

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์  
ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

FEASIBILITY STUDY ON PREGELATINIZATION BANANA FLOUR  
BY MICROWAVE TECHNIQUE

สายฝน โมราทอบ  
SAIFON MORATHOB

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-344-5

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์  
ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

FEASIBILITY STUDY ON PREGELATINIZATION BANANA FLOUR  
BY MICROWAVE TECHNIQUE



สายฝน โมราถบ  
SAIFON MORATHOB

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 49667  
วัน, เดือน, ปี 12 ส.ค. 2547

b.....  
.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-344-5

**FEASIBILITY STUDY ON PREGELATINIZATION BANANA FLOUR  
BY MICROWAVE TECHNIQUE**

**SAIFON MORATHOB**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2003  
ISBN 974-324-344-5**

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
-----

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิค  
ไมโครเวฟ  
FEASIBILITY STUDY ON PREGELATINIZATION BANANA FLOUR  
BY MICROWAVE TECHNIQUE

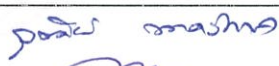


ชื่อนักศึกษา              นางสาวสายฝน โมราถบ

รหัสประจำตัว            44066010

หลักสูตร                  วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา                วิทยาศาสตร์การอาหาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์    รศ.ดร.วุฒิชัย      นาครัถกษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วุฒิชัย      นาครัถกษา	
ดร.พอใจ            ถามาทร	
ดร.กิตติชัย        บรรจง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 8 เมษายน 2546 เวลา 10.00-2.00 น.

สถานที่สอบ ณ สัมมนา ห้อง D213 อาคารเจ้าคุณทหาร



วันที่.....14.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ
นักศึกษา	สายฝน โมราถบ
รหัสประจำตัว	44066010
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การอาหาร
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา

### บทคัดย่อ

จากการนำแป้งจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80-90 เปอร์เซ็นต์ มาปรับให้มีปริมาณความชื้น 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ นำมาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟความถี่ 2450 MHz เป็นเวลา 8 16 และ 24 นาที วางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบแฟคทอเรียลสุ่มสมบูรณ์ พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ความร้อน และอิทธิพลของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการให้ความร้อน 8 นาที มีระดับการเกิดเจลลาติไนซ์สูงสุด 83.89 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพล high positive (  $r = 0.758$  ) และเวลาในการให้ความร้อนมีอิทธิพล low negative (  $r = -0.179$  ) เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการพบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายน้ำ (  $r = 0.900$  ) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (  $r = 0.913$  ) ความคงทนต่อแรงเฉือน (  $r = 0.936$  ) ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง (  $r = -0.888$  ) และความคงตัวของแป้งสุก (  $r = -0.882$  ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $\alpha = 0.05$  เช่นเดียวกับผลของคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของของผสม(paste) เมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนคนด้วย Rapid visco analyzer (RVA) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อค่า peak viscosity (  $r = -0.992$  ) break down (  $r = -0.931$  ) final viscosity (  $r = -0.949$  ) setback (  $r = -0.939$  ) peak time (  $r = 0.922$  ) แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่า trough และ pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $\alpha = 0.05$  เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแป้งกล้วยดิบและแป้งกล้วยที่ผ่านการดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ที่ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ที่เดียวกัน พบว่าแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์มีขนาดเม็ดแป้ง(granule)ใหญ่กว่าแป้งกล้วยดิบและแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์เมื่อตรวจด้วยเครื่อง SEM ในส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดแป้งเมื่อตรวจด้วย X-ray diffraction มีความแตกต่างกัน และมีค่า peak viscosity , trough , final viscosity, setback , peak time และ pasting temperature สูงกว่าแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์

<b>Thesis Title</b>	Feasibility Study on Pregelatinization Banana Flour by Microwave Technique
<b>Student</b>	Ms. Saifon Morathob
<b>Student ID</b>	44066010
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Programme</b>	Food Science
<b>Year</b>	2003
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Woattichai Narkrugsa

### Abstract

Pregelatinization of banana (Musa AB,80 – 90%matuarity) flour by microwave technique was studied by vary initial moisture content (30,40 and50%) and heating time (8,16 and 24 min.) The degree of gelatinization was inspected. At 50% initial moisture and 8 minutes of heating time had the highest %degree of gelatinization 83.89%. When analyzed correlation coefficient ( r ) found initial moisture had the high positive effect ( r = 0.758 ) and heating time had the low negative effect ( r = -0.179 ) at  $\alpha = 0.05$  to %degree of gelatinization . The examined some physicochemical properties of pregelatinized microwave banana flour found the effect of initial moisture to water solubility index ( r = 0.900 ) , water absorption index ( r = 0.913 ) and shearing stability ( r = 0.936 ) in high positive while freeze thaw stability ( r = -0.888 ) and gel consistency ( r = -0.882 ) in high negative . Studied the paste charcateristics by Rapid visco analyzer (RVA), the results showed that the initial moisture content had high negative effect to peak viscosity ( r = -0.992 ) , break down ( r = -0.931 ) , final viscosity ( r = -0.949 ) and setback ( r = -0.939 ) while high positive to peak time ( r = 0.992) and no effect to trough and pasting temperature at  $\alpha = 0.05$  . Comparing with native banana flour , microwave pregelatinized banana flour and granular cold water soluble banana flour at the same %degree of gelatinzation (83.89%DG.) it was found the microwave pregelatinized banana flour had the granule bigger than native banana flour and granular cold water soluble banana flour . Both of modified flour had the different crystalline region pattern of X – ray diffraction . Microwave pregelatinized banana flour had higher peak viscosity , trough , final viscosity , setback and pasting temperature than granular cold water soluble banana flour .

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษา รวมทั้งได้รับการตรวจทานจาก รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้จัดทำมีความซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณดร.พอใจ ถามากร และ ดร. กิตติชัย บรรจง ที่ให้เกียรติเป็นอาจารย์กรรมการให้แก่ข้าพเจ้า รวมทั้งให้คำแนะนำและความรู้ต่างๆในชั้นเรียน ข้าพเจ้ากราบขอบพระคุณอย่างยิ่ง

ขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ช่วยประสิทธิผลประศาสตร์ความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาในการศึกษาจนกระทั่งข้าพเจ้ามีโอกาสประสบความสำเร็จ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกให้แก่ข้าพเจ้าในงานปฏิบัติการ และเจ้าหน้าที่ธุรการในงานเอกสารต่างๆ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลางบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง SEM ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง X - diffraction และเจ้าหน้าที่บริษัทจาร์พา จำกัด ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง RVA

ขอขอบพระคุณพ่อ แม่ ที่เคารพรักที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมา ขอขอบพระคุณพี่สุชาดา ไม้สนธิ และคุณกฤษณาผู้ร่วมงานที่ร่วมทุกข์และสุขกันมาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่สิริรัตน์ นาประเสริฐ ที่เอื้อเฟื้อโปรแกรมทางสถิติพร้อมให้คำแนะนำในการทำเล่ม พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขสิ่งที่ผิดพลาด ขอขอบคุณคุณคุณสันติธรรม โชติประทุม ที่ช่วยเหลือพร้อมกำลังใจที่ให้ตลอดมา ขอขอบคุณคุณทนายวุฒิ ปริญญาพัฒนบุตร และคุณศศิพร รัตนสุวรรณ ที่ช่วยเหลือในการผลิตวัตถุดิบ ขอขอบคุณที่ร่วมสถาบันทุกท่าน และทุกกำลังใจที่ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คุณค่าและประโยชน์ของงานวิจัยนี้ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ข้าพเจ้าจะรำลึกถึงความกรุณาของทุกท่านไว้ในใจตลอดไป

สายฝน โมราถบ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล้วย.....	3
2.2 แบ่งกล้วย.....	6
2.2.1 วิธีการผลิตแบ่งกล้วย.....	6
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบ่งกล้วย.....	7
2.3 การดัดแปรแบ่ง.....	12
2.3.1 การดัดแปรแบ่งพรีเจลลลาตินไนซ์.....	13
2.3.2 การดัดแปรแบ่งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ.....	10
2.4 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแบ่งหลังผ่านไมโครเวฟ.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 วัตถุประสงค์.....	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	29
3.3 สถานที่ทดลอง.....	30
3.4 วิธีการดำเนินงาน.....	30

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	56
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี.....	63
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ.....	72
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาตินไนซ์.....	76
ภาคผนวก ง ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ.....	79
ภาคผนวก จ ตารางค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	85
ภาคผนวก ฉ วิธีการตัดแปรแป้งกล้วยด้วยต่างและแอลกอฮอล์.....	88
ภาคผนวก ช เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยด้วย RVA.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	98

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สภาวะดัดแปรแป้งกล้วยละลายน้ำเย็นด้วยต่างและแอลกอฮอล์ต่อความสามารถในการละลายน้ำเย็น.....	19
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว่าจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์.....	35
4.2 ปริมาณสตาร์ช อะไมโลส และน้ำตาลทั้งหมดของแป้งกล้วยน้ำว่าจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์.....	35
4.3 ค่าระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ เซชัน ความชื้น และอุณหภูมิของแป้งกล้วยพีเจลลาคีไนซ์หลังผ่านกระบวนการไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ.....	38
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์.....	38
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ.....	43
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของผสม (paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคน.....	48
4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยน้ำว่าดิบ แป้งกล้วยพีเจลลาคีไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์.....	50
4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบวมเส้นโค้งความหนืดจากการตรวจด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) ของแป้งกล้วยน้ำว่าดิบ แป้งกล้วยพีเจลลาคีไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ และแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและ แอลกอฮอล์.....	51
ก1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส.....	69
ก2 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช.....	71
ค1 ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์.....	78
ง1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์เซชันของแป้งกล้วยพีเจลลาคีไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	79

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง2 วิเคราะห์ความแปรปรวนอุณหภูมิที่เกิดจากไมโครเวฟของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	79
ง3 วิเคราะห์ความแปรปรวนความชื้นสุดท้ายของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	80
ง4 วิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	80
ง5 วิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	81
ง6 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	81
ง7 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	82
ง8 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวของแป้งสุกของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	83
ง9 วิเคราะห์ความแปรปรวนค่าต่างๆบนกราฟความหนืดจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	84
จ1 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	86
จ2 ค่าคุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนคนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีโนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....	87

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ลักษณะสสารของแป้งกล้วยดิบ และแป้งกล้วยสุก.....8
2.2	ความสามารถในการอุ้มน้ำและการพองตัวของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo....10
2.3	ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo.....10
2.4	ความคงทนต่อแรงเฉือน และคุณสมบัติด้านความเหนียวของของผสม ของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo.....11
2.5	X-ray diffraction patternของแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo.....11
2.6	ลักษณะของเม็ดแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรและแป้งผ่านการตัดแปร ด้วยต่างและแอลกอฮอล์.....16
2.7	ลักษณะโครงสร้างในส่วนผลึกของเม็ดแป้งก่อน และหลังตัดแปรด้วยต่างและ แอลกอฮอล์.....17
2.8	DSC thermogram ของแป้งข้าวโพดละลายน้ำเย็นตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นของของผสม 25 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 25-100 องศาเซลเซียส อัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที.....17
2.9	Amylogram ของแป้งข้าวโพดและแป้งข้าวโพดเหนียวตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ และแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวโพดเหนียวธรรมชาติ.....18
2.10	กราฟความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยตัด แปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์.....19
2.11	กราฟปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมหลังการละลายของแป้งกล้วยตัดแปรด้วยต่าง และแอลกอฮอล์.....20
2.12	กราฟคุณสมบัติของของผสมเมื่อผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคนด้วย Branbender viscosity ของแป้งมันสำปะหลังผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่ม ต้นระดับต่างๆ.....23
2.13	ลักษณะในส่วนผลึกของเม็ดแป้งเมื่อตรวจด้วย X-ray diffraction ของแป้งมันสำปะหลังที่ ไม่ผ่านไมโครเวฟ และผ่านไมโครเวฟ.....24
2.14	ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อตรวจด้วย SEM ของแป้งมันสำปะหลังผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณ ความชื้นเริ่มต้น 2 และ ปริมาณความชื้น35%, แป้งมันสำปะหลังที่ความชื้นเริ่มต้น 2% และปริมาณความชื้นเริ่มต้น 35%.....25

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.15	กราฟคุณสมบัติของของผสมเมื่อผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคนด้วย Branbender viscosity ของแป้งข้าวโพดธรรมชาติ และผ่านไมโครเวฟ.....26
2.16	X-ray diffraction pattern ของแป้งที่ผ่านไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับแป้งธรรมชาติ.....27
2.17	DSC thermogram ของแป้งธัญพืชธรรมชาติ และแป้งธัญพืชที่ผ่านไมโครเวฟ.....28
3.1	แสดงขั้นตอนการผลิตแป้งกล้วย.....31
3.2	แสดงขั้นตอนการผลิตแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ.....33
4.1	ระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ของแป้งกล้วยที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....36
4.2	ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....39
4.3	ความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....40
4.4	ความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....41
4.5	ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....42
4.6	ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....44
4.7	เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....45
4.8	ความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้งของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....46
4.9	ความหนืดสุดท้ายของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....47
4.10	ความหนืดจากการจัดเรียงตัวของเม็ดแป้งของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ.....48

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11	การเปลี่ยนแปลงค่าบวเส้นโค้งความหนืดของแป้งกล้วยธรรมชาติ MPBF และ GCWSBF.....51
4.12	ลักษณะของเม็ดแป้งกล้วยด้วยเครื่อง SEM ของแป้งกล้วยธรรมชาติ กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า MPBF กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า และ GCWSBFกำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า.....53
4.13	ลักษณะในส่วนผลึกของแป้งกล้วยธรรมชาติ MPBF และ GCWSBF จาก X-ray diffraction pattern.....54
ก1	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส.....70
ก2	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด.....71
ข1	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการตรวจความหนืดของแป้งด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer : RVA).....74
ค1	กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์.....78
ฉ1	ขั้นตอนการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิคเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นด้วยต่างและแอลกอฮอล์.....89
ช1	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที.....91
ช2	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที.....91
ช3	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที.....92
ช4	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที.....92
ช5	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที.....93
ช6	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที.....93
ช7	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที.....94

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ช8	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที.....94
ช9	เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที.....95
ช10	เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที.....95
ช11	เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที.....96
ช12	เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที.....96
ช13	เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาตินซ์ ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที.....97

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กล้วยเป็นพืชเมืองร้อนที่ปลูกได้ทั่วทุกพื้นที่ในประเทศไทยแถบเส้นศูนย์สูตรรวมทั้งประเทศไทย เป็นพืชที่รู้จักกันดีทั่วโลก ประเทศไทยสามารถปลูกกล้วยได้มากมายหลายชนิดและปลูกได้ตลอดทั้งปี กล้วยน้ำว้าจัดเป็นกล้วยชนิดหนึ่งที่มีการเพาะปลูกกันมากในประเทศไทย สามารถใช้รับประทานสดๆหรือนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆได้อีกมากมาย และองค์ประกอบสำคัญของกล้วยดิบ คือ แป้ง (starch) ในปริมาณสูง จึงได้มีการนำกล้วยดิบนั้นมาผลิตเป็นแป้งกล้วย โดยการนำกล้วยดิบมาทำให้แห้ง และบดละเอียดก็จะได้แป้งกล้วย ซึ่งสามารถนำไปผลิตอาหารต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยการนำไปทดแทนการใช้แป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง เค้ก คุกกี้ โดนัท หรือนำมาแปรรูปเป็นขนมไทย เช่น ขนมถ้วย ขนมข้าวตุก ขนมลูกชุบ เม็ดขนุน ขนมดอกจอก ขนมดอกกลาดวน ขนมกง ข้าวเกรียบแป้งกล้วย ทอฟฟี่แป้งกล้วย และขนมหม้อแกง ด้วยทอง แต่แป้งกล้วยก็ยังมีคุณสมบัติที่เป็นข้อเสียบางประการทำให้แป้งกล้วยไม่เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ มีความต้านทานต่อแรงเฉือนต่ำ มีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายน้ำแข็งต่ำ มีความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการละลายน้ำไม่สูง ดังนั้นการนำแป้งกล้วยมาดัดแปรจึงเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวของแป้งกล้วยเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้มากขึ้น ซึ่ง Bello – Perez และคณะ (2000) ได้ทำการดัดแปรแป้งกล้วยโดยวิธีการทางกายภาพด้วยต่างและเอทานอล ทำให้แป้งกล้วยมีคุณสมบัติดังกล่าวมานั้นดีขึ้น แต่การดัดแปรแป้งด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นมีข้อเสียคือต้องใช้เวลาและสารเคมีจำนวนมากในการผลิต ดังนั้นในการศึกษานี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหลักการไมโครเวฟมาใช้ดัดแปรแป้งกล้วย และเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งกล้วยดัดแปรด้วยหลักการไมโครเวฟกับแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและเอทานอลว่ามีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันหรือไม่ ซึ่งการดัดแปรแป้งด้วยหลักการไมโครเวฟนั้นมีข้อดีว่าการดัดแปรแป้งด้วยต่างและเอทานอล เนื่องจากใช้เวลาในการดัดแปรสั้น ไม่ต้องใช้สารเคมี มีต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งการดัดแปรแป้งกล้วยนี้จะสามารถนำแป้งกล้วยมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้มากขึ้น

## 1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์การศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาอัตราการเกิดเจลลาตินไนซ์ (degree of gelatinization , %) ของแป้งกล้วยเมื่อผ่านกระบวนการไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆกัน
- 1.2.2 ศึกษาผลของปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ด้วยไมโครเวฟ
- 1.2.3 ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟกับแป้งกล้วยดัดแปรด้วยเทคนิคเม็ดแป้งละลายได้ในน้ำเย็น(Granular cold water soluble starch : GCWSS) และแป้งกล้วยดิบ (native banana flour)

## 1.3. ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 8 16 และ 24 นาที ต่ออัตราการเกิดเจลลาตินไนซ์ และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยน้ำว่าในด้านต่างๆ จากนั้นทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างๆ ลักษณะเม็ดแป้ง และลักษณะในส่วนผลึกของเม็ดแป้งของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ด้วยไมโครเวฟ กับแป้งกล้วยละลายน้ำเย็น (Granular cold water soluble : GCWS) ที่ดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ที่อัตราการเกิดเจลลาตินไนซ์ใกล้เคียงกับ และแป้งกล้วยธรรมชาติ (native banana flour)

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1. กล้วย

กล้วยจัดเป็นพืชสวนล้มลุกตระกูล (genus) *Musa* วงศ์ (family) *Musaceae* มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กล้วยสามารถปลูกได้ทุกพื้นที่และทุกภูมิภาคของประเทศ เป็นพืชที่ปลูกง่าย โตเร็ว ดูแลรักษาง่าย ทนสภาพดินฟ้าอากาศ อีกทั้งยังเป็นสินค้าส่งออกของประเทศ กล้วยที่นิยมปลูกกันแพร่หลายภายในประเทศได้แก่ กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้า ประเทศไทยมีผลผลิตกล้วย 1.72 ล้านเมตริกตัน จัดอยู่ในอันดับที่ 16 ของโลก และอันดับที่ 5 ของทวีปเอเชีย รองจากอินเดีย จีน ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย (FAO , 2000 )

#### 2.1.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า [ *Musa* ( ABB group ) ] “ Kluai Nam Wa “ มีชื่ออื่นเรียกตามภูมิภาคว่า กล้วยโต กล้วยตานีช่อง กล้วยมะลิช่อง มีชื่อสามัญว่า Pisang Awak กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้น ปลายบ้านด้านบนสีแดงอมม่วงมีขน เครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10 – 16 ผล ผลมีขนาดใหญ่กว่ากล้วยไข่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 11 – 13 เซนติเมตร มีเหลี่ยม ก้านผลยาว ผลมีขนาดยาวใกล้เคียงกับกล้วยไข่ เปลือกหนากว่ากล้วยไข่ เมื่อสุกเปลือกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื้อสีขาว มีรสหวาน มีแกนกลาง หรือเรียกว่าไส้กลาง มีสีเหลืองชมพู หรือขาว ซึ่งสามารถทำให้แบ่งออกตามสีของแกนกลางได้เป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว กล้วยน้ำว้านั้นสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย เป็นที่นิยมบริโภค (เบญจมาศ ศิลาชัย .2538) ปริมาณการปลูกกล้วยน้ำว้าและผลผลิตในระยะ 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 ถึง ปี พ.ศ. 2544 มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ตลอดระยะเวลา 10 ปีนั้นราคาของกล้วยน้ำว้าไม่ได้สูงขึ้นตามปริมาณการผลิตมากนัก ( กรมส่งเสริมการเกษตร . 2544 )

#### 2.1.2 ดัชนีการเก็บเกี่ยวกล้วยน้ำว้า

การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเมื่อกล้วยมีความแก่ต่างๆกัน ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาการขนส่ง ถ้าหากต้องมีการขนส่งไปยังที่ไกลๆ หรือเพื่อส่งออกที่ต้องใช้เวลาเดินทางนาน ดังนั้นตลาดต่างประเทศจะเก็บเกี่ยวเมื่อผลยังมีเหลี่ยม คือมีความแก่ประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าส่ง

