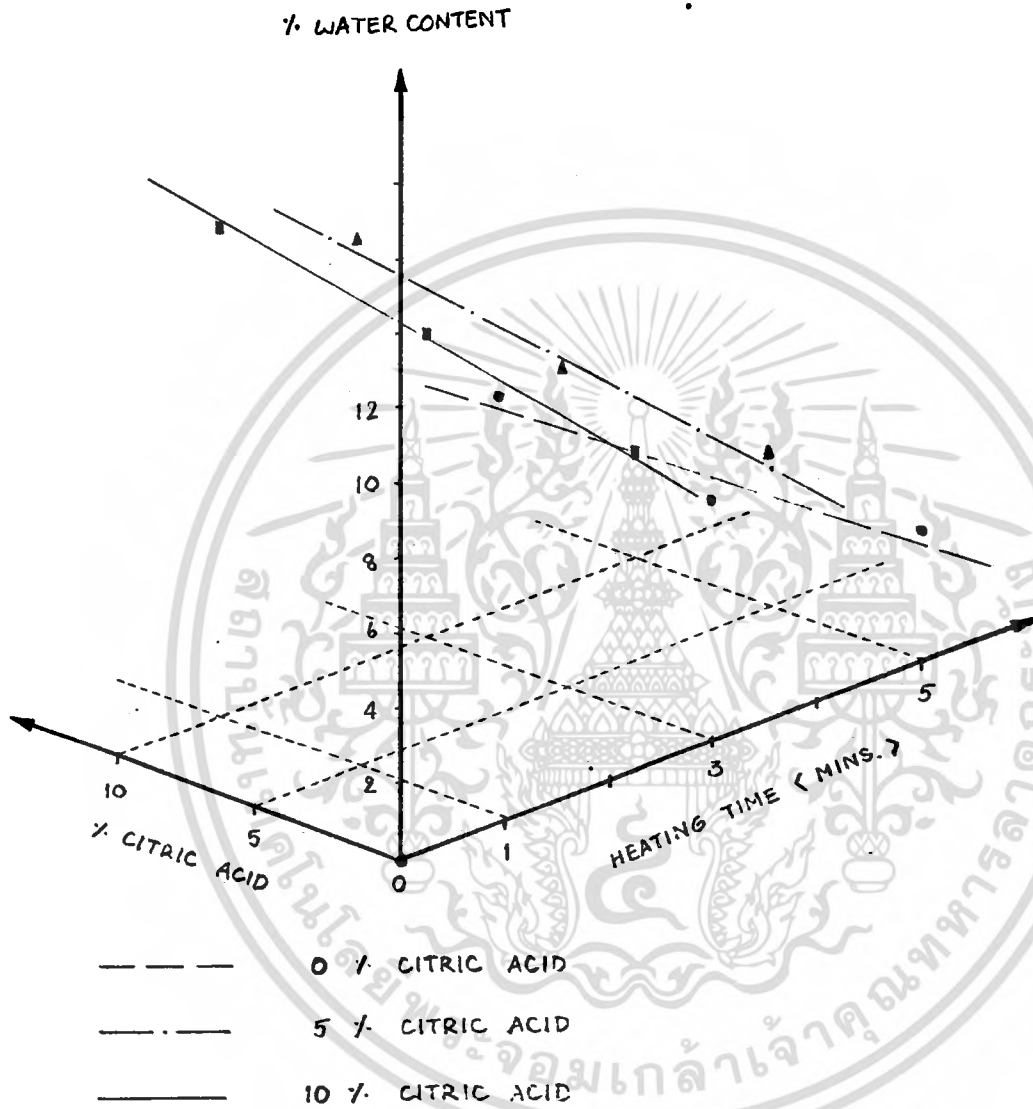


รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % bound citric acid กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้ง - มันสำปะหลัง