ตลาดภายในจังหวัดหรือบริเวณใกล้เคียงควรเก็บเกี่ยวผลที่แก่เต็มที่ ซึ่งจะสุกภายในไม่ถึงสัปดาห์ ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยนอกจากจะใช้การสูญเสียเหลี่ยมของผลกล้วยแล้วนั้น เรายังสามารถใช้การนับวันจากวันที่กล้วยแทงปลี เช่น กล้วยที่มีความแก่ 75 เปอร์เซ็นต์ มีเหลี่ยมเห็นชัดนั้นนับจำนวนวันจากวันที่กล้วยแทงปลีไปแล้ว 10 – 14 สัปดาห์ หรือนับจากวันปลุก คือประมาณ 9 เดือน โดยกล้วยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 31 – 41 มิลลิเมตร ( H.Y. Nakasone และ R.E. Paull .1998) โดยกล้วยน้ำว้านิยมนับจำนวนวันตั้งแต่กล้วยแทงช่อดอกหรือแทงปลี ประมาณ 14 – 16 สัปดาห์ กล้วยน้ำว้าที่ได้จะมีความแก่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

เบญจมาศ (2538) แบ่งมาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลดังนี้

Full	หมายถึง ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลยหรือแก่เต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลี ประมาณ 18 สัปดาห์
Full ¾	หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลีประมาณ 17 สัปดาห์
Light Full ¾	หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมเห็นชัด มีความแก่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นับจากวันแทงปลีประมาณ 16 สัปดาห์
Light ¾	หมายถึง ผลที่มีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่ หรือมีความแก่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์นับจากวันแทงปลีประมาณ 15 สัปดาห์

องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะการเจริญเติบโตของกล้วย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อรสชาติของกล้วย ในระยะแรกของการเจริญเติบโตของกล้วยหอมพันธุ์คาเวนดิช ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลนอร์รีดิวซ์ซึ่งต่ำมาก และหลังจากนั้น 115 วัน ปริมาณน้ำตาลรวมยังคงต่ำอยู่ แต่เมื่อเริ่มแก่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยจะมีการเพิ่มปริมาณของกลูโคสและฟรักโทส ซึ่งการเพิ่มปริมาณของน้ำตาลอย่างรวดเร็วในผลกล้วยนี้จึงสามารถเป็นวิธีบอกความแก่ของกล้วยได้หลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ส่วนปริมาณแป้งในเนื้อกล้วยนั้นจะเพิ่มขึ้นจนเมื่อกล้วยมีอายุประมาณ 70 วัน จึงจะเริ่มลดลง ส่วนปริมาณของน้ำตาลทั้งหมดสูงขึ้นและหยุดการเจริญของกล้วย ( ดนัย บุญยเกียรติ . 2540 )

วิไลลักษณ์ รัตอาภา และคณะ (2532) ทำการศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยในกลุ่ม ABB บางพบว่ากล้วยที่มีอายุประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ของอายุกล้วยสุกมีปริมาณแป้งมากที่สุด และน้ำตาลน้อยที่สุด และเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นแป้งจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นน้ำตาล และเมื่อกล้วยแก่ 90 เปอร์เซ็นต์ของอายุกล้วย ปริมาณแป้งจะลดลงจนกระทั่งกล้วยสุก แต่ปริมาณน้ำตาลกลับสูงขึ้น ดังนั้นกล้วยที่มีอายุ 75 เปอร์เซ็นต์ของอายุกล้วยสุก เหมาะสมที่จะนำมาทำแป้งกล้วย

สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น (2545) นำกล้วยที่ระยะความแก่ 4 ระดับมาทำการผลิตแป้งกล้วย คือที่ระดับความแก่ 70 80 90 และ 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาทำการหาปริมาณแป้ง (starch) พบว่าแป้งที่ระดับความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณแป้ง (starch) สูงที่สุดคือ 66 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งกล้วย

Ketiku (1973) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบ และ กล้วยสุก พันธุ์ *Musa paradisiaca* ทั้งเปลือกและเนื้อ พบว่าในระหว่างการสุก ปริมาณน้ำตาล ทั้งหมดจะสูงขึ้นจาก 3.0 เป็น 31.6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในเปลือก และสูงขึ้นจาก 1.3 เป็น 17.3 เปอร์เซ็นต์ในเนื้อกล้วย ในขณะที่ปริมาณแป้งของผิวกล้วยจะลดลงจาก 50 เป็น 35 เปอร์เซ็นต์ และ 83 เป็น 66 เปอร์เซ็นต์สำหรับเนื้อกล้วย ที่ผิวกล้วยนั้นจะมีเซลลูโลส 10 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าในเนื้อกล้วยที่มีเซลลูโลส 1.4 เปอร์เซ็นต์ และเฮมิเซลลูโลส 1.3 เปอร์เซ็นต์

Salunkhe และ Desai (1986) พบว่าระหว่างการสุกของกล้วยนั้นปริมาณความชื้นของ กล้วยจะสูงขึ้นจาก 69 เป็น 74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้เกิดจากกระบวนการ หายใจ ที่ผลผลิตจากปฏิกิริยาจะได้น้ำ และเกิดการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตทำให้อัตราส่วนของ คาร์โบไฮเดรตในเนื้อต่อเปลือกเปลี่ยนจาก 1.2 – 1.6 ในกล้วยดิบ เป็น 2.0 ถึง 2.7 ในกล้วยสุก

Seymour (1993) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งกล้วย พบว่า แป้ง กล้วยมีปริมาณอะไมโลส 16 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของเม็ดแป้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 – 60 ไมโครเมตร กล้วยแก่ที่ยังไม่สุกจะมีแป้งประมาณ 20 – 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อกล้วย เมื่อ กล้วยเริ่มสุกแป้งจะถูกย่อยสลาย และเกิดเป็นน้ำตาล ได้แก่ ซูโครส ฟรักโทส และกลูโคส และ ยังพบมอลโตสในปริมาณเล็กน้อย

Kotecha และ Desai (1995) ได้ศึกษาพบว่าแป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตหลักในกล้วยดิบ ใน ระหว่างการสุกของกล้วยนั้น แป้งจะถูกไฮโดรไลซ์เหลือเพียง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ของกล้วยสุก น้ำ ตาลจะสูงขึ้น 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ของกล้วยดิบ เป็น 15 – 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเนื้อกล้วยสุก ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดจะลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการสุกไปกับกระบวนการ หายใจ

## 2.2. แป้งกล้วย

แป้งกล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ทำจากผลกล้วยดิบ เพราะในกล้วยดิบจะพบแป้งที่เป็นองค์ ประกอบในปริมาณที่สูง แป้งกล้วยมีการทำและขายในตลาดท้องถิ่นมาก่อน และเริ่มทำเป็นอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ. 1982 ในประเทศอียิปต์ด้วยกล้วยหอมกลุ่มคาเวนดิช และมีการผลิตแป้ง

กล้วยกันเพิ่มมากขึ้นเป็นอุตสาหกรรมในประเทศอิตาลี มีการผลิตประมาณปีละ 850 ตัน และประเทศคอสตาริกามีการผลิตปีละประมาณ 2,700 ตัน เพื่อใช้เป็นอาหารของเด็กทารก และคนชรา ปัจจุบันการนำกล้วยมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วยนับเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจเพราะมีประชากรโลกจำนวนมากที่ใช้บริโภคแทนข้าว และล้วนเป็นประเทศที่มีปัญหาในด้านการผลิตซึ่งมีความต้องการในการนำเข้าสูงมาก เพื่อความมั่นคงทางอาหารของประเทศ ( เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ . 2542 )

### 2.2.1 วิธีการผลิตแป้งกล้วย

จรรยา อุณสุวรรณ (2530) ทำการผลิตแป้งกล้วยน้ำว่าโดยการตากแดดและใช้ลูกกลิ้งร้อน (drum dryer) โดยนำกล้วยน้ำว่าดิบล้างน้ำ นึ่ง 10 – 20 นาที แล้วปอกเปลือก จากนั้นทำการตัดเนื้อกล้วยเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ นำไปแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชด้วยกรดซิตริกให้ได้ 3.3 นำเนื้อกล้วยมาแช่นาน 5 นาที จากนั้นนำไปตากแดดจนแห้ง บดให้เป็นผง นำไปบรรจุและปิดสนิทก็ได้แป้งกล้วย ส่วนวิธีการใช้ลูกกลิ้งร้อนนั้นทำได้โดย นำกล้วยน้ำว่าดิบมาล้างน้ำ นึ่งในหม้อความดันไอน้ำ 5 – 8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ประมาณ 3 – 5 นาที ปอกเปลือก หั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นบางๆตามขวาง เติมน้ำและโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอชด้วยกรดซิตริกให้ได้ 3.3 แล้วบดรวมกัน จากนั้นเทเข้าเครื่องลูกกลิ้งร้อนที่ 55 – 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หลังจากนั้นก็บดเป็นผง ได้แป้งกล้วยบรรจุในภาชนะแล้วปิดให้สนิท

ญาณิศา รัตตภาภา และคณะ (2536) ศึกษาผลของความร้อนในการนึ่งกล้วยที่อุณหภูมิ 250 องศาฟาเรนไฮต์ เพื่อช่วยในการปอกเปลือกและหั่นเนื้อกล้วยเป็นชิ้นเล็กๆ พบว่าควรนึ่งกล้วยนาน 1 นาที เพื่อให้การปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆง่ายขึ้น จากนั้นนำกล้วยที่หั่นเป็นชิ้นลูกเต๋ายาวขนาด 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แช่ในสารละลายโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปรับพีเอช 3.3 ด้วยกรดซิตริก นาน 4 นาที นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 – 55 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง บดด้วยเครื่อง hammer mill และ pin mill จะได้แป้งกล้วยที่มีลักษณะขาวนวล

เบญจมาศ ศิลาอ้อย (2538) ผลิตแป้งกล้วยน้ำว่าโดยการนำกล้วยน้ำว่าดิบล้างน้ำ นึ่ง 5 นาที ทำให้เย็น ปอกเปลือก หั่นเป็นแว่นๆ และแช่ในสารกันบูด 0.01 เปอร์เซ็นต์ ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นทำให้แห้งต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที บดด้วยเครื่องบด

กรรณา วงษ์กระจ่าง และคณะ (2539) พบว่าการนึ่งกล้วยนั้นมิผลทำให้แป้ง (starch) บางส่วนเกิดการเจลลาคีโนซิส และทำให้แป้งกล้วยที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น แต่ความสามารถในการอุ้มน้ำมันลดลง นอกจากนี้การนึ่งกล้วยยังมีผลทำให้แป้งกล้วยมีค่าสีแดงและสีเหลืองสูงขึ้น

Crowther (1979) ทำการผลิตแป้งกล้วยโดยนำกล้วยที่มีความแก่ Full  $\frac{3}{4}$  มาล้างน้ำเย็น หลังจากนั้นนำไปจุ่มน้ำอุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส และ 70 – 75 องศาเซลเซียส นาน 5 – 6 นาที ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นหนา  $\frac{1}{4}$  นิ้ว รมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 20 – 25 นาที ทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นาน 7 – 8 ชั่วโมง จนความชื้นเหลือ 8 เปอร์เซ็นต์ บดให้ละเอียด ได้แป้งกล้วย

Whistler (1998) ทำการผลิตสตาร์ชจากกล้วยโดยการนำกล้วยดิบมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร บดรวมกับโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ พีเอช 4.5 ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสนาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เอนไซม์เพคตินเนส (pectinase) และโพลีกาแลคทูโรเนส (polygalacturonase) ย่อยผนังเซลล์เนื้อกล้วย เพื่อให้เม็ดสตาร์ชหลุดออกมา นำไปกรองผ่านตะแกรงขนาด 70 ไมโครเมตร และทำการหมუნเหวี่ยงแยกเพื่อแยกสตาร์ชออกจากของผสม นำ

สตาร์ชที่แยกได้มาทำให้แห้ง จะได้ผงสตาร์ชจากกล้วย

Fichtali and et al. (1999) ทำการผลิตสตาร์ชจากกล้วยโดยการนำกล้วยดิบทั้งเปลือก บดรวมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ในอัตราส่วนสารละลายต่อกล้วย 3 ต่อ 1 บดผ่านตะแกรงขนาด 0.15 นิ้ว โดยเครื่อง fitz mill อัตราเร็วในการบด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของสารละลาย 900 ลิตรต่อชั่วโมง จะได้ของผสมกล้วยบดกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไปตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมน้ำลงไป 5 ส่วนต่อของผสม 1 ส่วน กรองเปลือกและกากออกด้วยตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นนำของผสมที่กรองได้ล้างด้วยน้ำ 2.5 ส่วนต่อวัตถุดิบเริ่มต้น 1 ส่วน กรองผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช จะได้สารละลายสตาร์ชออกมา นำมาหมუნเหวี่ยงแยกจะได้สตาร์ช 15 – 20 เปอร์เซ็นต์

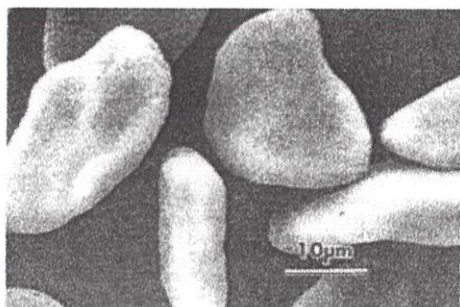
## 2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย

ญาณิศา รัตอาภา และคณะ (2536) ศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยน้ำว่า เมื่อตรวจสอบด้วย brabender viscoamylograph ที่ความเข้มข้นของของผสมแป้งกล้วยกับน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยตรวจสอบที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าแป้งกล้วยน้ำว่ามีค่า peak viscosity และ break down ต่ำแสดงให้เห็นว่าแป้งกล้วยน้ำว่าเกิดการแตกตัวยาก พองตัวน้อย และเม็ดแป้งมีความทนต่อแรงกวน นอกจากนี้แป้งกล้วยน้ำว่ายังมีค่า final viscosity (V50) ต่ำอีกด้วย จึงทำให้ของผสมที่มีลักษณะไม่เหนียวหนืด

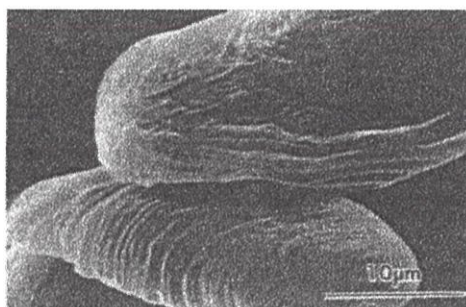
สุดาทิพย์ อินทรชิต (2545) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพด้านต่างๆของแป้งกล้วยน้ำว่า โดยเมื่อนำเม็ดแป้งกล้วยไปทำการส่องด้วยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าเม็ดกล้วยน้ำว่ามีรูปร่างเป็นวงรี และมีรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดเฉลี่ย 27 – 45 ไมโครเมตร

เมื่อกล้วยมีระยะความแก่มากขึ้น พบเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่มากขึ้น โดยเมื่อกล้วยมีความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์จะมีปริมาณอะไมโลสและสตาร์ชสูงสุด 21 – 23 เปอร์เซ็นต์และ 60 – 66 เปอร์เซ็นต์ แป้งกล้วยที่ได้นั้นเมื่อนำไปตรวจสอบความคงทนต่อแรงเจียนต่ำประมาณ 10.46 เปอร์เซ็นต์ และมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายต่ำ โดยมีน้ำแยกออกจากส่วนผสม 67 – 75 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการดูดซับน้ำประมาณ 150 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าแป้งกล้วยนั้นมีความสามารถในการละลายต่ำเพียง 0.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำแป้งกล้วยไปทดสอบความต้านทานความหนืดด้วยเครื่อง rapid visco analyzer ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 95 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งกล้วยมี peak temperature 88 องศาเซลเซียส และ peak time 8 นาที

Kayisu และคณะ (1981) ศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ชจากกล้วย พบว่าแป้งจากกล้วยดิบประกอบด้วยสตาร์ช 78.0 เปอร์เซ็นต์ และแป้งจากกล้วยสุกประกอบด้วยสตาร์ช 16.1 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของสตาร์ชมีรูปร่างทรงกลม และแท่งยาว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 – 25 ไมโครเมตร และยาว 20 – 50 ไมโครเมตร พื้นผิวของสตาร์ชจากกล้วยดิบมีลักษณะเรียบ ในขณะที่เม็ดสตาร์ชจากกล้วยสุกมีลักษณะเป็นริ้วๆซึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส. ในระหว่างการสุกของกล้วย



(A)



(B)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะสตาร์ชของ (A) แป้งกล้วยดิบ และ (B) แป้งกล้วยสุก

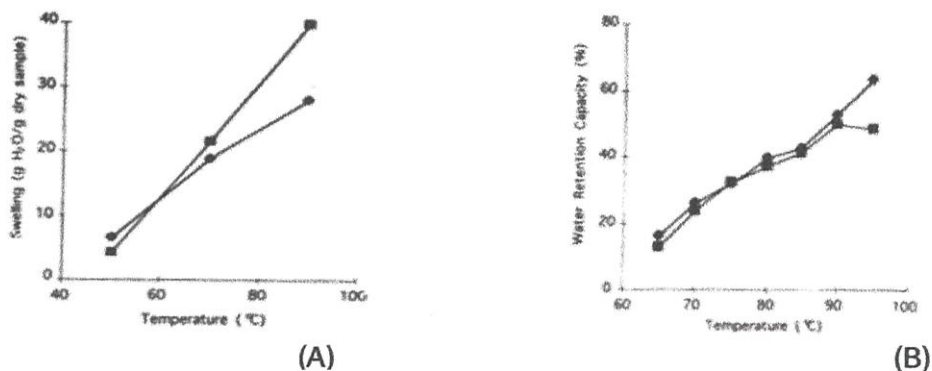
ที่มา : Kayisu และคณะ (1981)

เมื่อผสมสตาร์ชกับน้ำที่ความเข้มข้นต่ำพบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะความหนืดต่ำ ไม่พบการเกิด peak viscosity และเกิดความหนืดเล็กน้อยในระหว่างการให้ความร้อน โดยแป้งกล้วยเกิดการพองตัวเล็กน้อย จึงมีความแข็งแรงมากพอที่จะต้านทานการกวนได้ หลังจากนั้นเมื่อลดอุณหภูมิลงความหนืดจะเพิ่มสูงขึ้น และพบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์อยู่ในช่วง 67 – 70 องศาเซลเซียส

Lii และคณะ (1982) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชจากกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆกันพบว่าเม็ดสตาร์ชเมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงธรรมดา (normal

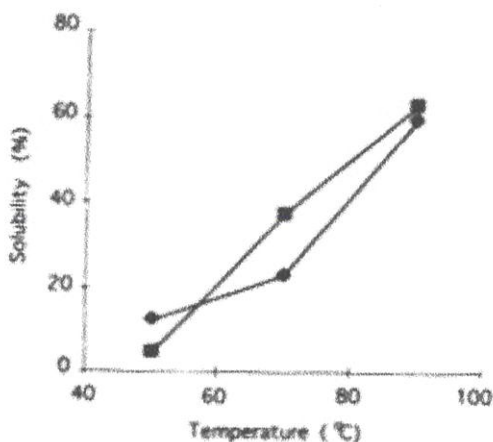
light) มีรูปร่างเป็นวงรี และรูปร่างไม่แน่นอน (irregular shape) และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) พบการเกิดลักษณะของไบรีฟรินเจน (birefringence) เม็ดสตาร์ชมีขนาดอยู่ระหว่าง 6 – 80 ไมโครเมตร สตาร์ชจากกล้วยมีกำลังการพองตัวน้อยมาก ส่วนความสามารถในการละลายน้ำก็ต่ำเช่นเดียวกัน นอกจากนี้คุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมสตาร์ชจากกล้วยกับน้ำ เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง brabender viscoamylograph ที่อุณหภูมิ 35 – 95 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที พบว่าของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้นไม่พบ peak viscosity เนื่องจากสตาร์ชมีการพองตัวน้อย จึงมีความหนืดเกิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่การตรวจสอบของของผสมสตาร์ชที่ความเข้มข้นสูงๆพบ Peak viscosity ในระหว่างการให้ความร้อน และเมื่อลดอุณหภูมิจะเกิดการ set back ขึ้น และเมื่อตรวจสอบสตาร์ชจากกล้วยที่มีระยะเวลาสุกต่างๆกัน พบว่ามีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 74 – 83 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าภายในสตาร์ชมีการจัดเรียงตัวอย่างแข็งแรง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชมีการพองตัวในระหว่างการให้ความร้อนน้อย ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำละลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชจึงสามารถดูน้ำและพองตัวได้

Bello – perez และคณะ (1999) ศึกษาคุณสมบัติของแป้งกล้วยจากกล้วย 2 สายพันธุ์คือ มาร์โช (Marcho) และคริโอโล (Criollo) ที่ผ่านกระบวนการบดเปียก พบว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่า Blue value และ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด ( $\lambda_{max}$ ) แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ากล้วยทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินต่างกัน มีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายต่ำ แป้งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์นี้มีคุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำ ความสามารถในการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวแตกต่างกันเล็กน้อย (ภาพที่ 2.2 และ 2.3)