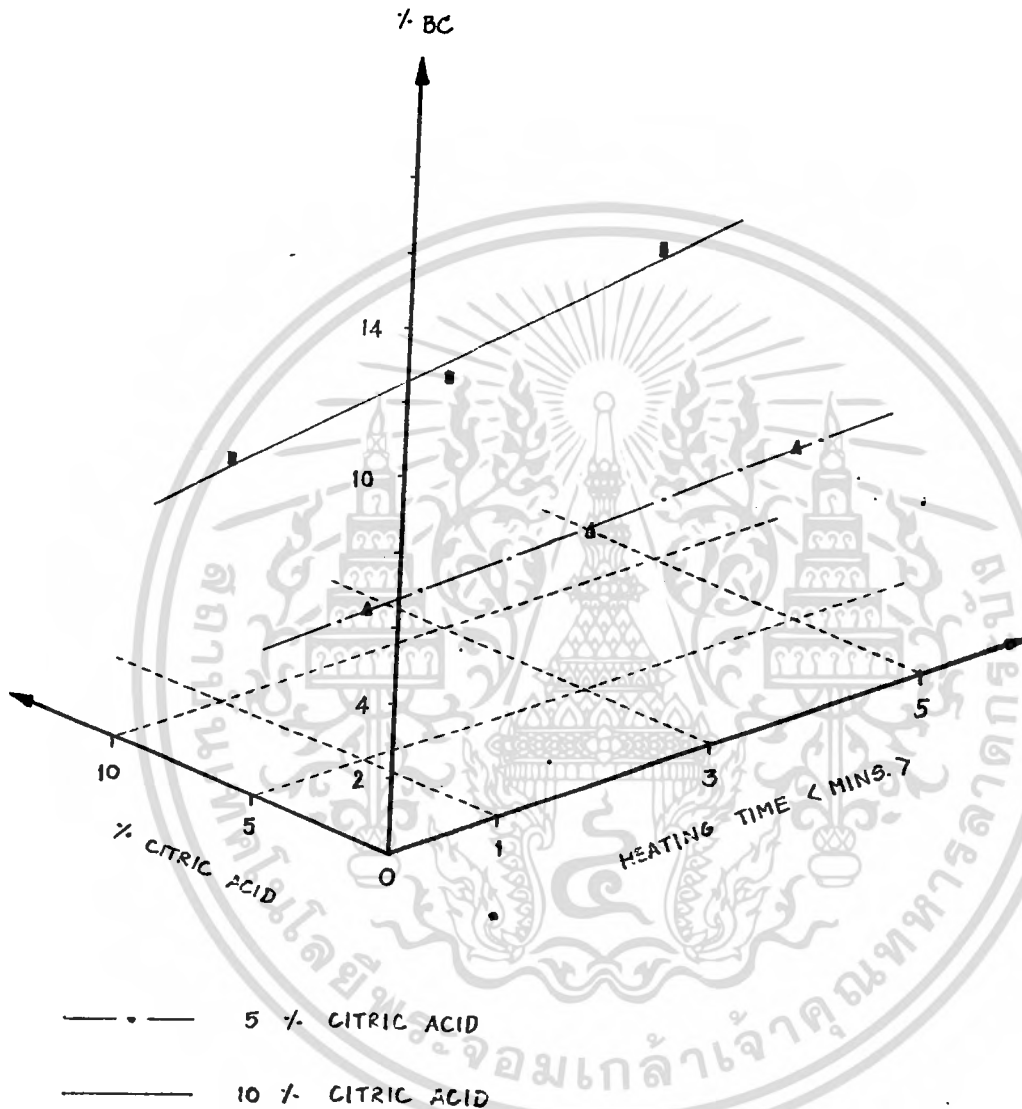
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shear stability กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

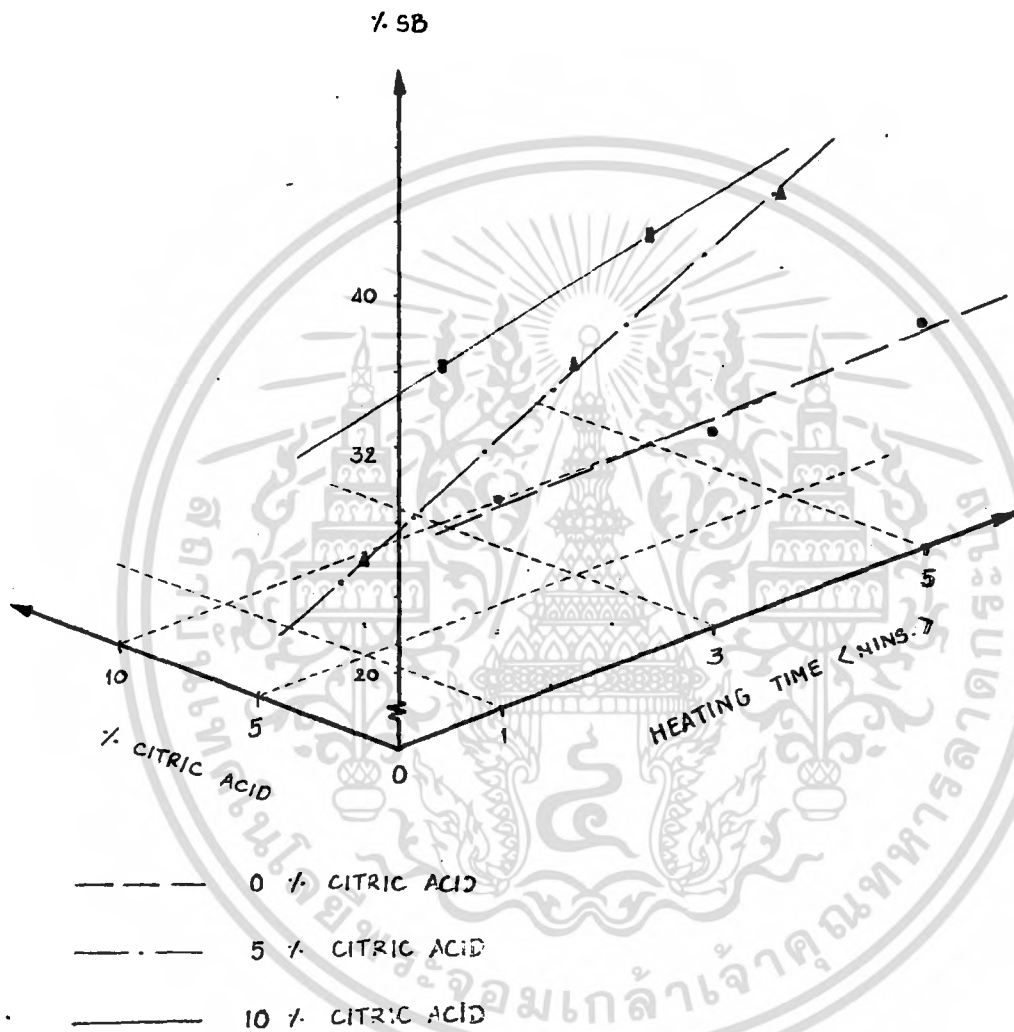


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % water content กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเทรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

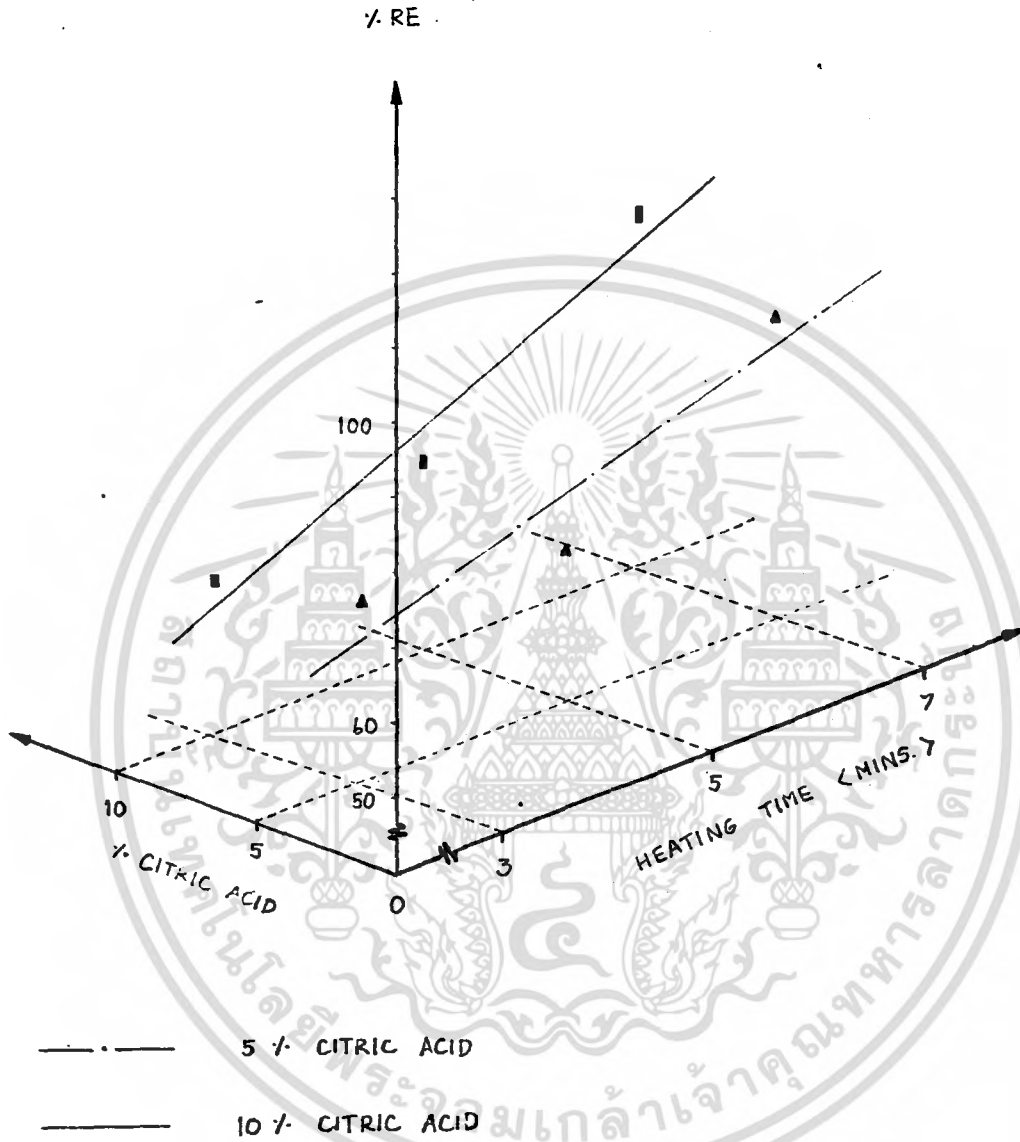


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % bound citric acid กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรกที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