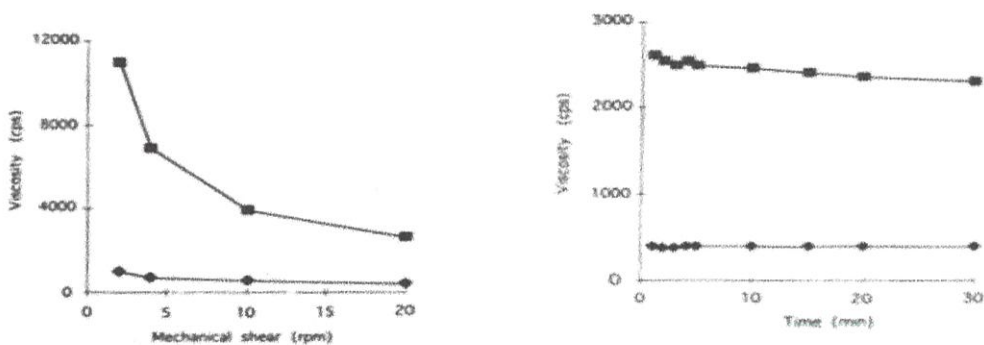
ภาพที่ 2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ(A) และการพองตัว (B) ของแป้งกล้วยพันธุ์Marcho (■) และ Criollo (◆)

ที่มา : Bello – perez และคณะ (1999)



ภาพที่ 2.3 ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพันธุ์Marcho (■) และ Criollo (◆)  
ที่มา : Bello – perez และคณะ (1999)

เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืด และความคงทนต่อแรงเฉือนของของผสมแป้งกับน้ำด้วย brookfield viscometer ด้วย spindle No.3 พบว่าเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง (ภาพที่ 2.4)



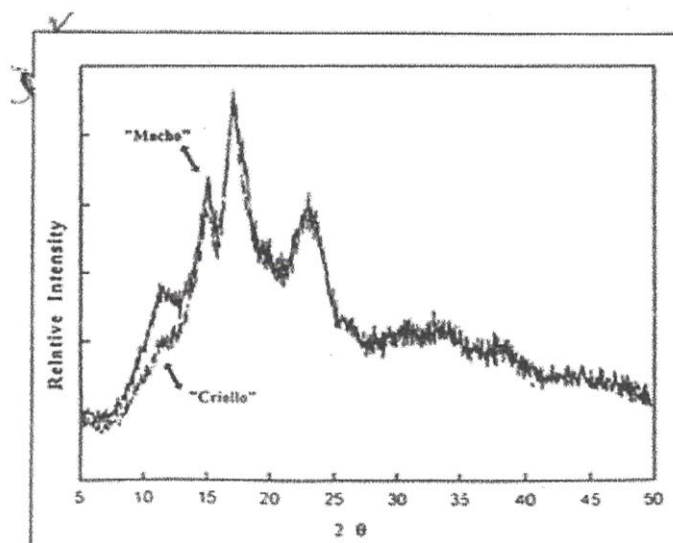
(A)

(B)

ภาพที่ 2.4 ความคงทนต่อแรงเฉือน (A) และ คุณสมบัติด้านความหนืด (B) ของของผสมแป้ง  
กล้วยพันธุ์Marcho (■) และ Criollo (◆)

ที่มา : Bello – perez และคณะ (1999)

โดยในปี 2000 Bello – perez และคณะ ทำการศึกษาคุณสมบัติของแป้งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์นี้เพิ่มเติม พบว่า สตาร์ชจากกล้วยพันธุ์มาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนในกระบวนการเจลลิตไนซ์สูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยพันธุ์คริโอโล เมื่อนำสตาร์ชจากแป้งกล้วยทั้ง 2 ชนิดนี้ไปทำการจำแนกชนิดสตาร์ชด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) พบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบดิแฟรกชัน (diffraction pattern) แบบ A (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5. X – ray diffraction pattern ของแป้งกล้วยพันธุ์ Macho และ Criollo  
ที่มา : Bello – perez และคณะ (2000)

Mota และคณะ (2000) ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วย 8 สายพันธุ์ พบว่าแป้งกล้วยประกอบด้วยสตาร์ช 61 – 76.5 เปอร์เซ็นต์ อะไมโลส 19 – 23 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.5 – 3.3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้น 4 – 6 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.3 – 0.8 เปอร์เซ็นต์ และเยื่อใย 6 – 15.5 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติในการเกิดเจลลาติโนเซชันแตกต่างกันเล็กน้อย โดยมีคุณสมบัติในการเกิดเจลลาติโนเซชัน 68 – 76 องศาเซลเซียส จากการตรวจสอบคุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมแป้งกล้วยกับน้ำด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) สามารถจำแนกชนิดของแป้งกล้วยโดยพิจารณาเส้นโค้งความหนืดได้ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวน แบบที่ 2 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวนและมีความหนืดสูง และแบบที่ 3 แป้งกล้วยที่มีความคงทนต่อการกวนต่ำ

Muyonga และคณะ (2002) พบว่าการให้ไอน้ำแก่กล้วยก่อนการอบแห้งมีผลทำให้แป้งกล้วยที่ได้มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำ ความหนาแน่นและการละลายสูงขึ้น แต่ค่าความหนืด สี และปริมาณวิตามิน ซี นั้นลดลง

### 2.2.3. การใช้ประโยชน์จากแป้งกล้วย

ญานิตา รัตธากา และคณะ (2536) ได้นำแป้งกล้วยน้ำว้ามาใช้ในการประกอบอาหารโดยใช้แป้งกล้วย 25 เปอร์เซ็นต์ ของแป้งกล้วยทั้งหมดในขนมกล้วย ขนมเหนียว ขนมถั่วแปบ และขนมต้มขาว ซึ่งผู้ชิมชอบและให้การยอมรับ ส่วนการใช้แป้งกล้วยในขนมข้าวตุกและขนมถั่วฝักยาวนั้นยังไม่เป็นที่ยอมรับ

วัลย์ หุตะโกวิท และคณะ (2542) นำแป้งกล้วยมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในขนมอบ ได้แก่ ขนมปัง เค้ก คุกกี้ และโดนัท ซึ่งแป้งกล้วยสามารถทดแทนแป้งสาลีได้ 25 , 25 , 50 และ 25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และแป้งกล้วยสามารถนำมาใช้ในการผลิตขนมเบี๊ยะได้ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้ชิม หากใช้แป้งกล้วยในปริมาณที่มากกว่านี้จะทำให้ขนมมีสีคล้ำ และร่วนซุย นอกจากนี้ยังสามารถใช้แป้งกล้วยในการทำขนมกล้วย ขนมลูกชุบ เม็ดขนุน ทอฟฟี่ แป้งกล้วย และเสริมในขนมหม้อแกงอีกด้วย

### 2.3 การดัดแปรแป้ง (modified starch)

แป้งดัดแปร (modified starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาลี เป็นต้น มาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพจากเดิมด้วยความร้อน สารเคมี หรือเอนไซม์ต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ การใช้แป้งดัดแปรในอุตสาหกรรมอาหารนั้น เกณฑ์ที่กำหนดและลักษณะบ่งชี้ของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกระทรวงอุตสาหกรรม(2535) และทดสอบเกณฑ์ที่กำหนดให้เป็นไปตาม FAO Food and Nutrition Paper (1986)

ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของแป้งมีความสัมพันธ์กับการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร แป้งดิบ ( native starch ) จะมีข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ รวมทั้งในกระบวนการแปรรูปอาหาร แป้งที่พองตัวได้อย่างรวดเร็วจะให้ความหนืดสูงแต่จะไม่มี ความคงตัว ถ้าต้องการกวนหรือคนอย่างรุนแรง หรือเมื่อต้องใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานในระหว่างการแปรรูปอาหาร ในอาหารที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีส่วนประกอบต่างๆที่มีผลต่อลักษณะความหนืดของแป้ง เช่น น้ำตาลจะยับยั้งการพองตัวของแป้งและลดความแข็งแรงของเจล หรือสภาพเป็นกรดมากๆมีผลทำให้ความหนืดของแป้งลดลง เพราะมีการย่อยสลายแป้งด้วยกรด นอกจากนี้ ความคงตัวของแป้งสุกภายใต้สภาวะการแช่แข็งและความคงตัวต่อการละลายก็เป็นข้อจำกัดในการใช้งานของแป้งดิบ

แป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูง จะคงทนต่อสภาวะการแช่แข็งและความคงตัวต่อการละลายได้ดีกว่าแป้งที่มีอะไมโลสสูง ในด้านความมีประจุของเม็ดแป้งซึ่งโดยปกติเม็ดแป้งจะมีประจุเป็นกลาง ถ้ามีการปรับปรุงให้เม็ดแป้งมีประจุบวกหรือลบ ก็เป็นวิธีการเพิ่มขอบเขตการใช้งานของแป้งได้ จากเหตุผลดังกล่าวการดัดแปรแป้งจึงเป็นวิธีการที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งเพื่อเพิ่มขอบเขตการใช้งานโดยวิธีการดัดแปรมีหลายวิธีซึ่งให้ผลต่างกันไป การเลือกชนิดของแป้งและวิธีการดัดแปรขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะที่ต้องการและต้นทุนของกรรมวิธีการดัดแปร โดยวิธีการ

ดัดแปรแป้งที่นิยมนำมาทำแป้งดัดแปรในประเทศไทยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ( กล้าณรงค์ ศรีรอด . 2542 )

### 2.3.1. การดัดแปรแป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch)

การแปรรูปแป้งโดยวิธีนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างน้ำหนักโมเลกุลของแป้ง หรือมีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยสารเคมีแต่อย่างใด เป็นการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะกายภาพเท่านั้น

Colonna และคณะ (1987) กล่าวว่า การดัดแปรแป้งพรีเจลาติไนซ์เป็นการดัดแปรแป้งในระดับโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง โดยการทำให้เกิดอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างโมเลกุลสตาร์ช ด้วยการให้ความชื้น - ความร้อน (heat - moisture treatment) ซึ่งการดัดแปรแป้งในลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการด้วยกันคือ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นของของผสมระหว่างแป้งกับน้ำ และแหล่งที่มาของแป้งว่ามาจากพืชชนิดใด

Gailard (1987) พบว่าผลจากการดัดแปรแป้งด้วยหลักการนี้จะทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งเปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในส่วนของผลิตภัณฑ์บี (B-type) เป็นเม็ดแป้งที่มีลักษณะผสมของชนิดเอ (A-type) และชนิดบี (B-type) หรือที่เรียกกันว่าชนิดซี (C-type) คุณสมบัติของแป้งดัดแปรจะมีความสามารถในการพองตัวลดลง เพิ่มความสามารถในการละลาย โดยเฉพาะสตาร์ชจากธัญพืช แต่ลดความสามารถในการละลายของสตาร์ชจากพืชหัวและพืชราก นิยมใช้พรีเจลาติไนซ์สตาร์ชในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ในการเติมใส่ได้พาย ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภค และเคลือบผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากแป้งชนิดนี้สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

แป้งพรีเจลาติไนซ์เตรียมได้ โดยการทำให้แป้งสุก หรือเจลาติไนซ์ก่อนด้วยการให้ความร้อนแก่แป้งในสภาพที่มีน้ำแล้วทำให้แห้ง โดยผ่านเครื่องทำให้แห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ความร้อนจากผิวหน้าลูกกลิ้งที่ได้จากไอน้ำทำให้เกิดการระเหยไอน้ำออกไป แป้งที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆอบบนผิวหน้าลูกกลิ้งและชูดอกโดยไอน้ำแล้วนำไปอบแห้งทันที จากนั้นทำการบดให้ละเอียด นอกจากนี้การผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์สตาร์ชอีกวิธีหนึ่ง คือการเตรียมน้ำแป้งเข้มข้น 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วส่งเข้าเครื่องทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งความร้อน จะทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์และทำให้แห้งพร้อมกัน แป้งที่จะนำมาผลิตเป็นแป้งพรีเจลาติไนซ์นอกจากแป้งดิบแล้ว แป้งดัดแปรโดยวิธีการทางเคมีต่างๆก็สามารถนำมาทำได้เช่นกัน นอกจากนี้การผลิตพรีเจลาติไนซ์สตาร์ชอาจทำได้โดยเครื่องทำให้แห้งแบบพ่น (spray dryer) หรือเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ (extruder) ก็ได้ แต่การใช้เครื่องทำให้แห้งแบบลูกกลิ้งเป็นวิธีการผลิตพรีเจลาติไนซ์สตาร์ชเป็นที่นิยมที่สุด คุณสมบัติที่สำคัญของพรีเจลาติไนซ์สตาร์ชคือ จะเป็นเจลินน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งดิบ ให้ความหนืดได้ทันทีจึงช่วยให้ความสะดวกและรวดเร็ว

เร็วเมื่อใช้ในการผลิตอาหารที่ไม่ต้องใช้ความร้อน (กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542) การที่แป้งพรีเจลาตินไนซ์สามารถละลายน้ำได้ดี เนื่องจากระหว่างการเกิดเจลาตินไนซ์ทำให้เกิดรอยร้าวหรือรอยแยก (leaking) ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินออกจากเม็ดแป้ง หันส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ออกมาและคลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลออกจับกับน้ำ (Eliasson . 1996)

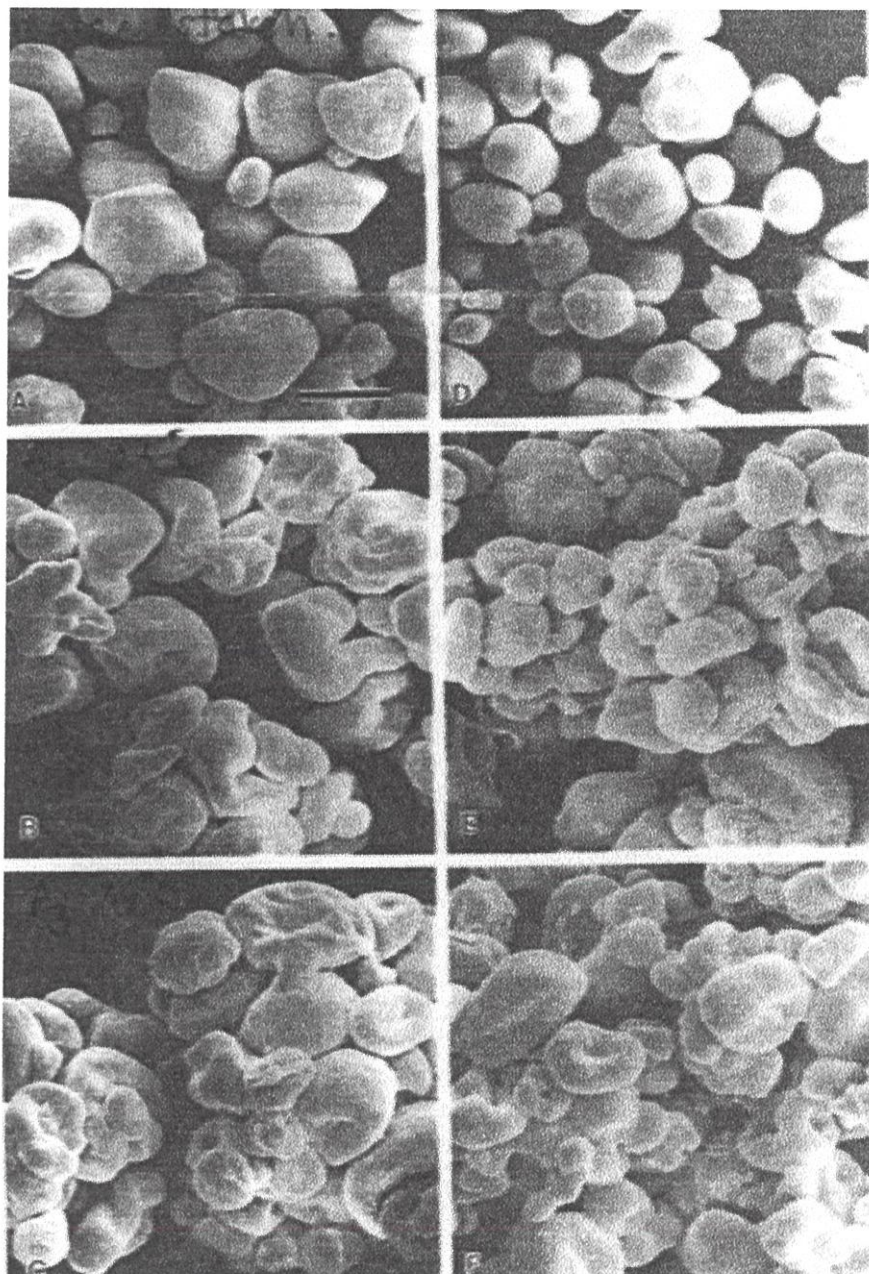
Chen และ Jane (1982) กล่าวว่าวิธีการผลิตพรีเจลาตินไนซ์ด้วยการใช้ความร้อนโดยเครื่องให้ความร้อนแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ทำให้แป้งสุกหลอมรวมกันอย่างหนาแน่นเกิดเป็นแผ่นแป้ง เมื่อนำมาบดจะได้เม็ดแป้งที่มีลักษณะผิดปกติไป รูปร่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย มีการคืนตัวของแป้งบางส่วน เมื่อนำมาทำแป้งเปียกจะเกิดลักษณะเป็นเม็ดๆ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เรียบ ความคงตัวของแป้งเปียกลดลง ความแข็งแรงของเจลลดลง จึงจำเป็นต้องการพัฒนาการผลิตพรีเจลาตินไนซ์สูตรซึ่งยังคงลักษณะของเม็ดแป้งไว้ ดังนั้นการตัดแปรแป้งทางกายภาพโดยใช้วิธีการปรับสภาพแป้งด้วยด่างและแอลกอฮอล์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการผลิตแป้งที่สามารถละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (granular cold-water soluble starch : GCWSS) ซึ่งทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะเรียบ มีความยืดหยุ่น มันเงา และความแข็งแรงสูง การตัดแปรแป้งด้วยด่างและแอลกอฮอล์นั้น เป็นการแปรรูปแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาตินไนซ์ ซึ่งแป้งที่ได้มีความสามารถในการละลายและกระจายตัวได้ดีที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน สามารถละลายและให้ความหนืดทันทีโดยไม่ผ่านความร้อน เหมาะที่จะนำไปผสมในอาหารประเภทซุ๊ป พุดดิ้ง และอาหารสำเร็จรูปต่างๆ

Eastman และคณะ (1984) ทำการตัดแปรแป้งข้าวโพดด้วยการละลายแป้งในสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้ได้เม็ดแป้งที่ละลายได้ในน้ำเย็น สามารถทำให้แป้งเกิดเจลได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อนและความเย็น นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทำให้เกิดเจล เช่น การทำไส้พาย เยลลี่ และพุดดิ้ง เป็นต้น ต่อมาในปี 1987 ได้ทำการพัฒนาแป้งที่สามารถพองตัวได้ในน้ำเย็น (cold water swelling starch) ด้วยการผสมแป้งที่ปราศจากอะไมโลสกับแป้งที่มีปริมาณอะไมโลส 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อให้ความร้อนกับแป้งผสมนี้ทำให้แป้งสามารถพองตัวได้ในน้ำเย็น ซึ่งสามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารพร้อมบริโภค

Rajagopalan และ Seib (1992) ผลิตเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น (granular cold-water soluble starch) ที่ความดันแอมบอสเฟียริก (atmospheric) ด้วยการให้ความร้อนแก่สารละลายแป้งกับโพลีไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (PHA) แล้วทำแห้ง แป้งเกิดพันธะข้ามและการแทนที่ในโครงสร้างของแป้ง ทำให้แป้งสามารถละลายได้ในน้ำเย็นเพิ่มขึ้น 70 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง อุณหภูมิ และอัตราส่วนระหว่างแป้ง น้ำ และโพลีไฮดรอกซีแอลกอฮอล์ (PHA)

Chen และ Jane (1994) ได้ศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการผลิตแป้งตัดแปรด้วยวิธีการใช้ด่างและแอลกอฮอล์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์และด่างที่ใช้ รวมทั้งอุณหภูมิในการ

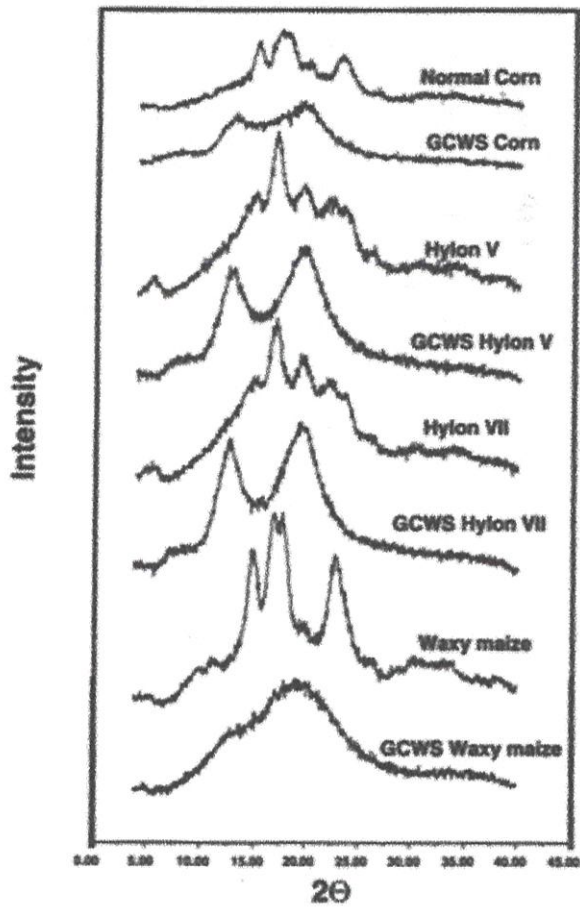
ทำปฏิกิริยา อัตราส่วนของแป้ง ต่อ น้ำ ต่อ 100%เอทานอล ต่อ 3M NaOH คือ 1.0 : 4.2 : 2.8 : 5.0 น้ำหนัก ต่อ น้ำหนัก คุณสมบัติในการตัดแปรที่เหมาะสมคือ 35 องศาเซลเซียส โดยแป้งสามารถละลายในน้ำ 70 - 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่ำ ความเข้มข้นของต่าง และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูง ลักษณะของเม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยแป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นจะมีลักษณะเหี่ยวและแฟบลง



ภาพที่ 2.6. ลักษณะของเม็ดแป้ง (A) แป้งธรรมชาติ (B,C,D,E,F) แป้งผ่านการตัดแปรด้วยต่าง และแอลกอฮอล์

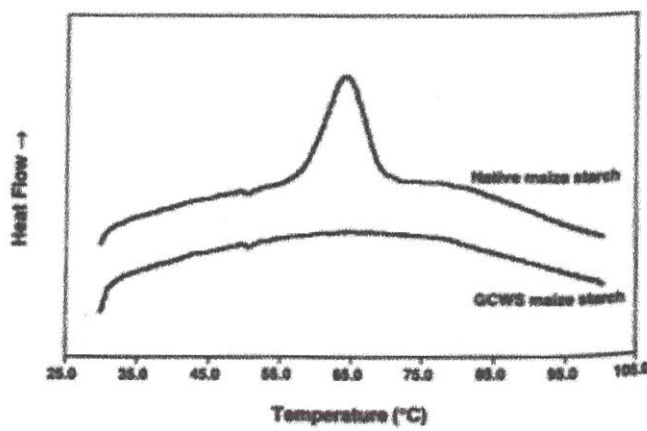
ที่มา: Chen and Jane (1994)

ต่อมาในปีเดียวกัน Chen and Jane ได้ศึกษาคุณสมบัติของแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ พบว่าลักษณะในส่วนผลึกของเม็ดแป้งมีการเปลี่ยนจาก A - type เป็น V - type (ภาพที่ 2.7) เนื่องจากต่างทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวภายในโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง การพองตัวนี้ทำให้ส่วน double - helical ถูกทำลายเป็น single - helical จากนั้นแอลกอฮอล์จะพอร์มตัวกับแป้งเกิดโครงสร้างแบบ V- type คุณสมบัติของแป้งดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ที่ได้มีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งดีขึ้น โดยไม่พบน้ำแยกออกจากของผสมหลังการละลายใน cycle ที่หนึ่ง จาก DSC thermogram แสดงให้เห็นว่าแป้งดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนซ์ระหว่าง 25 - 100 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 2.8) เมื่อตรวจคุณสมบัติของของผสมด้วย Brabender viscometer ที่ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก / น้ำหนัก) พบว่าแป้งดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นสามารถให้ความหนืดได้ทันทีที่อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส และมีความคงตัวต่อการกวนคน และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงของผสมแป้งดัดแปรไม่มีการจัดเรียงตัวคืนดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.9 ซึ่งให้เห็นว่าการดัดแปรแป้งด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นสามารถลดการเกิดรีโทรกราเดชัน ส่งผลให้คุณสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งดีขึ้น



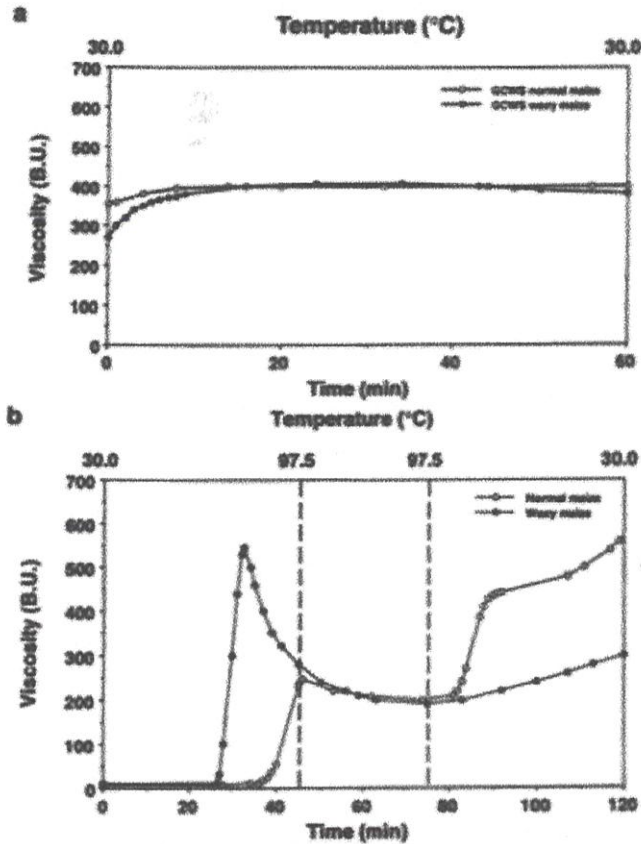
ภาพที่ 2.7. ลักษณะโครงสร้างในส่วนผลึกของเม็ดแป้งก่อนและหลังการดัดแปรด้วยต่างและ แอลกอฮอล์

ที่มา : Chen and Jane (1994)



ภาพที่ 2.8 DSC thermogram ของแป้งข้าวโพดที่ละลายในน้ำเย็นดัดแปรด้วยต่างและ แอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้นของของผสม 25 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 25 – 100 องศาเซลเซียส อัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

ที่มา : Chen and Jane (1994)



ภาพที่ 2.9 Amylogram ของแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวโพดเหนียวดัดแปรด้วยต่างและ  
แอลกอฮอล์ (a) แป้งข้าวโพดและแป้งข้าวโพดเหนียวธรรมชาติ  
(b) เมื่อตรวจด้วย Brabender viscometer

ที่มา : Chen and Jane (1994)

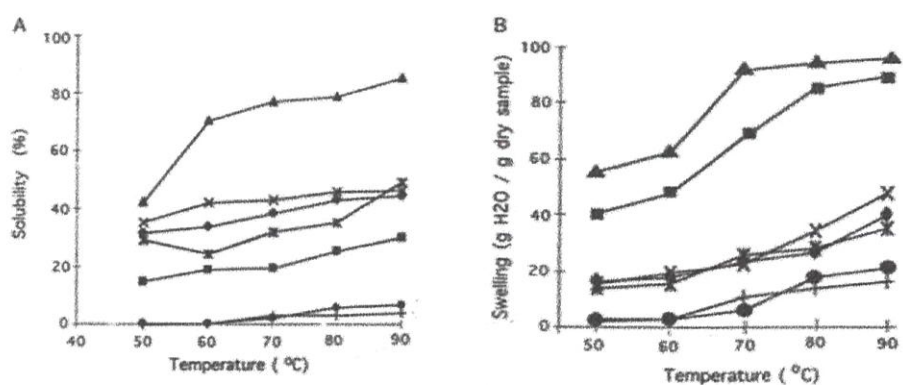
Bello-Perez และคณะ. (2000) ทำการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิค granular cold water soluble starch (GCWSS) ด้วยต่างและแอลกอฮอล์ พบว่าความสามารถในการละลายและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพในด้านต่างขึ้นกับสภาวะในการดัดแปรแป้ง (ตารางที่ 2.1) โดยแป้งกล้วยที่ดัดแปรด้วย 60%เอทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุด เนื่องมาจากความเข้มข้นของเอทานอลที่สูงจะไปจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง (Chen and Jane . 1994) ขัดขวางการคลายเกลียวของโครงสร้างคู่ (double - helical structure) ของเม็ดแป้ง โดยอุณหภูมิในการดัดแปรที่สูงจะช่วยให้การคลายเกลียวของโครงสร้างเม็ดแป้ง

ตารางที่ 2.1 สภาวะการดัดแปรแป้งกล้วยละลายน้ำเย็นด้วยต่างและแอลกอฮอล์และความสามารถในการละลายน้ำ

สภาวะการดัดแปรแป้งกล้วย	ความสามารถในการละลายในน้ำเย็น (%)
40%เอทานอล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	$22.3 \pm 2.9$
40%เอทานอล อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	$54.3 \pm 1.5$
40%เอทานอล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	$15.2 \pm 0.9$
40%เอทานอล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	$52.5 \pm 1.2$

ที่มา : Bello – perez และคณะ (2000)

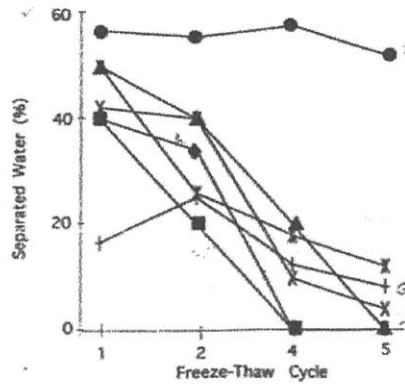
แป้งกล้วยที่ผ่านการดัดแปรนั้นมีคุณสมบัติในการละลายในน้ำเย็น และมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงขึ้น (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 (A) ความสามารถในการละลายน้ำ (B) ความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์

ที่มา : Bello – perez และคณะ (2000)

มีความใสมากกว่าแป้งดิบ และแป้งที่ผ่านการดัดแปรนั้นทำให้อะไมโลสสามารถเกิดการรวมตัวได้ดีกับไอโอดีน ความคงทนต่อแรงเฉือนสูงขึ้น โดยมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมหลังการละลายน้อยลง(ภาพที่ 2.11)



ภาพที่ 2.11 ปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมแป้งกล้วยตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์  
หลังการแช่เยือกแข็ง

ที่มา : Bello – perez และคณะ. (2000)

### 2.3.2. การตัดแปรแป้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

ในการให้ความร้อนอาหารโดยทั่วไปจะเป็นการให้ความร้อนด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอก ไม่ว่าจะเป็นการนำความร้อนหรือการพาความร้อน ซึ่งอาหารจะสุกจากความร้อนที่ผ่านจากผิวหน้าด้านนอกสู่ด้านใน แต่การใช้ไมโครเวฟจะเป็นการให้ความร้อนจากภายในตัวอาหารเอง ซึ่งการทำงานของไมโครเวฟนี้เปรียบได้เหมือนการถูมือทั้งสองข้างเข้าด้วยกันทำให้เกิดการเสียดสี (friction) จนเกิดความร้อนในที่สุด ไมโครเวฟก็เช่นเดียวกัน เมื่อมีการดูดซึมพลังงานความร้อนเข้าไปในสาร จะทำให้เกิดการเสียดสีในโมเลกุลโครงสร้างจนเกิดความร้อนโดยจะเป็นการเปลี่ยนแปลงชั่วในสนามไฟฟ้า คล้ายกับการหมุนข้ออย่างอ่อน ส่วนประกอบในอาหารส่วนใหญ่คือน้ำซึ่งมีขั้วรวมทั้งสารอาหารอื่นๆในอาหารที่มีขั้วด้วย จะเหมือนแท่งแม่เหล็กที่ได้รับสนามไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว โมเลกุลที่มีขั้วจะเกิดการเรียงตัวตามแนวขั้วบวกและลบสลับไปมา เกิดการเสียดสีจนเป็นความร้อนขึ้น (Fellows . 1990)

วุฒิชัย นาครักษา (2536) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชไซเตรทด้วยไมโครเวฟเทคนิค เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการผลิต โดยการนำแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับสารละลายกรดซิตริก จากนั้นทำการปรับความชื้นด้วยการอบ แล้วนำไปบด ทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต พบว่าสตาร์ชไซเตรทที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 59 – 87 เปอร์เซ็นต์ มีการเกาะเกี่ยวระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและกรดซิตริก 3 – 8.7 เปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กัระยะเวลาในการให้ความร้อน และความเข้มข้นของกรดซิตริก

สุปราณี เต็มเดชาติพงศ์ และ ณัฐสิณี เลหาหุ่ง (2538) ศึกษาอัตราการเกิดเจลลาคีไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยการนำแป้งมาปรับปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13 , 15 , 20 , 25 และ 27 เปอร์เซ็นต์ มาผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต เป็นเวลา 3.2 , 5.0 , 8.5 และ 10.0 นาที พบความสัมพันธ์ของเวลาในการให้ความร้อน และปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ออัตราการเกิดเจลลาคีไนซ์ของแป้งทั้ง 2 ชนิด

Muzimbaranda และ Tomasik (1994) ทำการตัดแปรแป้งทางกายภาพและเคมีโดยใช้ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz เมื่อปรับสภาพความชื้นเริ่มต้นของแป้งแล้วนำไปให้ไมโครเวฟพบว่าเมื่อเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ความหนืดของแป้งลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลลดลง และเกิดสีน้ำตาล การเปลี่ยนแปลงนี้ขึ้นกับปริมาณความชื้น รูปทรงของเม็ดแป้ง เนื่องจากความสามารถในการแพร่กระจายของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้งในโครงสร้างเฮลิคซ์ (amylose - helix) รวมทั้งอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน จะเกิดการแตกพันธะไบนารีบางส่วน ส่วนแป้งที่ผสมกับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำการตัดแปรทางเคมี เมื่อผ่านไมโครเวฟที่เวลาสูงขึ้น และปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์สูงขึ้นแล้วแป้งมีคุณสมบัติสามารถเกิดเจลที่ให้ความหนืดต่ำได้ ความคงทนของเจลขึ้นอยู่กับปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ 1 เปอร์เซ็นต์ แป้งสามารถละลายน้ำได้ดี และจากการตัดแปรแป้งทางเคมีโดยเติม  $TiCl_2$  5 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้ไมโครเวฟนาน 10 นาที แป้งสามารถละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องแสดงให้เห็นว่าไมโครเวฟมีคุณสมบัติในการ depolymerization และช่วยให้เกิดปฏิกิริยาร่วม (crosslink) กันดีขึ้นด้วย

Maneeseriraj และคณะ (1998) ทำการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์และ สตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเทอร์จากสตาร์ชข้าวเจ้าและมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟ พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ใช้กับระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยสตาร์ชฟอสเฟตที่ได้จากสตาร์ชข้าวเหนียวมีคุณสมบัติคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย เหมาะที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่เยือกแข็ง

Lewandowicz และคณะ (2002) ศึกษาการตัดแปรแป้งที่ทนต่อการย่อยสลาย (resistance starch) จากพืชหัว เพื่อช่วยให้เกิดการย่อยของแป้งชนิดนี้ในร่างกายได้ดีขึ้น โดยนำแป้งมันสำปะหลังและมันฝรั่งมาปรับปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่างกัน ตั้งแต่ 0 - 35 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อแป้งความชื้นเริ่มต้น 0 - 20 เปอร์เซ็นต์ผ่านการให้ไมโครเวฟแล้วอุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็นเส้นตรง คุณสมบัติของแป้งที่ได้จะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์สูงขึ้น และที่ปริมาณความชื้นสูงตั้งแต่ 20 - 35 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการละลายต่ำลง แป้งที่ได้มีปริมาณ

resistance starch ลดลง ทำให้ร่างกายสามารถย่อยสลายแป้งจากพืชหัวเพื่อไปเป็นพลังงานได้ง่ายขึ้น

#### 2.4. คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งหลังผ่านไมโครเวฟ

MacArthur และคณะ (1981) นำแป้งสาลีพันธุ์ฮาร์ดเรดสปริง ( Hard red spring ) มาให้ไมโครเวฟ (625 W) เป็นเวลา 480 วินาที และเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน นำแป้งที่ผ่านการให้รังสีมาทำขนมปัง พบว่าไมโครเวฟที่ให้แก่แป้งทำให้ขนมปังที่ได้มีลักษณะของปริมาตรและการอุ้มน้ำดีกว่าขนมปังที่ไม่ผ่านการฉายรังสี เนื่องจากไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีของแป้ง เมื่อตรวจคุณสมบัติของของผสมแป้ง (paste) พบว่าไมโครเวฟไปลดคุณสมบัติความคงทนของของผสม ลดอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) ลดความหนืดของแป้ง ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะสูงขึ้นเมื่อเก็บไว้นาน 4 – 6 เดือน

Zylema และคณะ (1985) ทำการเปรียบเทียบการเกิดเจลของแป้งสาลีโดยใช้ไมโครเวฟกับการให้ความร้อนโดยการพา (convection heating) พบว่าของผสมแป้งที่ผ่านความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้นสามารถเกิดเจลได้ดีกว่าของผสมที่ให้ความร้อนด้วยการพา เจลของของผสมที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดส่วนที่เรียกว่า ชอล์กกี้ (chalky) ในบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดไมโครเวฟมากที่สุด เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดความร้อนที่ตรงกลางแล้วแผ่กระจายสู่ด้านนอก ในขณะที่ของผสมที่ให้ความร้อนด้วยการพาจะเกิดส่วนที่เรียกว่าชอล์กกี้บริเวณตรงกลาง เนื่องจากการพาความร้อนยังไม่ถึงจุดที่เย็นที่สุดตรงกึ่งกลาง (cold point)

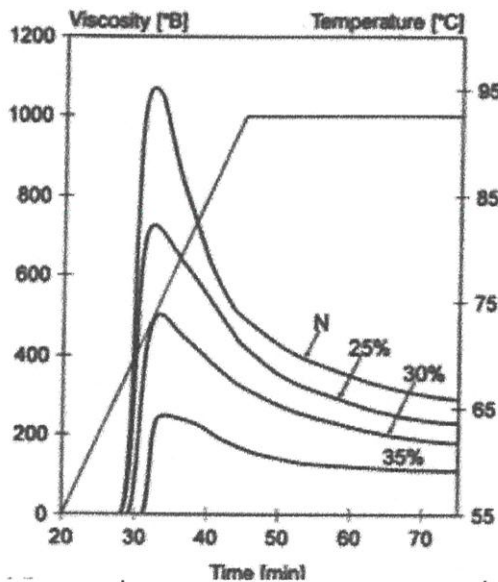
Yiu และคณะ (1991) เปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (conventional cooking) ต่อแป้งและเบต้ากลูแคน (beta – glucan) ในข้าวโอ๊ต พบว่าการแพร่กระจายของแป้งเจลาตินไนซ์และการละลายของเบต้ากลูแคนเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม โครงสร้างของเม็ดแป้ง (starch granule) เมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะมีขนาดเล็กกว่า และผนังเซลล์ของแป้ง (starch) มีการถูกทำลายน้อยกว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม เป็นผลให้มีการละลายน้อยกว่า

Umbach และคณะ. (1992) ศึกษาผลของไมโครเวฟต่อการแพร่กระจายของน้ำ (self – diffusion coefficient ; D) และคุณสมบัติด้านไดอิเล็กตริก ( dielectric properties ) โดยของผสมระหว่างแป้ง กลูเติน และน้ำเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษา พบว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่การแพร่กระจาย (D) มีการเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณน้ำมีผลต่อค่าความแตก

ต่างสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อการแพร่กระจาย (D) ค่าคงที่ได้อิเล็กทริก (dielectric constant) และค่าไดอิเล็กทริกloss (dielectric loss)

Narkrgsa (1996) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต ที่เวลาและปริมาณความชื้นระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งดิบ (native starch) พบว่าแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีคุณสมบัติความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและลดปริมาณความชื้นเริ่มต้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและปริมาณความชื้นเริ่มต้น

Lewandowicz และคณะ (1997) พบว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้นในแป้งนั้นมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชหัว ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่งเมื่อให้ไมโครเวฟกำลัง 800 วัตต์ ความถี่ 2450 MHz ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้ง 21 – 35 เปอร์เซ็นต์ โดยไมโครเวฟจะทำให้แป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นแบบ isotherm อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์สูงขึ้น จากการตรวจคุณสมบัติของของผสมแป้งเมื่อผ่านไมโครเวฟด้วย Brabender viscometer พบว่าแป้งมีความหนืดลดลง (ภาพที่ 2.12) ในขณะที่อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์เพิ่มขึ้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยลักษณะกราฟ (Brabender curve) ของแป้งจากพืชหัวจะเปลี่ยนจาก B-type เป็น A-type เหมือนแป้งจากธัญพืช