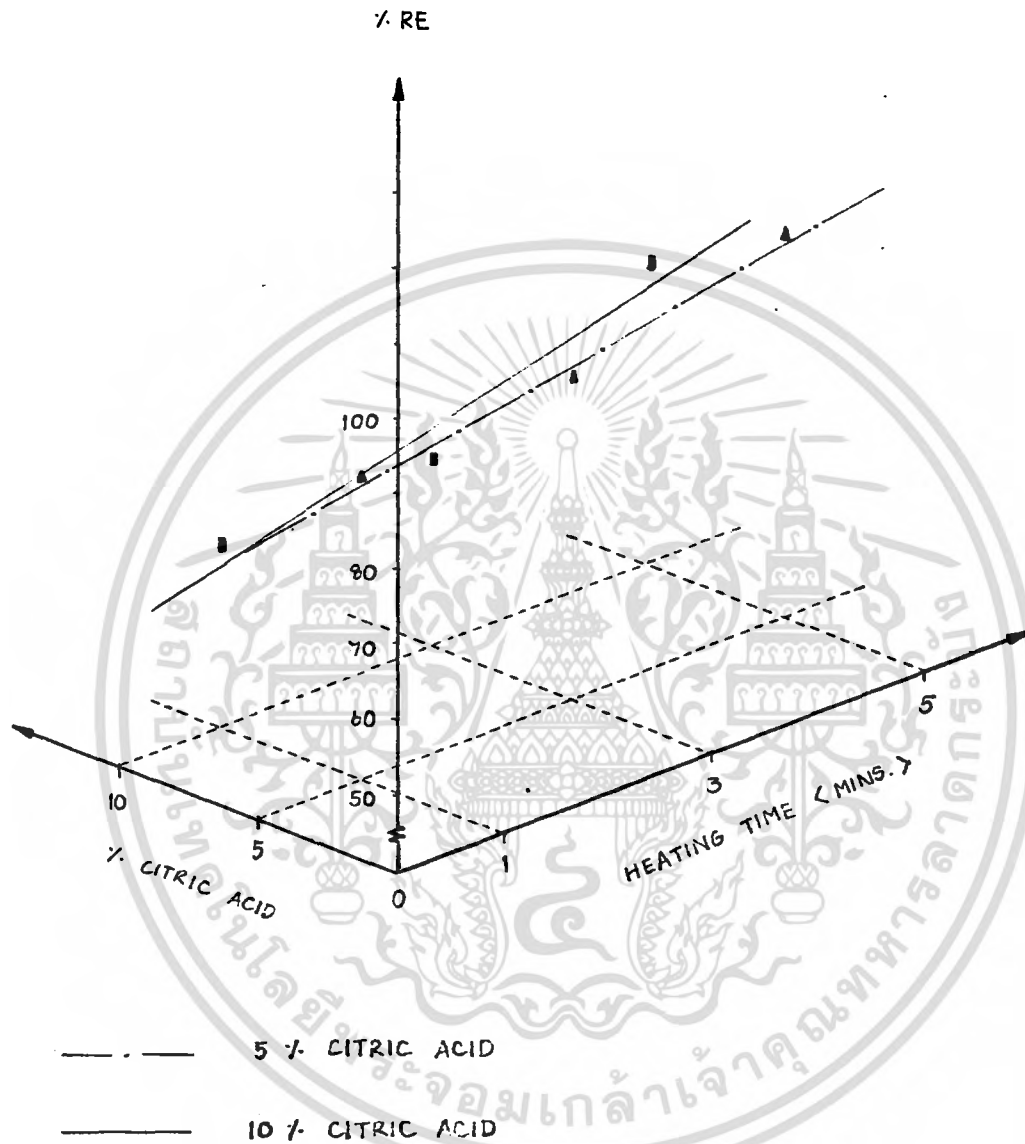


รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % shear stability กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 0, 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % reaction efficiency กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % reaction efficiency กับ heating time เมื่อใช้สารละลายกรดซิตริก 5 และ 10 % ของสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การผลิตสตาร์ชซีเตรทจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ไมโครเวฟ สามารถใช้ในการผลิตสตาร์ชซีเตรทได้ตามแผนผังที่ 2

ในการทดลองนี้ สารละลายกรดซิตริกที่ใช้มีความเข้มข้น 5 และ 10 % ในขณะกึ่งเวลาในการให้ความร้อนเป็น 3, 5 และ 7 นาที สำหรับสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และเป็น 1, 3 และ 5 นาทีสำหรับสตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว (สาเหตุที่ต้องลดเวลาในการให้ความร้อนลงสำหรับแป้งข้าวเหนียวนั้น เนื่องจากเมื่อทดลองโดยใช้เวลา 7 นาที พบว่าสตาร์ชที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงให้สารสีน้ำตาล)

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตโมดิฟายด์สตาร์ชซีเตรท โดยใช้ไมโครเวฟ พบว่า สามารถใช้ไมโครเวฟในการผลิตสตาร์ชซีเตรทได้โดยสามารถลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตลง สตาร์ชซีเตรทที่ได้มีคุณสมบัติตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของสตาร์ชซีเตรทและประสิทธิภาพในการเข้าทำปฏิกิริยา

Starch Citrate		
Properties	Tapioca	Glutinous Rice
% Water Content	2-7	3-14
% Bound Citric Acid	3-8.7 <sup>1</sup>	4-8 <sup>1</sup>
% Shear Stability	36-48	22-34
% Reaction Efficient	59-87	65-91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
หมายเหตุ : 1 ที่ความเข้มข้นของกรดซิตริก 5-10 % (db)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้ใช้การจัดการทดลองแบบ Factorial ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเมื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA สำหรับแผนการทดลองแบบ Factorial ผลที่ได้ในขั้นต้นคือทุกสิ่งทดลอง (treatment) มีความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ เวลาในการให้ความร้อน และ ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (interaction) เมื่อนำไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95 % ได้ผลดังนี้

สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

% WC	<u>T007</u>	<u>T057</u>	<u>T107</u>	<u>T005</u>	<u>T055</u>	<u>T105</u>	<u>T003</u>	<u>T053</u>	<u>T103</u>
% BC	<u>T053</u>	<u>T055</u>	<u>T057</u>	<u>T103</u>	<u>T105</u>	<u>T107</u>			
% SB	<u>T007</u>	<u>T055</u>	<u>T005</u>	<u>T107</u>	<u>T103</u>	<u>T105</u>	<u>T003</u>	<u>T057</u>	<u>T053</u>

สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

% WC	<u>R105</u>	<u>R005</u>	<u>R055</u>	<u>R003</u>	<u>R053</u>	<u>R103</u>	<u>R001</u>	<u>R051</u>	<u>R101</u>
% BC	<u>R051</u>	<u>R053</u>	<u>R055</u>	<u>R101</u>	<u>R103</u>	<u>R105</u>			
% SB	<u>R051</u>	<u>R103</u>	<u>R003</u>	<u>R053</u>	<u>R105</u>	<u>R001</u>	<u>R005</u>	<u>R055</u>	<u>R101</u>

- หมายเหตุ 1. T หมายถึง สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง  
R หมายถึง สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว  
ตัวเลข 2 หลักแรก หมายถึง % กรดซิตริกที่ใช้ (db)  
ตัวเลขหลักสุดท้าย หมายถึง เวลาในการให้ความร้อน (min.)
- เช่น T053 หมายถึง สตาร์ชซีเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ใช้กรดซิตริก 5 % และให้ความร้อน 3 นาที
2. % WC หมายถึง % Water Content  
% BC หมายถึง % Bound Citric Acid  
% SB หมายถึง % Shear Stability
  3. สิ่งทดลองที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันไม่มีความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งทดลองคือปริมาณกรดซิตริก เวลาในการให้ความร้อน และปฏิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ดังนั้น จึงได้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient,  $r$ ) และค่า Coefficient of Determination ( $r^2$ ) จากค่า  $r$  และ  $r^2$  ทำให้ทราบถึงลักษณะความสัมพันธ์และสัดส่วนของความแปรปรวนอันเนื่องมาจากปัจจัยดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ( $r$ ) และ  $r^2$

Properties	Factors					
	% citric acid		heating time		interaction	
	$r$	$r^2$	$r$	$r^2$	$r$	$r^2$
<b>Tapioca</b>						
% WC	0.11	0.01	-0.99	0.98	-0.36	0.13
% BC	0.91	0.83	0.34	0.12	0.90	0.81
% SB	0.31	0.10	-0.54	0.29	0.27	0.07
% RE	0.09	0.008	0.84	0.71	0.86	0.74
<b>Glutinous Rice</b>						
% WC	0.10	0.01	-0.97	0.94	-0.46	0.21
% BC	0.93	0.86	0.30	0.09	0.75	0.56
% SB	0.18	0.03	0.13	0.02	0.06	0.004
% RE	-0.77	0.59	0.57	0.32	0.66	0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่า

สสารชีวีเตรกที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง % WC ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากเวลาในการให้ความร้อนคือ 98 ส่วนเมื่อปริมาณกรดซิตริกที่ใช้คงที่และ 1 ส่วนจากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ โดยที่ปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองนี้มีอิทธิพลต่อ % WC 13 ส่วน ส่วนที่เหลือจะเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยอื่น ๆ หรือ random error

ในทำนองเดียวกัน พอสรุปได้ว่า

- % WC ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากเวลาในการให้ความร้อน
- % BC ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้และปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย
- % SB ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากเวลาในการให้ความร้อน แต่อยู่ในระดับต่ำ
- % RE ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากเวลาในการให้ความร้อนและปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

สสารชีวีเตรกที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

- % WC ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากเวลาในการให้ความร้อน
- % BC ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้และปฏิกริยาสัมพันธ์
- % SB ได้รับอิทธิพลจากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้และเวลาในการให้ความร้อนน้อย และอาจจะไม่มีผลเลยจากปฏิกริยาสัมพันธ์
- % RE ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จาก % กรดซิตริกที่ใช้ รองลงมาคือ ปฏิกริยาสัมพันธ์ และเวลาในการให้ความร้อน

จากการทดลอง ปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อคุณสมบัติของสสารชีวีเตรกที่ผลิตจากแป้งวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากธรรมชาติของแป้งวัตถุดิบแต่ละชนิดที่ต่างกัน คือ รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง ตลอดจนปริมาณอะไมโลสในเม็ดแป้ง ดังนี้

แป้งมันสำปะหลัง จะมีลักษณะเม็ดแป้งที่เป็นทรงกลม ปลายด้านหนึ่งแห้วไป เส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในช่วง 5-35 ไมโครเมตร ปริมาณอะไมโลสประมาณ 18 % ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวเม็ดแป้งมีลักษณะเป็นทรงหลายเหลี่ยม (polygonal) เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 3-8 ไมโครเมตร ปริมาณอะไมโลสประมาณ 1 % (Wurzburg, 1986)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซีเรียทโดยใช้ไมโครเวฟนี้ สตาร์ช - ซีเรียทที่ได้มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากสตาร์ชซีเรียทที่ได้จากการใช้ Extruder (Narkrugsa, 1990) เนื่องจากหลักการในการให้ความร้อนของ 2 วิธีนี้แตกต่างกัน พันธะที่เกิดขึ้นอาจเป็นพันธะเอสเทอร์หรือไม่ก็ได้ จึงควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น และคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำ (Water Solubility), ความคงทนต่อความร้อนและกรด (Heat-acid Resistance), ความคงทนต่อสภาพแช่แข็งและการละลาย (Freeze-thaw Stability) ตลอดจนการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของของผสมระหว่างสตาร์ช - ซีเรียทกับน้ำที่สภาวะต่าง ๆ ด้วยเครื่อง Brabender Viscosimeter



เอกสารอ้างอิง

สุรพล อุปดิษฐ์กุล. 2528. สถิติการวางแผนการทดลองเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชา  
พืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 145 หน้า.