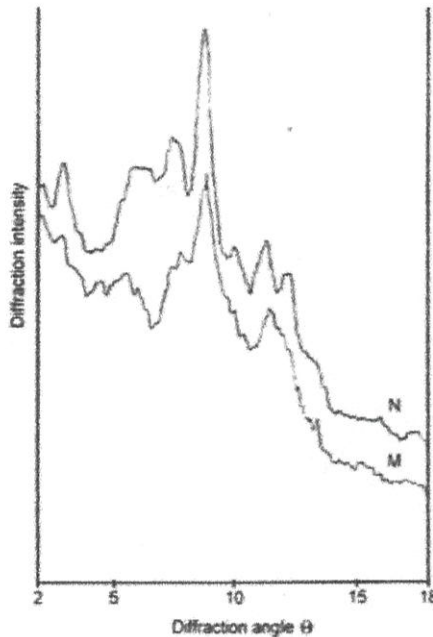


ภาพที่ 2.12 คุณสมบัติของของผสมแป้งผ่านการให้ความร้อนในขณะที่การกวนคนด้วย

Brabender viscosity ของแป้งมันสำปะหลังหลังผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นระดับต่างๆ

ที่มา : Lewandowicz and *et al.* (1997)

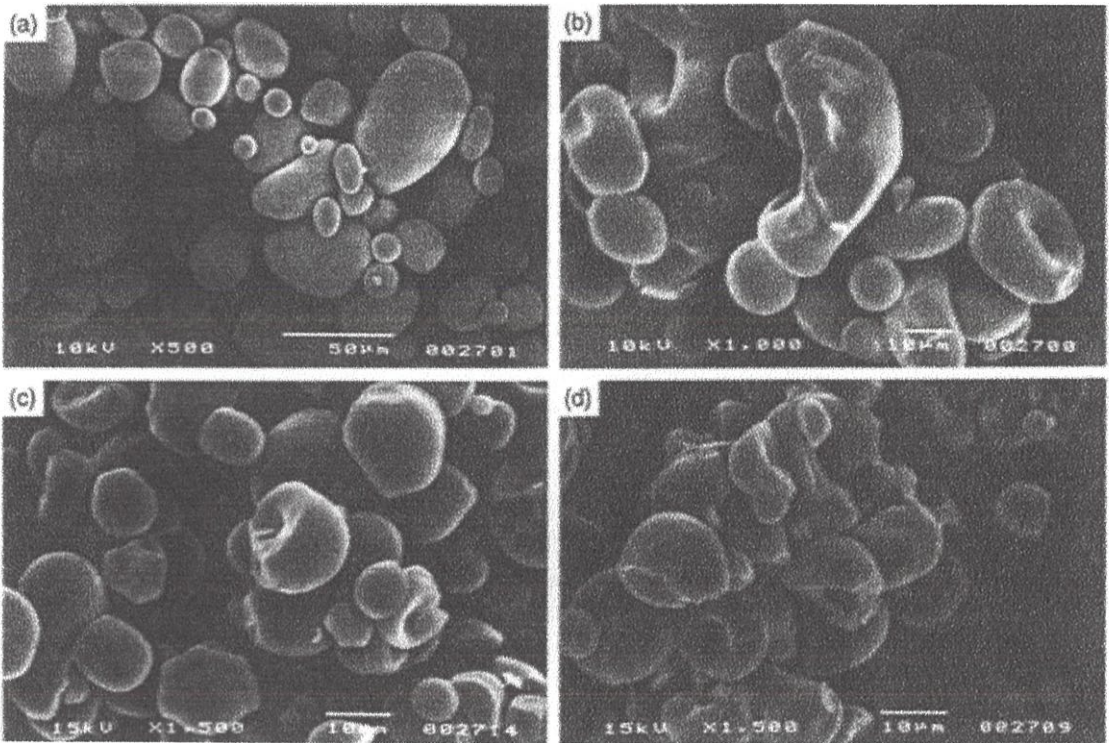
เมื่อนำแป้งที่ผ่านไมโครเวฟมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แป้งจะเริ่มเกิดการเจลลาติไนซ์ อะไมโลสเริ่มแยก (leaking) ออกจากเม็ดแป้ง เนื่องจากไมโครเวฟจะทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงระหว่างแป้ง (starch – starch) ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์สูงขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกแบบบี (B – type) เป็นแบบเอ (A – type) (ภาพที่ 2.13) เมื่อตรวจด้วย X – ray diffraction ลักษณะเม็ดแป้งที่ผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำจะเกิดรอยร้าวเนื่องจากการแตกออกของอิลเล็กตรอน ในขณะที่แป้งที่ผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงจะเห็นรอยบวมตรงกลางเม็ดแป้ง (ภาพที่ 2.14) นอกจากนี้ไมโครเวฟยังมีผลทำให้พื้นที่ผิวของแป้งลดลง และที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ำ และระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้น แป้งจะเกิดการเด็กชทรินในแช่ขัน



ภาพที่ 2.13 ลักษณะในส่วนผลึกของเม็ดแป้งเมื่อตรวจด้วย X-ray diffraction ของแป้งมัน

สำปะหลังธรรมชาติ (N) และผ่านไมโครเวฟ (M)

ที่มา : Lewandowicz และคณะ (1997)

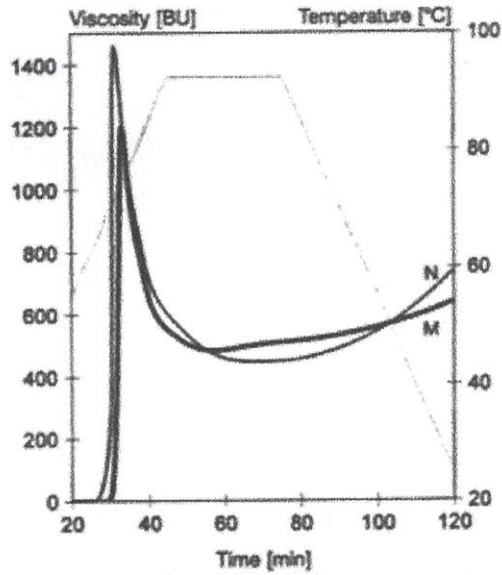


ภาพที่ 2.14 ลักษณะของเม็ดแป้งมันฝรั่งหลังผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 2% (a) , และปริมาณความชื้นเริ่มต้น 35% (b), แป้งมันสำปะหลังหลังผ่านไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 2% (c) , และปริมาณความชื้นเริ่มต้น 35% (d)

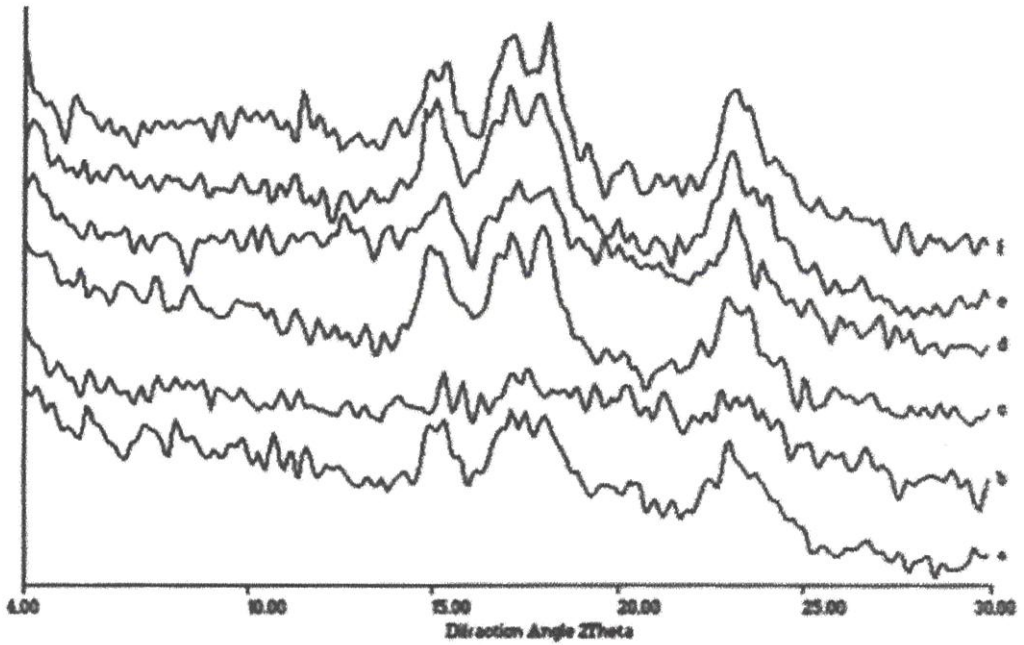
ที่มา : Lewandowicz และคณะ (1997)

ต่อมาในปี 2000 ทำการศึกษาผลของไมโครเวฟต่อแป้งจากธัญพืช ได้แก่ แป้งสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวโพดเหนียว ที่ปริมาณความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีโนซิสสูงขึ้นจึงเห็นได้จาก Brabender curve (ภาพที่ 2.15) โดยแป้งข้าวโพดที่ผ่านไมโครเวฟมีการพองตัวปานกลาง ความหนืดจะสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ซึ่งยังคงลักษณะของแป้งจากธัญพืช เช่นเดียวกับแป้งสาลี แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงนี้กับแป้งข้าวโพดเหนียว เมื่อนำแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีที่ผ่านไมโครเวฟมาให้ความร้อนพบว่าอะไมโลสของแป้งทั้งสองชนิดจะเริ่มแตกออก (leaking) จากเม็ดแป้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ในขณะที่แป้งข้าวโพดเหนียวอะไมโลสจะแตกออกจากเม็ดแป้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวโพดเหนียวเมื่อผ่านไมโครเวฟจะมีความสามารถในการละลายสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงในส่วนผลึกของเม็ดแป้งเมื่อผ่านไมโครเวฟนั้นพบว่า ระดับผลึกของแป้งสาลี และแป้งข้าวโพดลดลง ในขณะที่แป้งข้าวโพดเหนียวนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง แป้งทั้งสามชนิดยังคงไว้ซึ่งลักษณะ A - type X- ray diffraction pattern (ภาพที่ 2.16) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของแป้งนั้นขึ้นอยู่กับไมโครเวฟ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น แหล่งที่มาและชนิดของพืชที่เป็นแหล่งของแป้งด้วย โดยแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีเมื่อผ่านกระบวนการไมโครเวฟจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังที่กล่าวมา

แต่ที่สภาวะการศึกษาเดียวกันนี้แป้งจากข้าวโพดเหนียวไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของแป้งเมื่อผ่านกระบวนการไมโครเวฟจึงขึ้นอยู่กับชนิดพืชและแหล่งที่มาของแป้ง



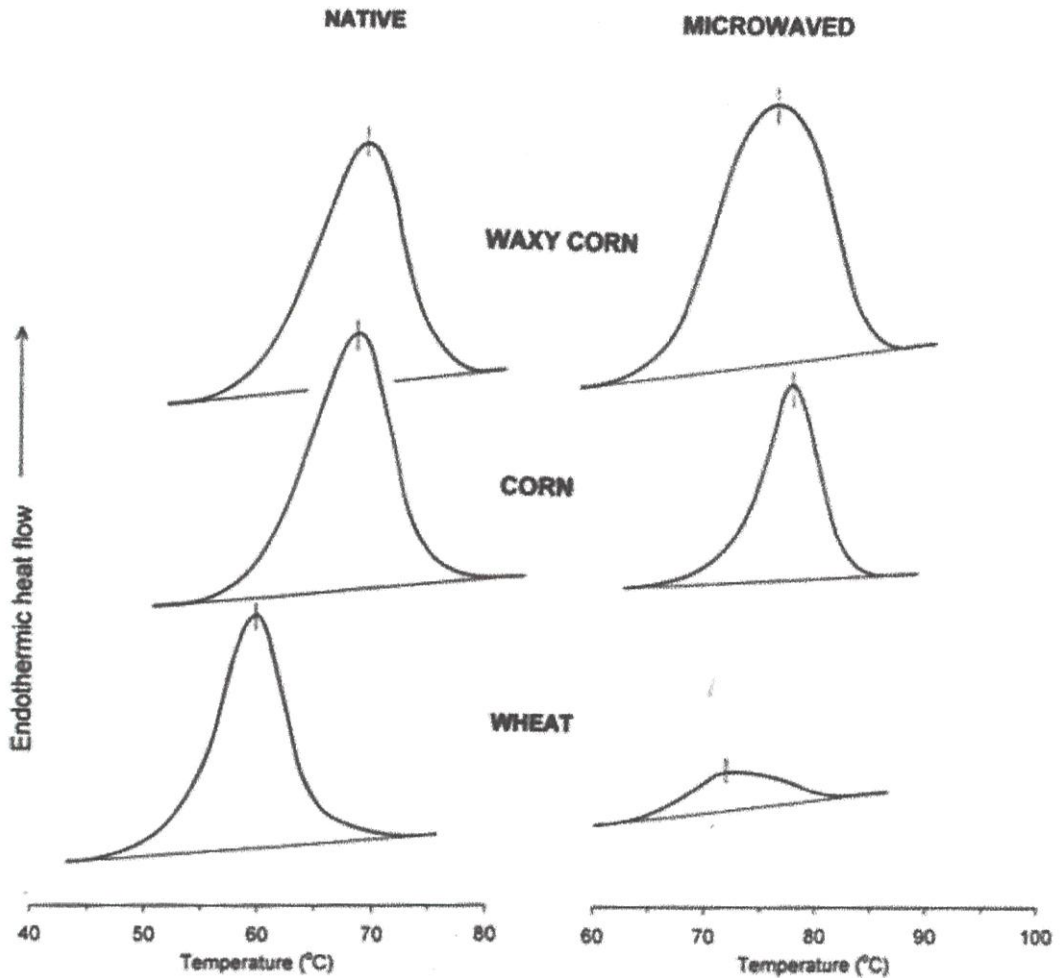
ภาพที่ 2.15 คุณสมบัติของของผสมแป้งเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนคนเมื่อตรวจด้วย Brabender viscosity ของแป้งข้าวโพดที่ไม่ผ่านไมโครเวฟ(N)และผ่านไมโครเวฟ (M) ที่มา : Lewandowicz และคณะ (2000)



ภาพที่ 2.16 X- ray diffraction pattern ของแป้งที่ผ่านไมโครเวฟ เปรียบเทียบกับแป้งธรรมชาติ โดย a = แป้งสาลีธรรมชาติ , b= แป้งสาลีผ่านไมโครเวฟ, c= แป้งข้าวโพดธรรมชาติ , d= แป้งข้าวโพดผ่านไมโครเวฟ , e = แป้งข้าวโพดเหนียวธรรมชาติ และ f = แป้งข้าวโพดเหนียวผ่านไมโครเวฟ

ที่มา : Lewandowicz และคณะ (2000)

จากกราฟ DSC thermogram (ภาพที่ 2.17) อุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์สูงขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งธรรมชาติ โดยแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีมีค่าพลังงานเอนทาลปีทั้งหมดลดลง ในขณะที่แป้งข้าวโพดเหนียวสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากธัญพืชจะเกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับแป้งจากพืชหัว โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในด้านการพองตัว การละลาย และคุณสมบัติของของผสมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งในส่วนผลึก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งหลังผ่านไมโครเวฟจึงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง แหล่งที่มา โครงสร้าง ปริมาณอะไมโลส และองค์ประกอบอื่นๆ



ภาพที่ 2.17 DSC thermogram ของแป้งธัญพืชธรรมชาติ และแป้งธัญพืชที่ผ่านไมโครเวฟ  
ที่มา : Lewandowicz และคณะ (2000)

Anderson และคณะ (2001) ทำการให้ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz แก่ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีอัตราการเกิดความร้อนที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากกึ่งกำนอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวเหนียว เวลาในการให้ความร้อนนั้นทำให้การย่อยสลายแป้งนานขึ้น คุณสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วย rapid visco analyzer พบว่าค่า peak viscosity , final viscosity และ setback viscosity ลดลง ผลของไมโครเวฟต่อแป้งทำให้เกิดการดัดแปรคุณค่าทางโภชนาการ โดยมีเวลาและความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญ แป้งข้าวที่ได้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น จึงช่วยควบคุมและป้องกันโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูงได้ด้วย

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.1. วัสดุดิบ

#### 3.1.1 กัลวยน้ำว่าดดิบ

โดยใช้กัลวยน้ำว่าดดิบที่ระยะความแก่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ จากสวนอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

#### 3.1.2. สารเคมีที่ใช้ในการผลิตแป้งกัลวย

3.1.2.1. sodium metabisulfite (food grade)

3.1.2.2. citric acid (food grade)

#### 3.1.3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพแป้ง

3.1.3.1. sodium hydroxide

3.1.3.2. ethanol 95 %

3.1.3.3. hydrochloric acid

3.1.3.4. iodine

3.1.3.5. potassium iodine

3.1.3.6. potassium hydroxide

3.1.3.7. methanol 95%

3.1.3.8. calcium chloride

### 3.2. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

3.2.1 ตู้อบแห้ง (tray dryer )

3.2.2. เครื่องบดละเอียด Retch , ZM 1000 เยอรมัน

3.2.3. ชุดวิเคราะห์โปรตีน Buchi – B316 เยอรมัน

3.2.4. ชุดวิเคราะห์ไขมัน Gerhardt Soxtherm เยอรมัน

3.2.5. ตู้อบลมร้อน(hot air oven) Memmert เยอรมัน

3.2.6. เครื่องวัดสี Minolta CR/300 ญี่ปุ่น

3.2.7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) Shimadzu –UV 1601 ญี่ปุ่น

3.2.8. เครื่องวัดความหนืด (brookfield viscometer) RVR – 1000 อเมริกา

3.2.9. เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว ( rapid visco analyzer )	Model Super 3	ออสเตรเลีย
3.2.10. เครื่องผสม (rotor mix)	R2R2 , HeidolphKG.	เยอรมัน
3.2.11. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge)	Centrikon T – 42 K	อิตาลี
3.2.12. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (scanning electron microscope)JEOL Model JSM – 5900LV		ญี่ปุ่น
3.2.13. เครื่องชั่งน้ำหนัก	Mettler AJ 100	ญี่ปุ่น
3.2.14. อุโมงค์ไมโครเวฟ	ความถี่ 2450 MHz	
3.2.15. X-Ray diffractor	D 8 Advance	เยอรมัน

### 3.3. สถานที่ทดลอง

- 3.3.1. ห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรมอาหารโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.3.2. ตึกProcessing 1 ภาควิชาอุตสาหกรรมอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.3.3. ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3.3.4. ห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์กลางบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 3.3.5. ห้องปฏิบัติการบริษัทจาร์พา เทคโนโลยี จำกัด

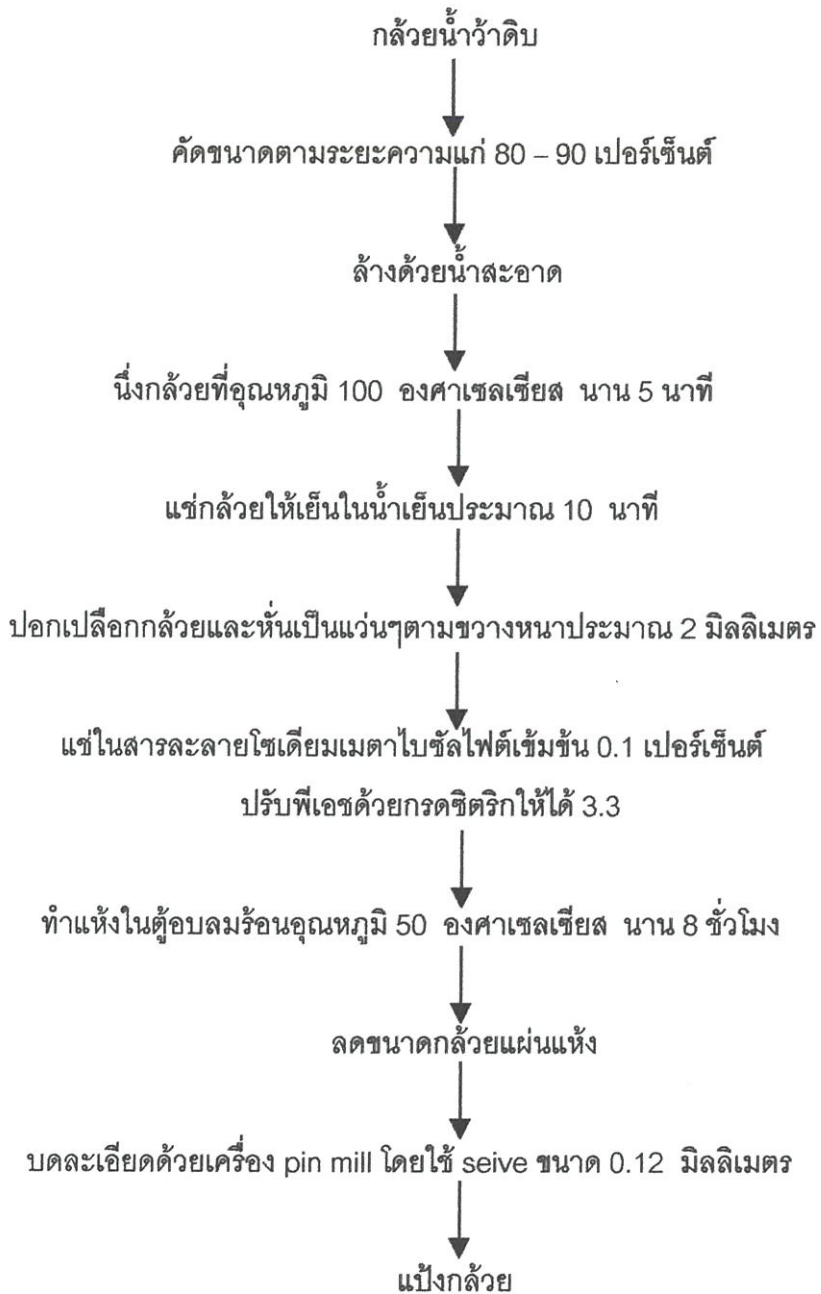
### 3.4.วิธีการดำเนินงาน

การเตรียมวัตถุดิบ (กล้วยน้ำว้าจากสวน อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี)

โดยเลือกกล้วยน้ำว้าที่ระยะความแก่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากลักษณะ เหลี่ยมไม่ชัดเจน น้ำอายุจากวันแทงปลี 17 สัปดาห์ และมีขนาดเส้นรอบวง 12.8 – 13.0 เซนติเมตร เนื่องจากกล้วยที่ระยะความแก่นี้มีปริมาณแป้ง (starch) สูงสุด ประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ (สุดาทิพย์ อินทรสิน . 2545)

## การเตรียมแป้งกล้วย

โดยใช้วิธีการเตรียมแป้งกล้วยจาก ชลธิรา บุญเรืองยา (2545)



ภาพที่ 3.1 : แสดงขั้นตอนการผลิตแป้งกล้วย

ที่มา : ชลธิรา บุญเรืองยา (2545)

### 3.4.1. ตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งกล้วย

3.4.1.1. วัดสีของแป้ง (ด้วยเครื่อง Minolta CR – 300 Japan)

3.4.1.2. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง (proximate analysis) ตามหลัก AOAC (1995) ได้แก่ ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน โปรตีน เยื่อใย และแป้ง (starch)

3.4.1.3. วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส โดยใช้หลักการ Juliano *et al.* 1981.

3.4.1.4. วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) โดยใช้วิธีของ Dubois *et al.* 1956.

### 3.4.2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต่อระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการเกิดเจลลาคีไนซ์ในครั้งนี้งานแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial in complete randomized design) โดยศึกษา 2 ปัจจัย

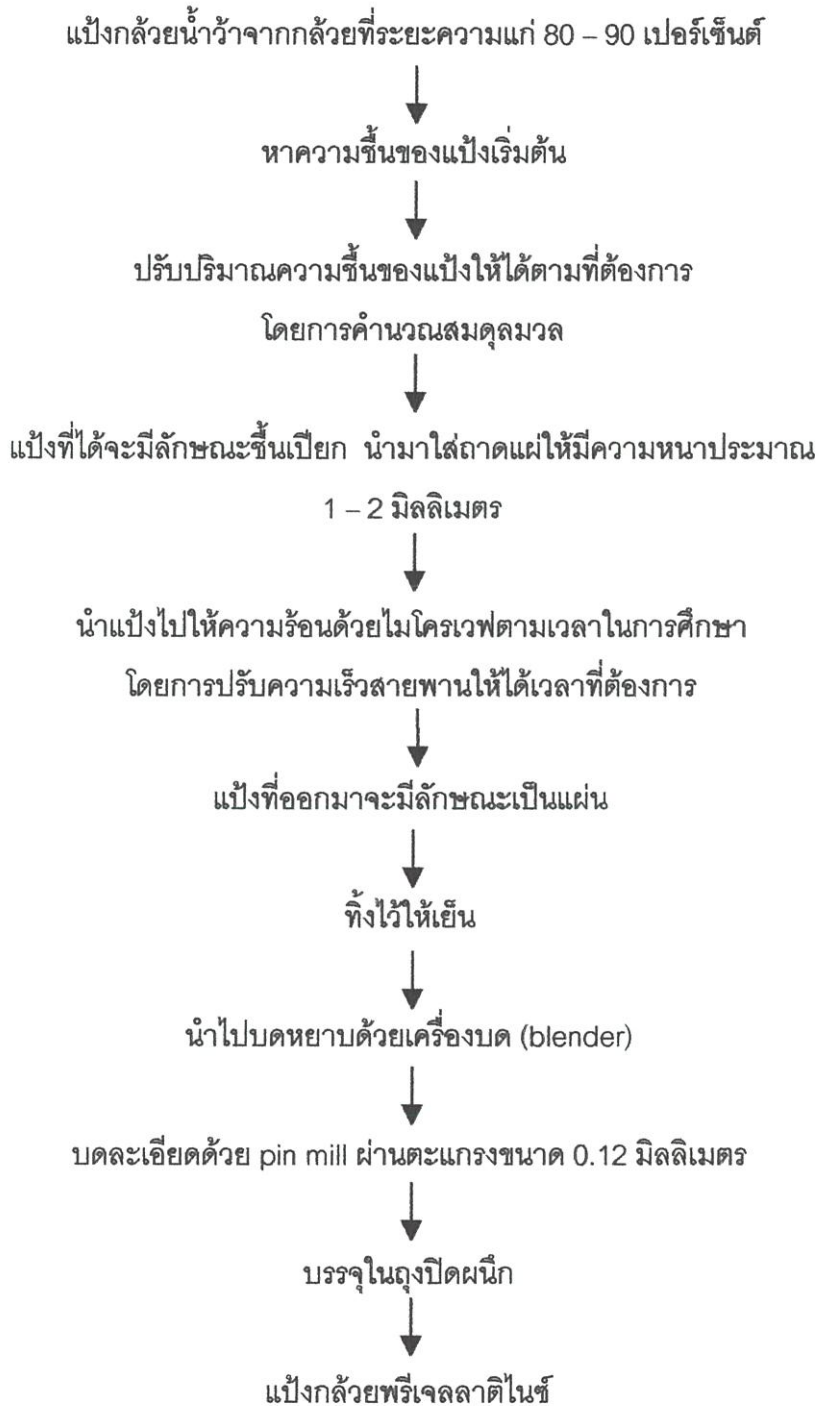
ปัจจัยที่ 1 ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (M) ที่ระดับ 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2 เวลาในการให้ความร้อน (T) ที่ระดับ 8, 16 และ 24 นาที

โดยการนำแป้งกล้วยมาปรับปริมาณความชื้นที่ระดับต่างๆที่ต้องการศึกษา จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยรังสีไมโครเวฟที่เวลาในการให้ความร้อนที่ต้องการศึกษา นำแป้งกล้วยที่เจลลาคีไนซ์ที่ได้มาทำการตรวจวัดระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ (% degree of gelatinized) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ดัดแปลงมาจาก Birch และ Priestly (1975) นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) ระหว่างปัจจัยในการศึกษาต่อระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์

จากการศึกษาเบื้องต้น (preliminary test) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ระดับ 30 เปอร์เซ็นต์เป็นระดับปริมาณความชื้นที่แป้งเริ่มเกิดการเจลลาคีไนซ์ ในขณะที่ระดับความชื้นที่สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้แป้งไหม้ และแป้งไม่แห้ง หากนำไปทำการอบแห้งด้วย hot air oven ต่อนั้น แม้จะใช้อุณหภูมิในการอบตาก็จะมีผลต่อระดับเจลลาคีไนซ์ของแป้ง ดังนั้นการใช้ปริมาณความชื้นในการศึกษานี้จึงใช้ที่ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่ผ่านไมโครเวฟจะแห้ง และไม่เกิดการไหม้ และเกิดการเจลลาคีไนซ์ เช่นเดียวกันกับระดับเวลาในการให้ความร้อน เป็นระดับเวลาที่ทำให้แป้งแห้ง เกิดการเจลลาคีไนซ์ และไม่ทำให้แป้งไหม้

## การเตรียมแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 3.2 : แสดงขั้นตอนการเตรียมแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

### 3.4.3. วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ ดังนี้

- 3.4.3.1 ความคงทนต่อแรงเฉือน (shearing stability ; %SST) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Narkrugsa. (1996)
- 3.4.3.2. การเปลี่ยนแปลงของของผสม (paste) ที่ผ่านการให้ความร้อน ในขณะที่มีการกวนคน ด้วย Rapid visco analysis (RVA) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Mota และคณะ. (2000)
- 3.4.3.3. ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลาย ( freeze – thaw stability ; %FTS) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Narkrugsa. (1996)
- 3.4.3.4. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water absorption index ; %WAI) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Narkrugsa. (1996)
- 3.4.3.5. ความสามารถในการละลายน้ำ ( water solubility index ; %WSI) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Narkrugsa. (1996)
- 3.4.3.6. ความคงตัวของแป้งสุก (gelconsistency) วิเคราะห์ดัดแปลงจาก Juliano และคณะ (1980)

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ และวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r ) ระหว่างปัจจัยในการศึกษาต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

### 3.4.4. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ กับแป้งกล้วยดัดแปรด้วยเทคนิคเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น (GCWSS) และแป้งกล้วยดิบ (native banana flour)

แป้งกล้วยดัดแปรด้วยเทคนิคเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นใช้วิธีการดัดแปรตามหลักการของ Bello – Perez และคณะ . (2000) โดยเปรียบเทียบแป้งดัดแปรทั้ง 2 ชนิดที่ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ (%degree of gelatinized) ที่เท่ากัน

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ต้องการศึกษาเปรียบเทียบตามข้อ 3.4.3.1 – 3.4.3.6 และเพิ่มเติมคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ต้องการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้

3.4.4.1. ลักษณะเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM)

3.4.4.2. X-ray diffraction วิเคราะห์จาก Chen และ Jane (1994)

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วย

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว่าจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80 –90 เปอร์เซ็นต์\*

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	7.91 ± 0.22
โปรตีน	1.62 ± 0.01
ไขมัน	0.55 ± 0.08
เถ้า	0.69 ± 0.09
เยื่อใย	0.26 ± 0.01
คาร์โบไฮเดรต	88.96 ± 0.21

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสตาร์ช อะไมโลส และน้ำตาลทั้งหมดของแป้งกล้วยน้ำว่าจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80 –90 เปอร์เซ็นต์\*

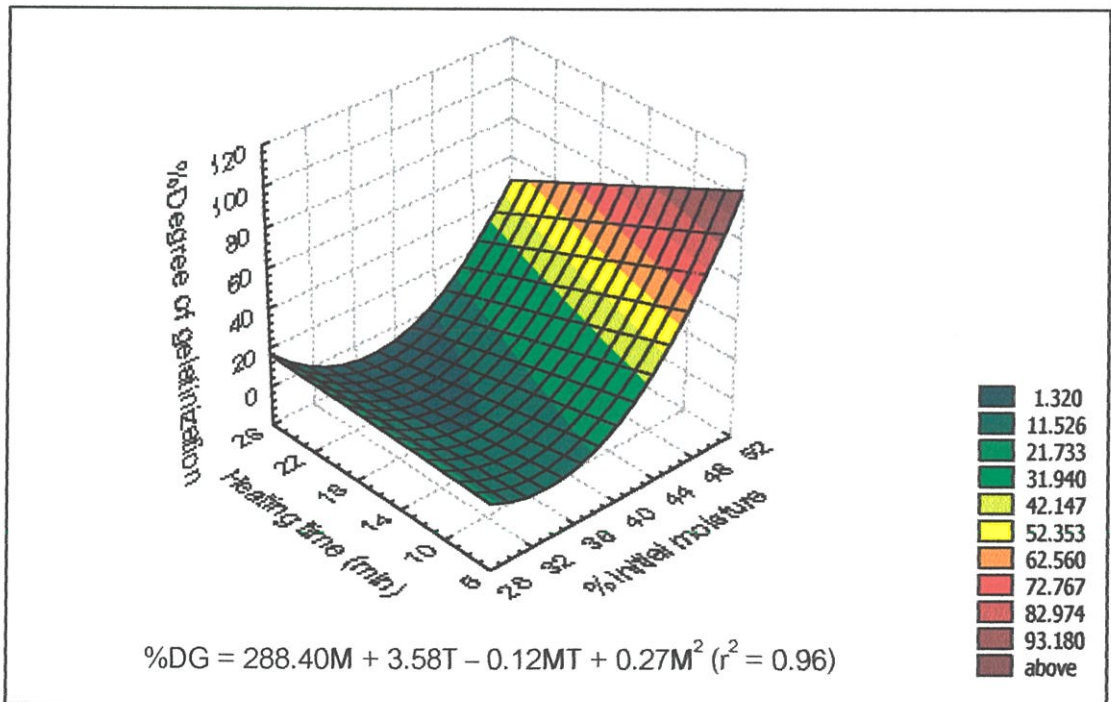
องค์ประกอบ	ปริมาณ
สตาร์ช (เปอร์เซ็นต์)	69.64 ± 1.20
อะไมโลส (เปอร์เซ็นต์)	31.08 ± 0.44
น้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัม /100กรัม)	688.00 ± 14.52

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

แป้งกล้วยที่ผลิตได้เมื่อนำมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง Minolta CR-300 พบว่าแป้งกล้วยที่ได้มีค่าความสว่าง (L) 89.89 ค่าสีแดง (a) 1.59 และค่าสีเหลือง (b) 7.73

#### 4.2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วยและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ของแป้งกล้วย

การตัดแปรแป้งพรีเจลลาคีไนซ์เป็นการตัดแปรในระดับโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง โดยการทำให้เกิดอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างโมเลกุลสตาร์ชด้วยความชื้นและความร้อน (heat – moisture treatment) (Colonna *et al.* 1987) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการปรับปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วยดิบที่ระยะความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นระยะความแก่ของกล้วยที่มีปริมาณสตาร์ชสูงสุด (สุดาทิพย์ อินทรชীন .2545) ที่มีความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์ ให้เป็น 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วให้ความร้อนไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต กำลัง 4.8 กิโลวัตต์ นาน 8 16 และ 24 นาที เนื่องจากเป็นระดับปริมาณความชื้นและเวลาที่ทำให้แป้งเริ่มมีการเกิดเจลลาคีไนซ์ โดยที่ไม่ทำให้แป้งไหม้



ภาพที่ 4.1 ระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟของแป้งกล้วยที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียลของปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วยและเวลาในการให้ไมโครเวฟที่มีผลต่อระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ พบว่าทั้งปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อการเกิดเจล

ลาติไนซ์ ดังการศึกษาของสุปราณี เต็มเตชาพงษ์ และณัฐสิณี เลหาหุ้งพิสิฐ (2538) เขียนสมการ ในรูป multiple regression ได้ดังนี้

$$\%DG = 288.40 - 17.5M + 3.58T + 0.27M^2 - 0.12MT \quad (r^2=0.96 \text{ ที่ } P \leq 0.05)$$

โดยจากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) พบว่าระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ของแป้งกล้วยได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.758 (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน -0.179 (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ โดยที่ทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน 0.590 (medium positive) (ตารางที่ 4.4) เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดความร้อนและอุณหภูมิสูงขึ้น (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่ให้ไมโครเวฟจากการเรียงตัวของโมเลกุลน้ำที่มีขั้วบวกและลบตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Fellow .1990) ทำให้เกิดการเสียดสีเป็นความร้อนขึ้น เมื่อแป้งได้รับความร้อนในขณะที่มีความชื้นจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง แป้งจึงเริ่มเกิดการการเกิดเจลลาติไนซ์ ระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีผลต่อการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยเมื่อเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้นส่งผลให้ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ปริมาณความชื้นของแป้งจะลดลงจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น (ตารางที่ 4.3) แป้งกล้วยฟรีเจลลาติไนซ์แห้ง ส่งผลให้ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ลดลง

จากการใช้ Infrared thermometer วัดอุณหภูมิของแป้งเมื่อผ่านไมโครเวฟมาวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียลพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีผลต่ออุณหภูมิที่เกิด และปริมาณความชื้นที่เหลือ เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient : r) พบว่าปริมาณความชื้นที่เหลือ และอุณหภูมิที่เกิดได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.974 และ 0.767 (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน -0.399 และ -0.190 (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน -0.744 และ 0.065 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟของแป้งกล้วยจะเกิดอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นที่เหลือที่สัมพันธ์กับระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีแนวโน้มเกิดอุณหภูมิที่สูง ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์จึงสูงตาม แต่เมื่อเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์มีแนวโน้มลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นที่เหลือลดลง เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูง ทำให้เกิดอุณหภูมิสูง น้ำเกิดการระเหยและอบแห้ง ทำให้ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ลดลง (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ค่าระดับการเกิดเจลลาคีโนซิสเริ่มต้น ความชื้น และอุณหภูมิของแป้งกล้วยพีรีเจลลาคีโนซิสหลังผ่านกระบวนการไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (เปอร์เซ็นต์)	เวลาในการให้ไมโครเวฟ (นาที)	ระดับการเกิดเจลลาคีโนซิส (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้นที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
30	8	11.42 ± 0.85 <sup>c</sup>	9.58 ± 0.81 <sup>g</sup>	76.00 ± 1.31 <sup>e</sup>
	16	2.12 ± 0.05 <sup>ab</sup>	8.90 ± 0.25 <sup>f</sup>	64.93 ± 0.50 <sup>c</sup>
	24	5.48 ± 1.40 <sup>b</sup>	7.17 ± 0.13 <sup>d</sup>	55.68 ± 2.30 <sup>a</sup>
40	8	14.77 ± 1.40 <sup>c</sup>	9.38 ± 0.35 <sup>g</sup>	73.08 ± 1.45 <sup>d</sup>
	16	3.22 ± 1.14 <sup>a</sup>	8.38 ± 0.31 <sup>e</sup>	70.95 ± 0.92 <sup>d</sup>
	24	5.86 ± 0.21 <sup>b</sup>	7.46 ± 0.25 <sup>d</sup>	60.90 ± 0.85 <sup>b</sup>
50	8	83.89 ± 2.73 <sup>f</sup>	5.44 ± 0.24 <sup>c</sup>	87.53 ± 0.71 <sup>g</sup>
	16	55.57 ± 3.18 <sup>e</sup>	4.76 ± 0.92 <sup>b</sup>	87.16 ± 1.53 <sup>g</sup>
	24	35.85 ± 2.13 <sup>d</sup>	3.45 ± 0.56 <sup>a</sup>	82.32 ± 0.95 <sup>f</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

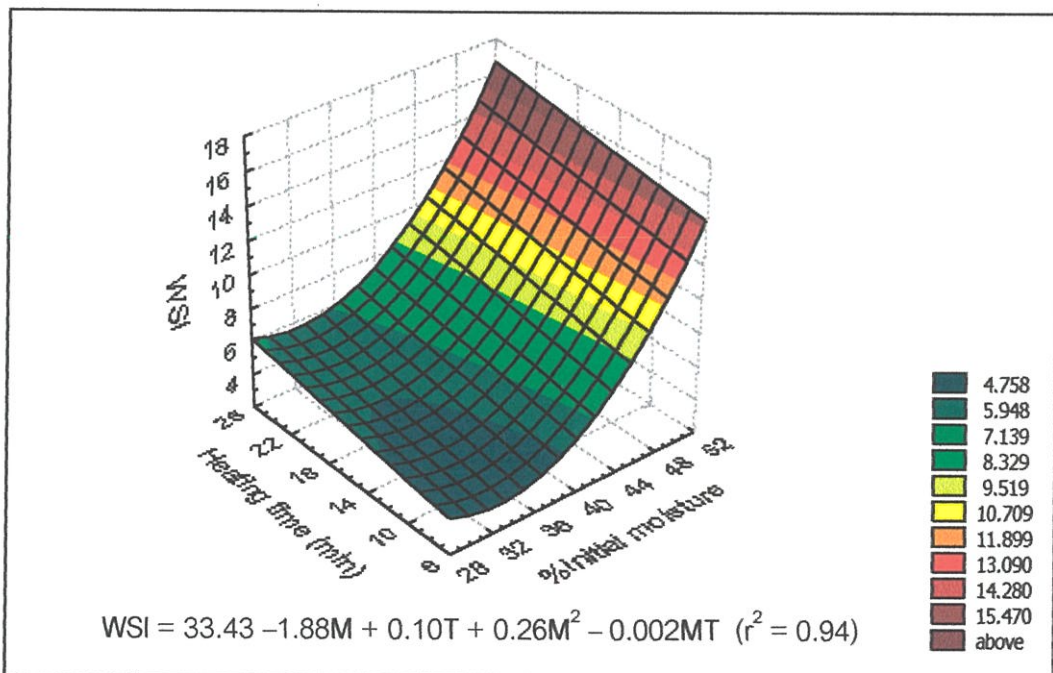
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อระดับการเกิดเจลลาคีโนซิส

	ระดับการเกิดเจลลาคีโนซิส (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณความชื้นที่เหลือ (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ปริมาณความชื้นเริ่มต้น(X)	0.758	0.794	0.767
เวลาในการให้ไมโครเวฟ (Y)	-0.179	-0.399	-0.190
XY	0.590	-0.744	0.065
X <sup>2</sup>	0.790	-0.823	0.788
Y <sup>2</sup>	-0.212	-0.450	-0.345

#### 4.3. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วย และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