ศุภกานทร. กรม. 2531. รายงานสถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย พ.ศ. 2523-2531.

AOAC. 1975. Official Method of Analysis of the Association of Official  
Analysis Chemists. 12th edition, Edited by W. Horwitz; Associ -  
ation of Official Chemists, Washington, D.C. (1975).

Berghofer, E. 1975. Versuche zur Herstellung von Stärkederivativen  
mit hoher Gerfrier-Taustabilität und wertvollen Kleisterei -  
schaften. Dissertationsarbeit an der Universität für Bodenkultur,  
Wien.

Berghofer, E. 1985. Herstellung von Stärkederivaten und ihre Anwendung  
in der Lebensmitteltechnik. In : Hydrokolloid I, Vortrage des VLT-  
Seminar am 21 und 22 Feb. 1985 in Neu-Ulm, 79-100.

Bleier, J. 1982. Untersuchungen zur Aufklärung der Struktur von  
Citratstärken. Dissertationsarbeit an der Universität für  
Bodenkultur, Wien.

Bonting, S.L. and Jansen, B.C. 1956. Voeding, 17, 137.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copson, D.A., 1975. **Microwave Heating.** Connecticut; West Publishing Company.

Elder, A.L. and Schoch, T.J. 1959. **Measuring the Useful Properties of Starch.** *Cereal Science Today* 4(7):202-208.

Galliard, T. 1987. **Starch : Properties and Potential.** John Wiley & Sons. Brisbane. Great Britain.

Gruber, C.M. and W.A. Halbeisen. 1948. *J. Pharmacol. exp. Ther.*, 94, 65

Kite, F.E., T.J. Schoch and H.W. Leach. 1957. **Granule Swelling and Paste Viscosity of Thick-boiling Starches.** *Baker's Digest*, 31(4): 42-46.

Kite, F.E., E.C. Maywald and T.J. Schoch. 1963. **Funktionelle Eigenschaften von Lebensmittelstärken.** *Stärke* 15:131-138.

Kite, F.E. 1970. **Starch Phosphates.** In Paper Presented at the Symposium on Phosphates in Food Processing. University of Guelph, Ontario, June, 2-5.

Klaushofer, H., E. Berghofer and E. Neugeschwandtner. 1975. **On Determination of Shearing Stability of Starch Pastes.** *Stärke* 27(6): 185-192.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Klaushofer, V.H., E. Berghofer and W. Steyrer. 1978. **Stärkecitrate - Produktion und anwendungs technische Eigenschaften. Starch/Stärke. 30(2):47-51.**

Klaushofer, V.H., E. Berghofer and R. Pieber. 1979. **Quantitative Bestimmung von Citronensäure in Citratstärken. Starch/Stärke. 31(8): 251-261.**

Krop, S. and Gold, H. 1945. **J. Amer. pharm. Ass., sci. Ed. 34, 86**

Narkrugsa, W. 1990. **Herstellung von Stärkederivaten durch Heissextrusion. Dissertationsarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.**

Schoch, T.J. 1969. **Starch in Foods. In: Symposium on Foods Carbohydrates and Their Roles. Eds. H.W. Schultz, R.F. Cainand and R.W. Wrolstad. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut:395-420.**

Van Beynum, G.M.A. and J.A. Roels. 1985. **Starch Conversion Technology. Marcel Dekker, Inc. New York. New York.**

Wurzburg, O.B. 1986. **Modified Starches : Properties and Uses. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida.**

Ziemba, J.V. 1965. **Food Starches. Food Eng. 37:71-79.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance, cv)

สูตรในการคำนวณ  $cv = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$

เมื่อ  $cv =$  สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

$\sigma =$  ความแปรปรวน

$$\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}$$

$\bar{x} =$  ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$$\frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ตัวอย่างการคำนวณ : แผนการทดลองเป็นแบบ Factorial ทดลอง 4 ซ้ำ ในที่นี้ จะใช้ค่า % BC ของสตาร์ชซีเทรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดย T หมายถึง แป้งมันสำปะหลัง ตัวเลข 2 หลักแรก คือ % กรดซิตริกที่ใช้ และตัวเลขหลักสุดท้าย คือ เวลาในการให้ความร้อน เป็นนาที

ในการทดลองใช้แผนการทดลองแบบ Factorial มี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณกรดซิตริก ที่ใช้และเวลาในการให้ความร้อน (c และ h) เป็นองค์ประกอบของสิ่งทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการจัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล

Source of variation	d.f.	SS	MS	F
Replications	r-1	$\frac{(R_1)^2 + \dots + (R_r)^2}{t = ch} - CF$	$\frac{SS = M_6}{d.f.}$	$\frac{M_6}{M_1}$
Treatments	t-1 or ch-1	$\frac{(T_1)^2 + \dots + (T_t)^2}{r} - CF$	$\frac{SS = M_5}{d.f.}$	$\frac{M_5}{M_1}$
Citric acid (c)	c-1	$\frac{(C_o)^2 + \dots + (C_c)^2}{rc} - CF$	$\frac{SS = M_4}{d.f.}$	$\frac{M_4}{M_1}$
Heating time (h)	h-1	$\frac{(H_o)^2 + \dots + (H_h)^2}{rh} - CF$	$\frac{SS = M_3}{d.f.}$	$\frac{M_3}{M_1}$
c x h	(c-1)(h-1)	Treat. SS - C. SS - H. SS	$\frac{SS = M_2}{d.f.}$	$\frac{M_2}{M_1}$
Error	(r-1)(t-1)	Total. SS - Rep. SS - Treat. SS	$\frac{SS = M_1}{d.f.}$	
Total	rt-1 or chr-1	$\Sigma(\text{each value})^2 - CF$		

ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แสดงข้อมูลและหาผลรวมของแต่ละปัจจัยและซ้ำตลอดจนผลรวมทั้งหมด

ตารางผนวกที่ 2 % BC ของสตาร์ชซีเทรที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดยใช้เวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ

สิ่งทดลอง	ซ้ำ				ผลรวม	ผลรวมของ
	1	2	3	4	ของซ้ำ	การชดเชย
T053	2.86	3.02	3.59	3.45	12.92	40.94
T055	2.82	2.77	3.46	2.85	11.90	
T057	3.99	3.88	4.41	3.89	16.12	
T103	5.92	5.90	5.87	6.60	24.29	84.86
T105	6.82	6.33	6.28	6.46	25.89	
T107	8.57	8.22	9.18	8.71	34.68	
ผลรวมแต่ละซ้ำ	30.98	30.07	32.79	31.96		125.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แสดงข้อมูลเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเป็น 3 อัตราจาก 4 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ย

ตารางผนวกที่ 3 % BC ของสตาร์ชชนิดที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเป็น 3 ระดับจาก 4 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ย

% กรดซัคติก	เวลาในการให้ความร้อน			ผลรวม ของ	ค่าเฉลี่ย ของ
	1	2	3	กรดซัคติก	กรดซัคติก
5	12.92	11.90	16.12	40.94	4.55
10	24.29	25.89	34.68	84.86	9.43
ผลรวมของแต่ละเวลา	37.21	37.79	50.80	125.80	
ค่าเฉลี่ยของแต่ละเวลา	6.20	6.30	8.47	20.97	

3. แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตาราง ANOVA โดยใช้สูตรการคำนวณ

ตารางผนวกที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 4 ตาราง ANOVA ของ % BC ของสตาร์ชซีเทรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดย  
เวลาในการให้ความร้อน 3 ระดับ

Source of variation	d.f.	SS	MS	$F_{cal}$	$F_{0.05}$
Replication	3	0.70	0.23	2.88	3.29
Treatment	5	98.45	19.69	246.13*	2.90
citric acid (c)	1	80.38	80.38	1004.75*	4.54
heating time (h)	2	14.76	7.38	92.25*	3.68
c x h	2	3.31	1.66	20.75*	3.68
Error	15	1.20	0.08		
Total	23	100.35			

จากตาราง ANOVA แสดงว่า % BC มีความแตกต่างกันในแต่ละ Treatment อันเนื่องมาจากปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ เวลาในการให้ความร้อน และปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว ( $F_{cal} > F_{0.05}$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4. ทดสอบหาความแตกต่างของแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้ DMRT

4.1 คำนวณค่า  $S_{\bar{y}}$  (Standard error of treatment means)

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{MSE/n}$$

เมื่อ

n = จำนวนซ้ำของการทดลองในแต่ละ treatment

MSE = residual error term

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้  $S_{\bar{y}} = \sqrt{0.08/4} = 0.14$

4.2 คำนวณค่า Least significant ranges (LSR, R)

LSR =  $SSR \times S_{\bar{y}}$

เมื่อ

SSR = Significant studentized ranges  
ที่ d.f. MSE ที่ระดับ 0.05 ตั้งแต่ 2 จนถึง  
จำนวนค่าเฉลี่ยที่จะเปรียบเทียบ

จะได้  $R_2 = r_{0.05}(2, 15) \times S_{\bar{y}} = 3.01 \times 0.14 = 0.42$

$R_3 = r_{0.05}(3, 15) \times S_{\bar{y}} = 3.16 \times 0.14 = 0.44$

$R_6$

4.3 จัดลำดับค่าของ % BC เรียงจากน้อยไปมาก

	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	T055	T053	T057	T103	T105	T107
% BC	2.98	3.23	4.03	6.07	6.47	8.67

4.4 การเปรียบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

T6 vs T1	:	8.67-2.98	=	5.69	>	0.47	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T6 vs T2	:	8.67-3.23	=	5.44	>	0.46	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T6 vs T3	:	8.67-4.03	=	4.64	>	0.46	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T6 vs T4	:	8.67-6.07	=	2.60	>	0.44	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปยังบุคคลภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ฯ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T6 vs T5	:	8.67-6.47	=	2.20	>	0.42	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T5 vs T1	:	6.47-2.98	=	3.49	>	0.46	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T5 vs T2	:	6.47-3.23	=	3.24	>	0.46	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T5 vs T3	:	6.47-4.03	=	2.44	>	0.44	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T5 vs T4	:	6.47-6.07	=	0.40	<	0.42	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T4 vs T1	:	6.07-2.98	=	3.09	>	0.46	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T4 vs T2	:	6.07-3.23	=	2.84	>	0.44	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T4 vs T3	:	6.07-4.03	=	2.04	>	0.42	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T3 vs T1	:	4.03-2.98	=	1.05	>	0.44	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T3 vs T2	:	4.03-3.23	=	0.80	>	0.42	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
T2 vs T1	:	3.23-2.98	=	0.25	<	0.42	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