##### 4.3.1. ความสามารถในการละลายน้ำ (Water solubility index :WSI)

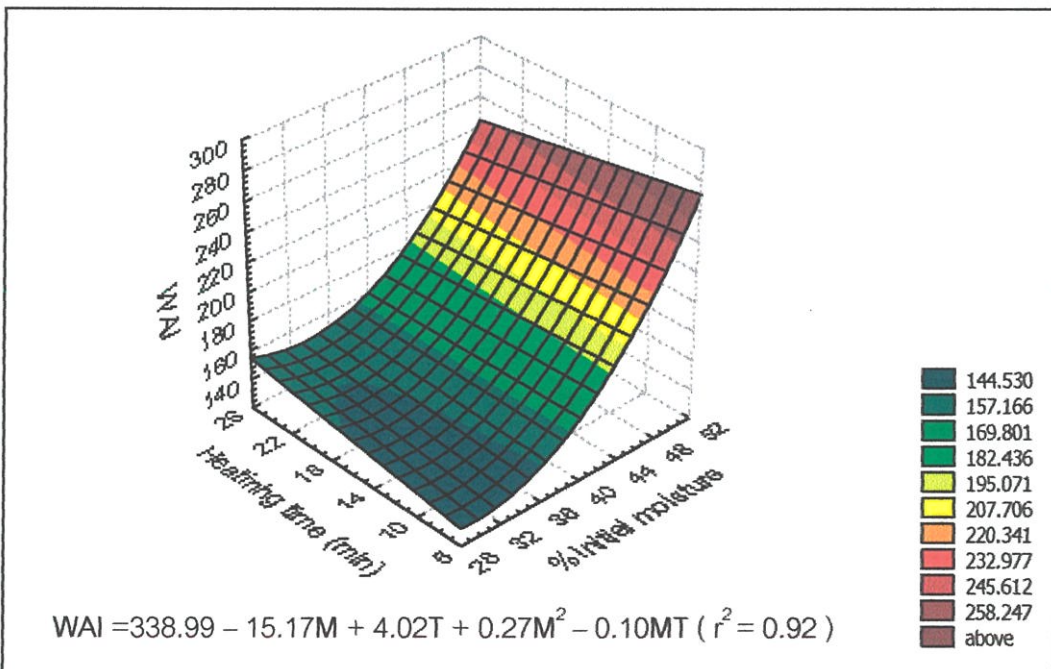
จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง.) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความสามารถในการละลายน้ำได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.900 (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน 0.138 (low positive) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน 0.417 (medium positive) (ตารางที่ 4.5) จากภาพที่ 4.2. เมื่อปริมาณความชื้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่สูงทำให้แป้งได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ส่งผลทำให้อะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่อยู่ภายในโครงสร้างเม็ดแป้ง (granule) เกิดการรั่วไหล (leaking) ออกมาในระหว่างการเกิดเจลลาคีไนซ์ ทำให้แป้งมีความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น (Eliasson . 1996)



ภาพที่ 4.2 ความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.2. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water absorption index :WAI)

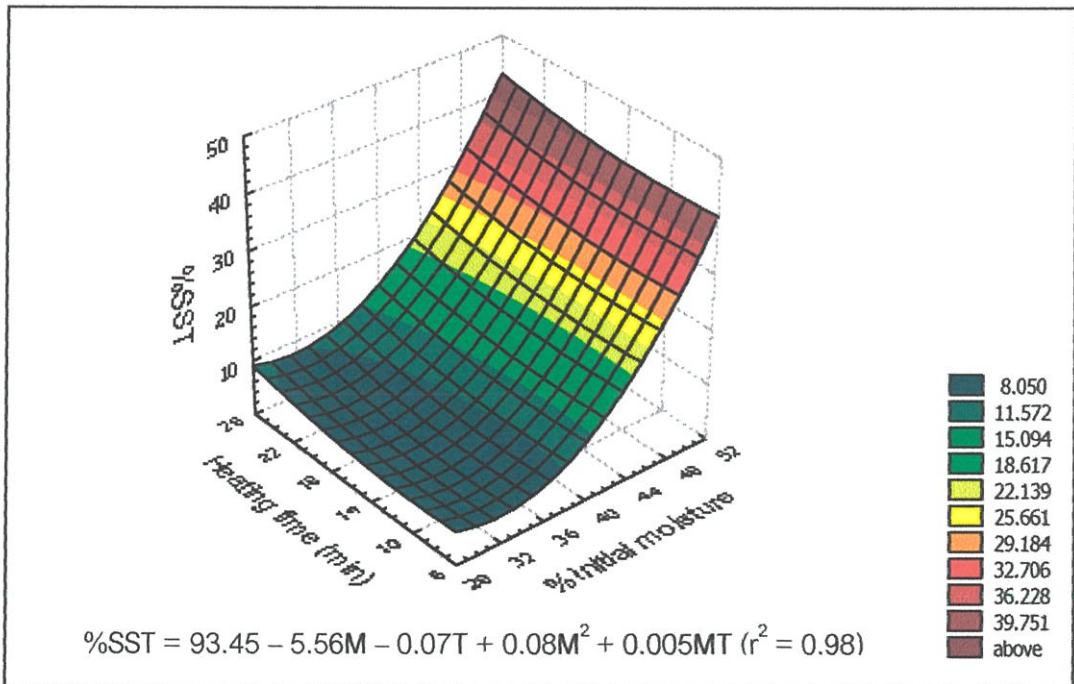
จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง.) แบบแฟคทอเรียลพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.913 (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน 0.160 (low positive) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ โดยทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน 0.366 (medium positive) (ตารางที่ 4.5) จากภาพที่ 4.3. เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้นความสามารถในการอุ้มน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นเดียวกับความสามารถในการละลายน้ำ โดยปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ระดับต่ำ และเวลาในการให้ความร้อนสูงความสามารถในการอุ้มน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ระดับสูง และเวลาในการให้ความร้อนสูงความสามารถในการอุ้มน้ำมีแนวโน้มต่ำลงเนื่องจากเกิดอุณหภูมิต่ำ (ตารางที่ 4.3) จากไมโครเวฟทำให้ปริมาณความชื้นลดต่ำลง เกิดการให้ความร้อนแก่แป้งที่มีความชื้นต่ำ จนเกิดการแตกพันธินในซัน (Lewandowicz and et al. 1996) ทำลาย  $\alpha$ -D-(1,4) หรือ  $\alpha$ -D-(1,6) glucosidic bond ภายในโครงสร้างเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด .2543) แป้งจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง



ภาพที่ 4.3. ความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยพีระเจลาตินในซันด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.3. ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shearing stability :%SST)

เมื่อนำของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์เข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์มาทำการวิเคราะห์ค่าความคงทนต่อแรงเฉือน (ภาคผนวก ก) นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อความคงทนต่อแรงเฉือน แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความคงทนต่อแรงเฉือนได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น 0.936 (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน 0.227 (low positive) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ (ตารางที่ 4.5) จากภาพที่ 4.3. โดยเมื่อพิจารณาภาพที่ 4.4 เมื่อความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น แป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟมีความคงทนต่อแรงเฉือนสูงขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Narkrugsa (1996)

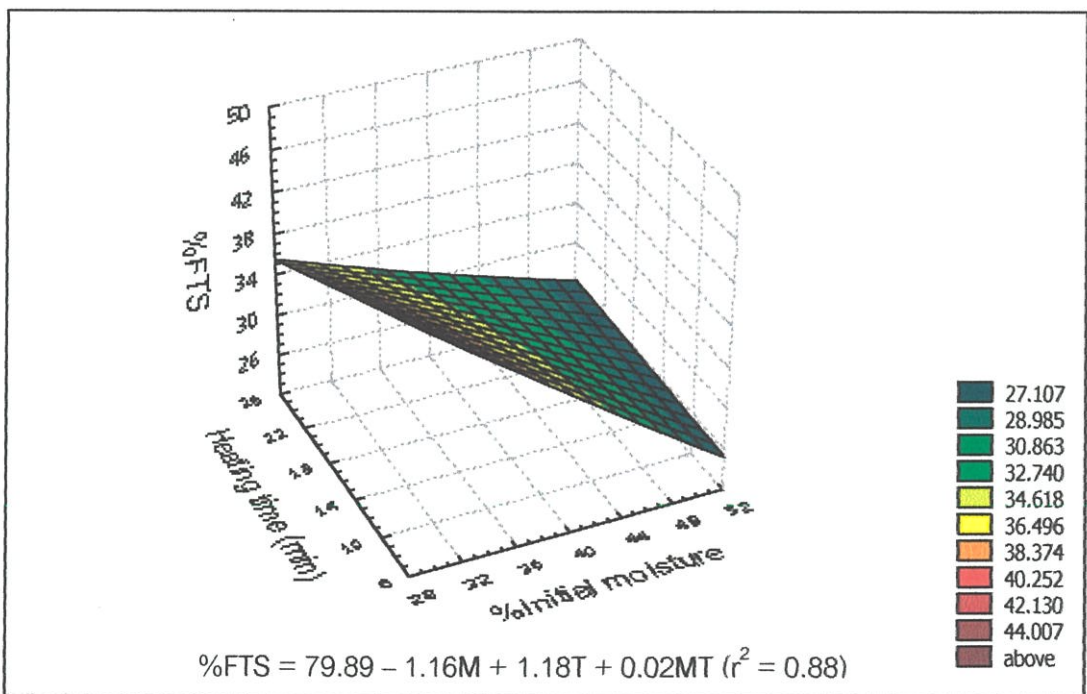


ภาพที่ 4.4. เปอร์เซ็นต์ความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ระดับปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.4 ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง (Freeze thaw stability : %FTS)

จากการนำของผสม (paste) แป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ มาแช่เยือกแข็งใน deep freezer ที่อุณหภูมิ  $-10$  องศาเซลเซียส นาน 7 วัน จากนั้นนำมาทำการละลายที่อุณหภูมิ  $30$  องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง (ภาคผนวก ก) และวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสม เมื่อนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมหลัง

การละลาย แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย เช่นเดียวกับผลการศึกษาค่าความคงทนต่อแรงเฉือน เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น  $-0.888$  (high negative) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน  $-0.419$  (medium negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ (ตารางที่ 4.5) จากภาพที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่แยกจากของผสมมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าแป้งมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งสูงขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Narkrgsa (1996) เนื่องจากกระบวนการ heat – moisture treatment จะช่วยปรับความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งได้ (Eliasson.1996) เห็นได้ชัดเจนจากการศึกษาคุณสมบัติของของผสมเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนคนด้วยเครื่อง RVA ที่ค่า Setback ลดต่ำลง แสดงให้เห็นว่าแป้งมีการจัดเรียงตัวคืน และเกิดการ syneresis ต่ำลง (ภาพที่ 4.10)



ภาพที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งของแป้งกล้วยฟรีเจลาตินไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.5. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

เมื่อนำแป้งกล้วยฟรีเจลาตินไนซ์ด้วยไมโครเวฟ มาทำให้สุกภายในหลอดทดลอง จากนั้นนำหลอดทดลองมาวางบนกระดาษกราฟ (ภาคผนวก ก) วัดระยะทางการไหลของแป้งสุกบนกระดาษกราฟ เพื่อจัดประเภทของความคงตัวของแป้งสุกตาม Juliano (1980) พบว่าที่ปริมาณ

ความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ แป้งสุกมีระยะทางการไหลในช่วง 68 – 69 มิลลิเมตร จัดเป็นแป้งที่มีความคงตัวอ่อน และที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีระยะทางการไหลของแป้งสุกในช่วง 42 – 47 มิลลิเมตร จัดเป็นแป้งที่มีความคงตัวแข็ง (ตารางที่ ๑1) เมื่อนำผลระยะทางการเคลื่อนไหลของแป้งมาวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วยมีผลต่อระยะทางการไหลของแป้ง แต่เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อระยะทางการไหลของแป้งสุก จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้งกล้วยสูงขึ้น ระยะทางการไหลของแป้งสุกลดลง แสดงว่าแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์มีความคงตัวของแป้งสูง

ตารางที่ 4.5. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟ

	WSI	WAI	%SST	%FTS	Gel consistency
ปริมาณความ					
ชื้นเริ่มต้น (X)	0.900	0.913	0.936	-0.888	-0.882
เวลาในการให้					
ไมโครเวฟ (Y)	0.138	0.160	0.227	-0.419	-0.208
XY	0.417	0.366	0.548	-0.552	-0.322
X <sup>2</sup>	0.926	0.932	0.957	-0.885	-0.855
Y <sup>2</sup>	0.062	-0.002	0.141	-0.130	-0.192

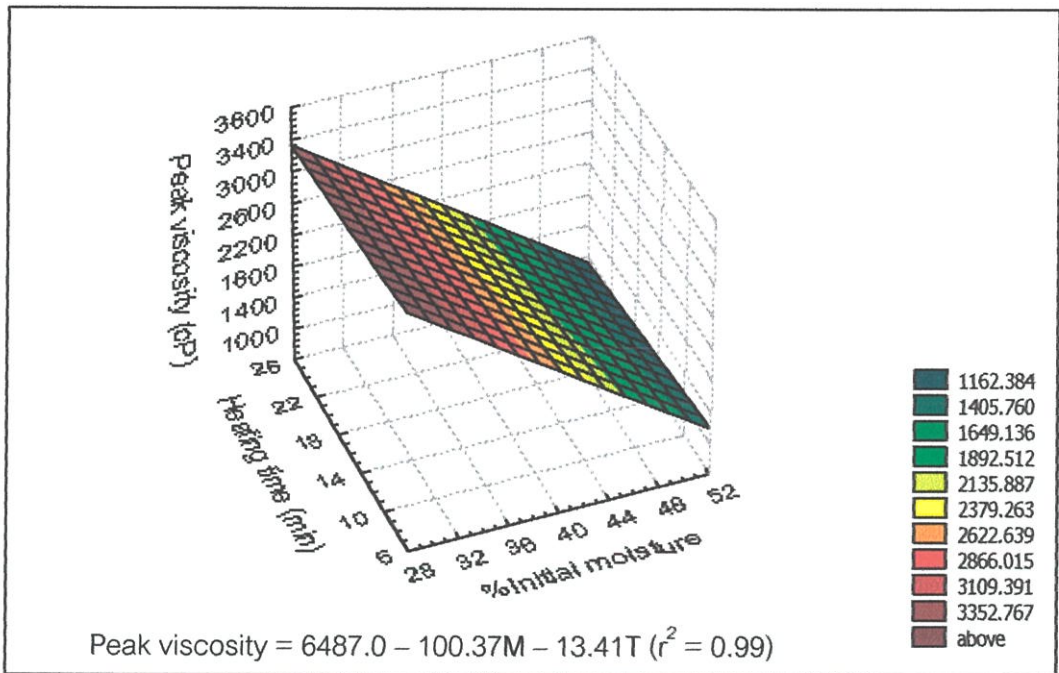
#### 4.3.6. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของผสม (paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคน

จากการตรวจคุณสมบัติด้านความหนืดของของผสมแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์ที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ก) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) พบว่า

##### 4.3.6.1. ค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียลพบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีผลต่อค่าความหนืดสูงสุด แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสอง เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าค่าความหนืดสูงสุดได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น -0.992 (high negative) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิ

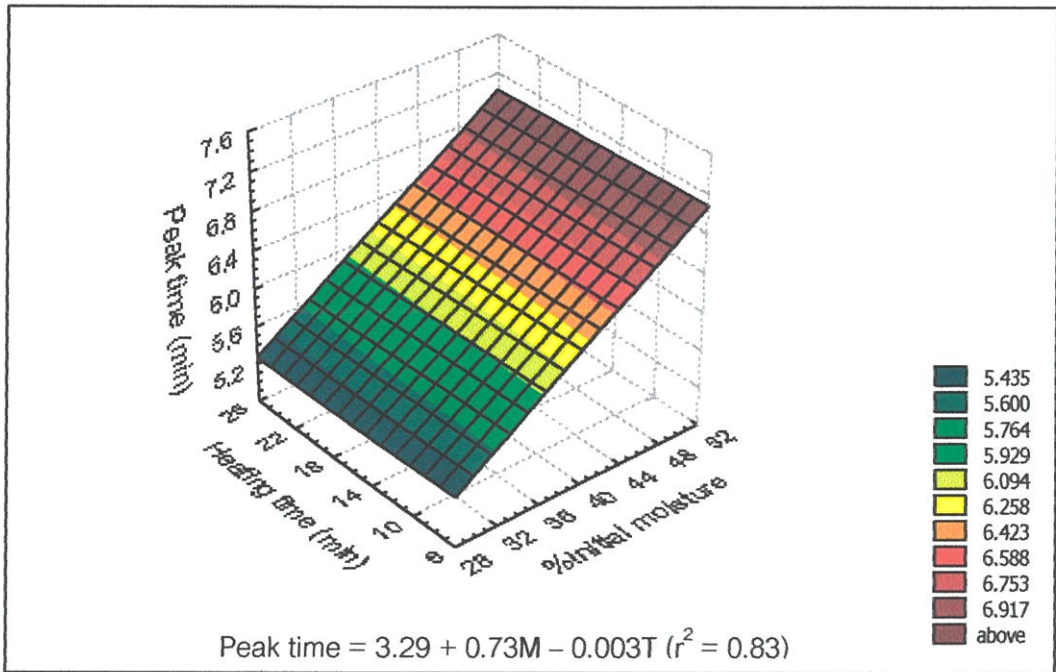
ผลจากเวลาในการให้ความร้อน  $-0.268$  (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ (ตารางที่ 4.6) โดยเมื่อพิจารณาภาพที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง สัมพันธ์กับผลการทดลองในข้อ 4.1 เมื่อปริมาณความชื้นสูงขึ้น ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์สูงขึ้น แป้งมีการสุกทำให้เมื่อนำมาแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์มาผสมน้ำแล้วให้ความร้อนแป้งจึงให้ความหนืดลดลง ซึ่งเป็นไปตามการทดลองของ Anderson *et al.* (2001)



ภาพที่ 4.6 ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.6.2. เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด (Peak time)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีผลต่อค่าเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด แต่ระยะเวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อค่าเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุด เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น  $0.922$  (high positive) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ (ตารางที่ 4.6) จากภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lewandowicz *et al.* (2000)



ภาพที่ 4.7 เวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดของแป้งกล้วยพรีเจลลาคัดในซัดด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

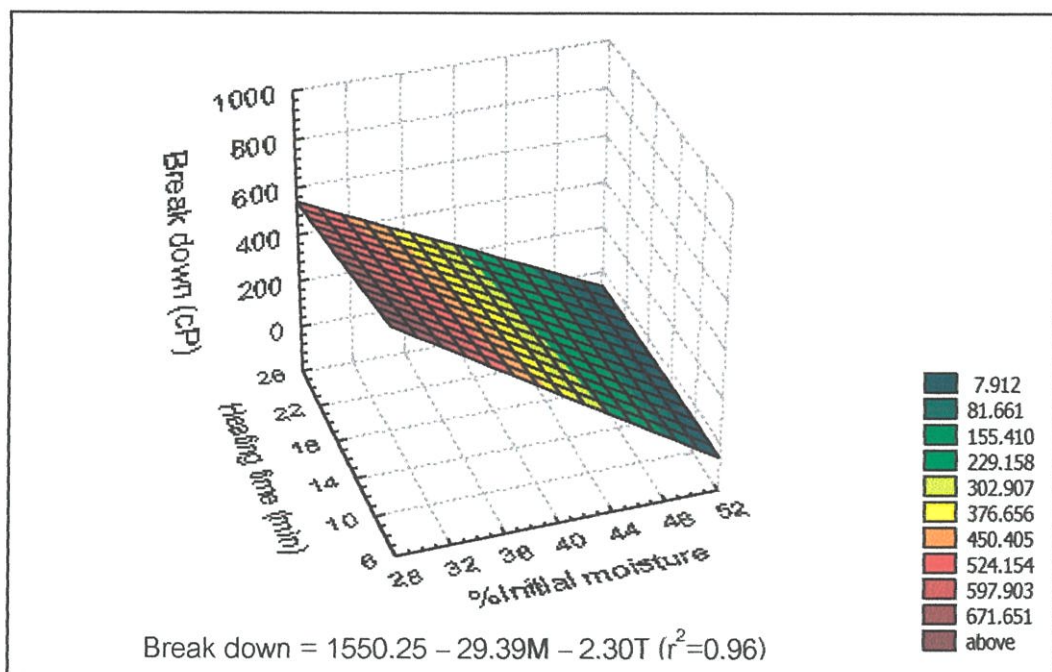
#### 4.3.6.3 อุณหภูมิในการเกิดความหนืด (Pasting temperature)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่ออุณหภูมิในการเกิดความหนืด ดังนั้นอาจมีปัจจัยตัวอื่นที่มีผลต่อค่าเวลาการเกิดความหนืด เช่น ปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคติน

#### 4.3.6.4 ค่าความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง (Break down)

เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนและเกิดการพองตัวจนถึงจุดๆหนึ่งเม็ดแป้งจะเกิดการแตกตัว ทำให้ค่าความหนืดลดลง เราสามารถหาค่าความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้งได้โดยการนำค่าความหนืดสูงสุดลบกับค่าความหนืดสุดท้ายในช่วงให้ความร้อน (trough) เมื่อนำค่าความหนืดนี้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีผลต่อค่าความหนืดของเม็ดแป้ง เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าค่าความหนืดจากการแตกตัวได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น  $-0.931$  (high negative) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน  $-0.273$  (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยมีอิทธิพล  $-0.504$  (medium negative) (ตารางที่ 4.6) โดยเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ค่าความหนืดจากการแตกตัวมีแนว