นั่นคือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

T055	T058	T057	T103	T105	T107
------	------	------	------	------	------

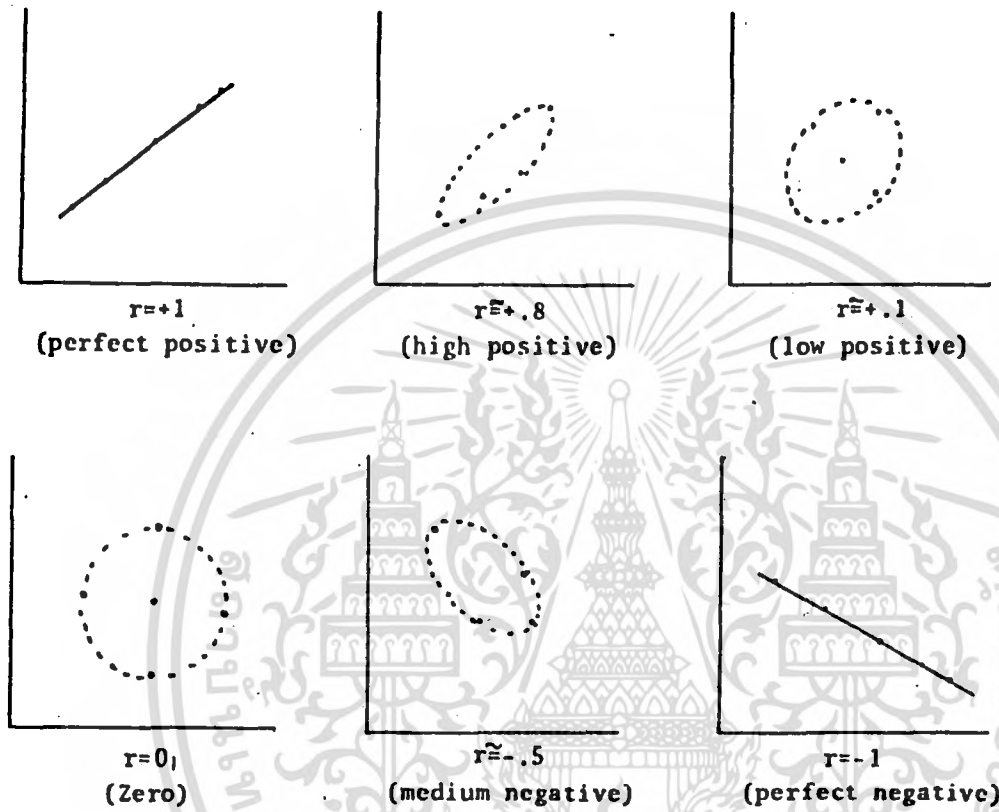
หมายความว่า 7 BC เฉลี่ยของ treatment ที่ 1 และ 2 ไม่แตกต่างกันที่ระดับความ -  
เชื่อมั่น 95 % และ treatment อื่น ๆ แตกต่างจาก treatment ที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ  
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, r) และ ค่าสัมประสิทธิ์ -  
สัมพันธ์ยกกำลัง (Coefficient of determination, r<sup>2</sup>)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\frac{(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n})(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n})}{n}}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปผนวกที่ 1 สหสัมพันธ์แบบต่าง ๆ

ที่มา : ศิวพล, 2528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง หาค่า  $r$  และ  $r^2$  ของความสัมพันธ์ระหว่าง % BC กับ % citric acid (c), % BC กับ heating time (t) และ % BC กับ (c x t) ของสตาร์ชชนิดที่ผลิตจากแป้งมัน - ส่าปะหลัง

ตารางผนวกที่ 5 ค่า  $x$  (independent variable) และ  $y$  (dependent variable) ในการคำนวณหาค่า  $r$  และ  $r^2$  ของแต่ละคู่ความสัมพันธ์

% citric acid Vs % BC		heating time Vs % BC		(c x t) Vs % BC	
x	y	x	y	x	y
5	3.23	3	3.23	15	3.23
5	2.98	5	2.98	25	2.98
5	4.03	7	4.03	35	4.03
10	6.07	3	6.07	30	6.07
10	6.49	5	6.47	50	6.47
10	8.67	7	8.67	70	8.67

หาค่า  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ ,  $\Sigma x^2$ ,  $\Sigma y^2$ ,  $\Sigma xy$  ในแต่ละคู่ความสัมพันธ์เมื่อ  $n$  คือ จำนวนของ  $x$  แทนค่าในสูตร จะได้ ค่า  $r$  และ  $r^2$  ตามลำดับ ดังนี้

% citric acid Vs % BC : 0.91, 0.83

heating time Vs % BC : 0.34, 0.12

(c x t) Vs % BC : 0.90, 0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