น้ำมลดลง เนื่องจากแป้งมีการเกิดเจลลาตินไนซ์และสุกส่วนหนึ่งแล้ว เมื่อนำของผสมแป้งมาให้ความร้อนอีกครั้งแป้งจึงเกิดการแตกตัวน้อยลง ดังภาพที่ 4.8



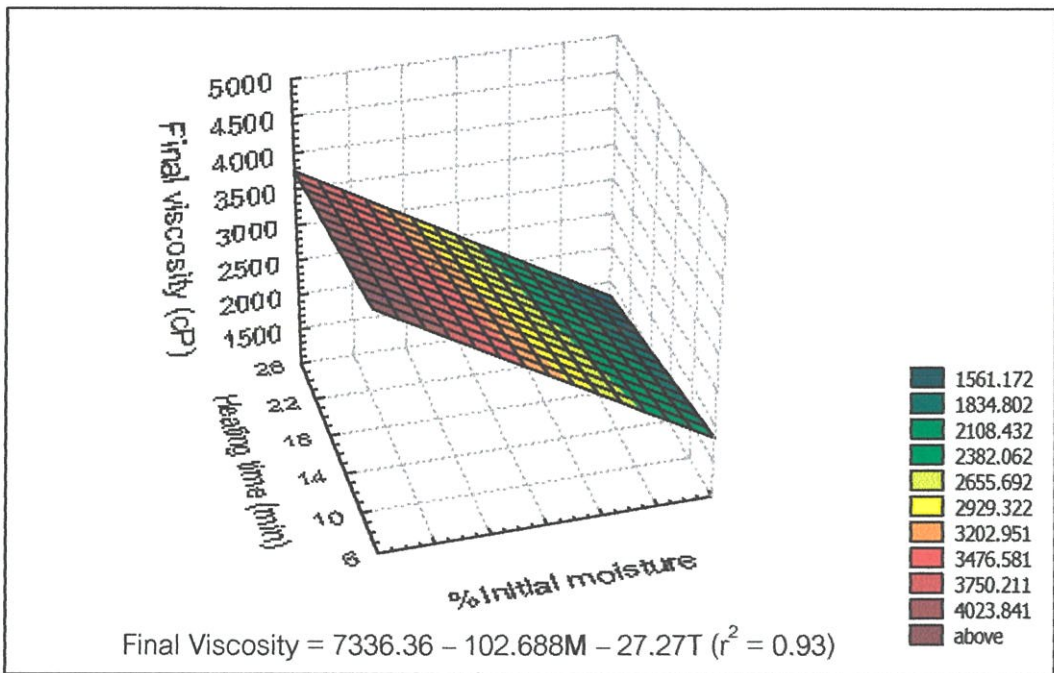
ภาพที่ 4.8 ความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้งของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.6.5. ค่าความหนืดสุดท้ายในช่วงการให้ความร้อน (Trough)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าทั้งปริมาณความชื้นเริ่มต้น เวลาในการให้ไมโครเวฟ และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อค่าความหนืดที่ลดลงจากความหนืดสูงสุด (Trough)

#### 4.3.6.6. ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity)

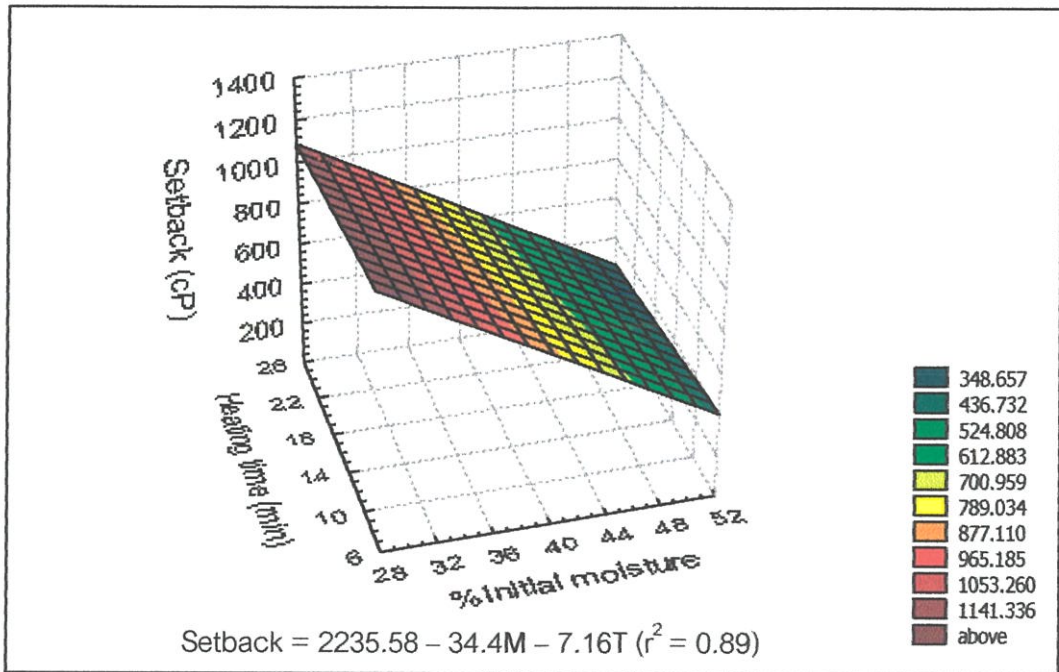
จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียลไม่พบอิทธิพลร่วมของปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟ เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น  $-0.949$  (high negative) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน  $-0.308$  (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ (ตารางที่ 4.6) จากภาพที่ 4.9 เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ความหนืดสุดท้ายมีค่าลดลงเป็นไปตามค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Anderson and et al. (2001) และของ Lewandowicz and et al. (1996 and 2000)



ภาพที่ 4.9 ความหนืดสุดท้ายของแป้งกล้วยพีระเจลดาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

#### 4.3.6.7. ความหนืดจากการคืนตัวของเม็ดแป้ง (Setback)

ค่าความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้งเป็นค่าที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเส้นโค้ง โดยค่านี้ได้จากการนำค่าความหนืดสุดท้ายลบกับค่าความหนืดสุดท้ายในช่วงการให้ความร้อน (ภาคผนวก ก) โดยเมื่อนำค่ามาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ (ภาคผนวก ง) แบบแฟคทอเรียล พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีผลต่อการคืนตัวของแป้ง แต่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างทั้งสองปัจจัย เมื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าค่าความหนืดจากการคืนตัวของเม็ดตัวได้รับอิทธิพลจากปริมาณความชื้นเริ่มต้น -0.936 (high negative) เมื่อเวลาในการให้ความร้อนคงที่ และได้รับอิทธิพลจากเวลาในการให้ความร้อน -0.308 (low negative) เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้นคงที่ (ตารางที่ 4.6) โดยจากภาพที่ 4.10 เมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้น ค่าการคืนตัวของแป้งลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Anderson *et al.* (2001) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการไมโครเวฟลดการเกิดการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) อาจเป็นเพราะว่าโครงสร้างของแป้งถูกทำลายด้วยไมโครเวฟทำให้โครงสร้างของแป้งไม่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนในระหว่างโมเลกุล หรือภายในโมเลกุลเอง ทำให้แป้งมีค่าความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูงขึ้นดังการศึกษาข้อ 4.3.4



ภาพที่ 4.10 ความหนืดจากการแตกตัวของเม็ดแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่างๆ

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient : r) ของปัจจัยปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของผสม (paste) ที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคน

	Peak viscosity	Break down	Final viscosity	Setback	Peak time
ปริมาณความชื้น					
เริ่มต้น (X)	-0.992	-0.931	-0.949	-0.939	0.922
เวลาในการให้					
ไมโครเวฟ (Y)	-0.268	-0.273	-0.342	-0.308	0.203
XY	-0.553	-0.504	-0.607	-0.527	0.349
X <sup>2</sup>	-0.988	-0.906	-0.951	-0.917	0.888
Y <sup>2</sup>	-0.096	-0.071	-0.172	-0.106	-0.032

4.4. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยธรรมชาติ (Native banana flour : NBF) แป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ (Microwaved pregelatinized banana flour : MPBF) และแป้งกล้วยละลายในน้ำเย็นตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์ (Granular cold water soluble banana flour : GCWSBF)

จากการนำแป้งกล้วยที่ระยะความแก่ 90 เปอร์เซ็นต์มาทำการตัดแปรให้เป็นแป้งกล้วยละลายน้ำเย็น (ภาคผนวก ค : Bello – porez and *et al.* 2000) จากนั้นนำมาหาระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ พบว่ามีระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ 85.77 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการเปรียบเทียบกับแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ไมโครเวฟ 8 นาที เนื่องจากมีระดับการเกิดเจลลาคีไนซ์ที่ใกล้เคียงกันคือ 83.89 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3)

เมื่อพิจารณตารางที่ 4.7 พบว่า GCWSBF มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ค่าความสามารถในการละลายน้ำ ความคงทนต่อแรงเฉือน และการแช่เยือกแข็งดีกว่า MPBF และแป้งกล้วยธรรมชาติ เนื่องจากกระบวนการตัดแปรแป้งด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้น เป็นการตัดแปรแป้งที่ไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่ได้มีลักษณะเรียบ มีความยืดหยุ่น มันเงา และมีความแข็งแรงสูง (Chen and Jane . 1992) แต่ MPBF มีความคงตัวของแป้งสูงจัดเป็นแบบปานกลาง ในขณะที่ GCWSBF มีความคงตัวของแป้งสูงจัดเป็นแบบอ่อนเช่นเดียวกับแป้งกล้วยธรรมชาติ อีกทั้ง MPBF นั้นความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความคงทนต่อแรงเฉือนและการแช่เยือกแข็งดีกว่าแป้งกล้วยดิบที่ไม่ผ่านไมโครเวฟ ดังการทดลองของ McArthur *et al.* (1981)

#### 4.4.1. เปรียบเทียบด้านคุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วยน้ำว้าธรรมชาติ แป้งกล้วยพีรีเจลลาคีไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ (MPBF) และแป้งกล้วยตัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์\* (GCWSBF)

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	แป้งกล้วยธรรมชาติ	MPBF	GCWSBF
ความสามารถในการอุ้มน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	124.72 ± 2.51 <sup>a</sup>	343.29 ± 6.87 <sup>b</sup>	431.05 ± 16.69 <sup>c</sup>
ความสามารถในการละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	1.34 ± 0.19 <sup>a</sup>	11.45 ± 0.19 <sup>b</sup>	32.3 ± 0.27 <sup>c</sup>
ความคงทนต่อแรงเฉือน (เปอร์เซ็นต์)	8.46 ± 0.19 <sup>a</sup>	36.84 ± 0.68 <sup>b</sup>	60.47 ± 0.90 <sup>c</sup>
ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง (เปอร์เซ็นต์)	57.83 ± 2.59 <sup>c</sup>	28.03 ± 0.52 <sup>b</sup>	22.28 ± 0.56 <sup>a</sup>
ความคงตัวของแป้งสุก** ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)	ปานกลาง 68.50 ± 0.71 <sup>b</sup>	ปานกลาง 49.0 ± 1.41 <sup>a</sup>	อ่อน 104.83 ± 1.65 <sup>c</sup>

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

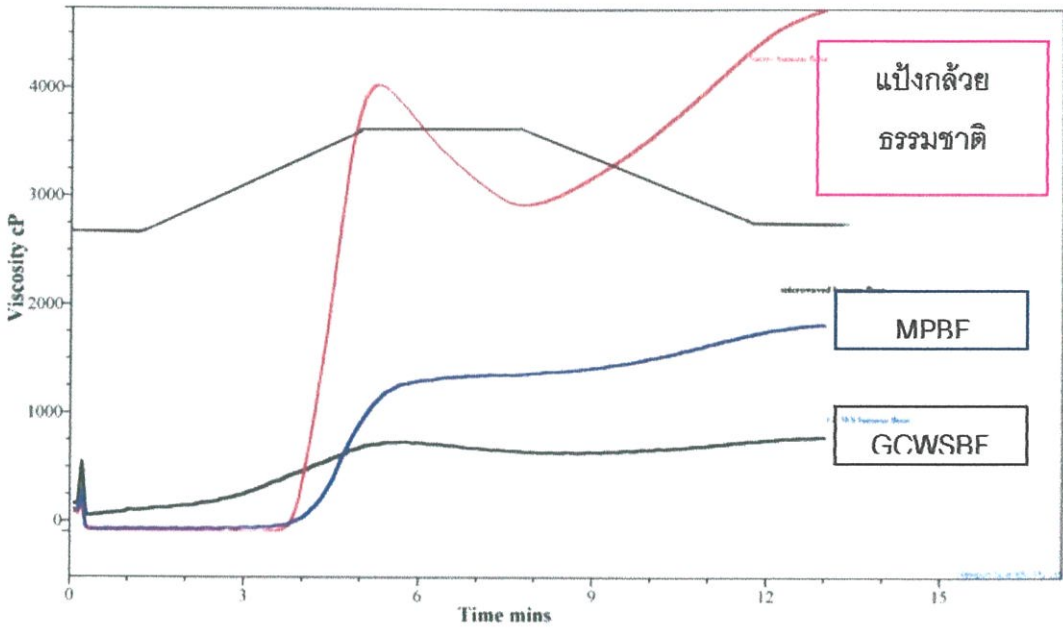
ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ในแนวนอน

\*\* การจัดแบ่งประเภทความคงตัวของแป้งสุก

ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)	ความคงตัวของแป้งสุก
25 – 40	แข็ง
41 – 60	ปานกลาง
61 – 100	อ่อน

#### 4.4.2. เปรียบเทียบคุณสมบัติของของผสมแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนคนเมื่อตรวจ Rapid visco analyzer (RVA)

เมื่อนำแป้งกล้วยธรรมชาติ PMBF และ GCWSBF มาทำการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องตรวจความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) โดยใช้ความเข้มข้นของของผสมแป้ง 8 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแป้งทั้ง 3 ชนิดมีผลการเปลี่ยนแปลงบนค่าเส้นโค้งความหนืดแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าบดเส้นโค้งความหนืดของแป้งกล้วยธรรมชาติ MPBF และ GCWSBF

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบดเส้นโค้งความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) ของแป้งกล้วยน้ำว้าธรรมชาติ แป้งกล้วยฟรีเจลลาตินไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ (MPBF) และแป้งกล้วยดัดแปรด้วยด่างและแอลกอฮอล์\* (GCWSBF)

ค่าบดเส้นโค้งความหนืด	แป้งกล้วยธรรมชาติ	MPBF	GCWSBF
peak viscosity (cP)	4017.25 ± 44.90 <sup>c</sup>	1322.75 ± 21.57 <sup>b</sup>	699.25 ± 24.39 <sup>a</sup>
trough (cP)	3023.00 ± 61.52 <sup>c</sup>	1331.25 ± 15.91 <sup>b</sup>	604.25 ± 20.86 <sup>a</sup>
break down (cP)	1019.25 ± 71.06 <sup>b</sup>	85.25 ± 0.35 <sup>a</sup>	102.50 ± 0.00 <sup>c</sup>
final viscosity (cP)	4749.25 ± 8.34 <sup>c</sup>	1835.50 ± 35.35 <sup>b</sup>	757.00 ± 7.78 <sup>a</sup>
setback (cP)	1726.25 ± 70.36 <sup>c</sup>	504.25 ± 19.46 <sup>b</sup>	139.00 ± 0.71 <sup>a</sup>
peak time (min.)	5.33 ± 0.09 <sup>a</sup>	6.94 ± 0.02 <sup>b</sup>	5.72 ± 0.03 <sup>a</sup>
peak temperature (0c)	83.17 ± 0.53 <sup>b</sup>	84.12 ± 2.51 <sup>b</sup>	58.77 ± 0.49 <sup>a</sup>

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

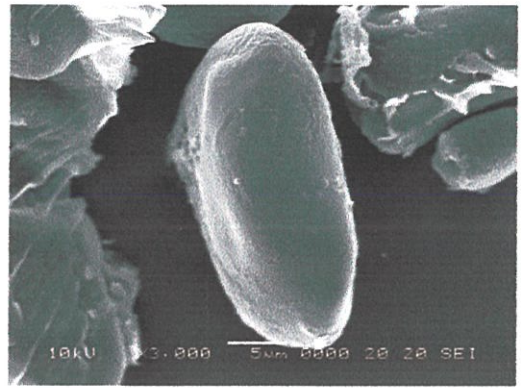
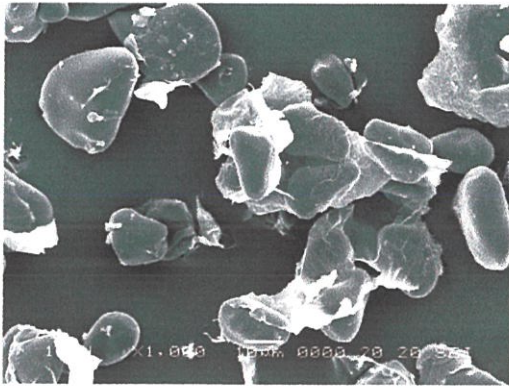
ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ในแนวนอน

จากตารางที่ 4.8 พบว่าการดัดแปรแป้งกล้วยทั้ง 2 วิธีนี้ทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดที่ลดลงจากความหนืดสูงสุด (trough) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าการคืนตัวของเม็ดแป้ง (setback) ลดลง โดย GCWSBF มีค่าเหล่านี้ต่ำที่สุด ยกเว้นค่าการแตกตัวของเม็ดแป้ง (break down) MPBF จะมีค่าต่ำสุด ผลของการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยไมโครเวฟนั้นเป็นผลให้ MPBF มีค่าเวลาการเกิดความหนืดสูงสุด (peak time) และอุณหภูมิการเกิดความหนืด (pasting temperature) สูงขึ้น เป็นไปตามการทดลองของ Lewandowicz *et al.* (1996)

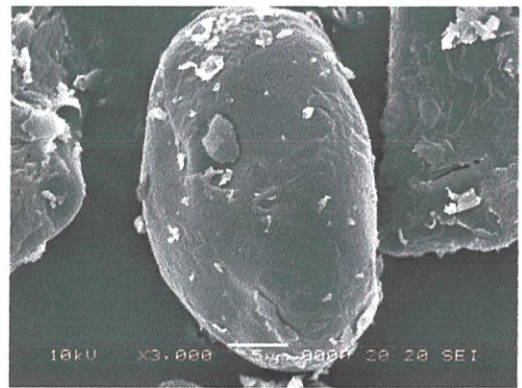
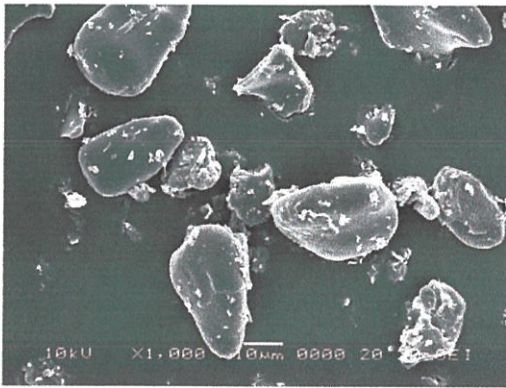
จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า GCWSBF สามารถละลายได้ดีในน้ำ และให้ความหนืดทันที โดยมีค่าอุณหภูมิที่เกิดความหนืดต่ำที่สุด คือ 58.77 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.8) การดัดแปรแป้งทั้ง 2 วิธีนี้สามารถช่วยลดค่าการคืนตัวของเม็ดแป้ง (setback) ได้ดี เมื่อเทียบกับแป้งกล้วยธรรมชาติ จึงช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชัน ส่งผลให้แป้งดัดแปรทั้ง 2 วิธีนี้มีค่าความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง และค่าความคงทนต่อแรงเฉือนสูงกว่าแป้งดิบ

แป้งกล้วยดัดแปรด้วยต่างและแอลกอฮอล์นั้นสามารถละลายน้ำและให้ความหนืดได้ทันที ดีกว่าแป้งกล้วยธรรมชาติ และแป้งกล้วยฟรีเจลลาตินไนซ์ด้วยต่างและแอลกอฮอล์ เนื่องจากแป้งกล้วยเป็นแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ต่างและแอลกอฮอล์ไปช่วยในการคลายเกลียวของโครงสร้างอะไมโลส ทำให้แป้งสามารถละลายน้ำและให้ความหนืดได้ทันที (Chen and Jane .1994)

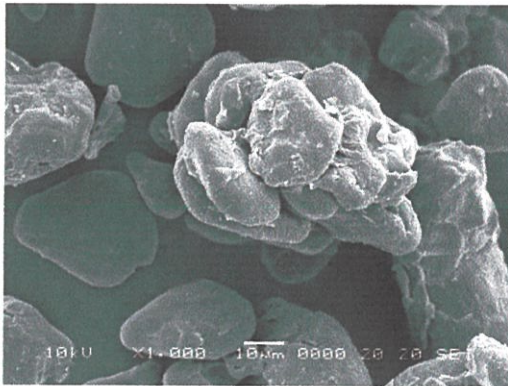
#### 4.4.3. เปรียบเทียบลักษณะเม็ดแป้งด้วย Scanning electron microscope



(A)



(B)



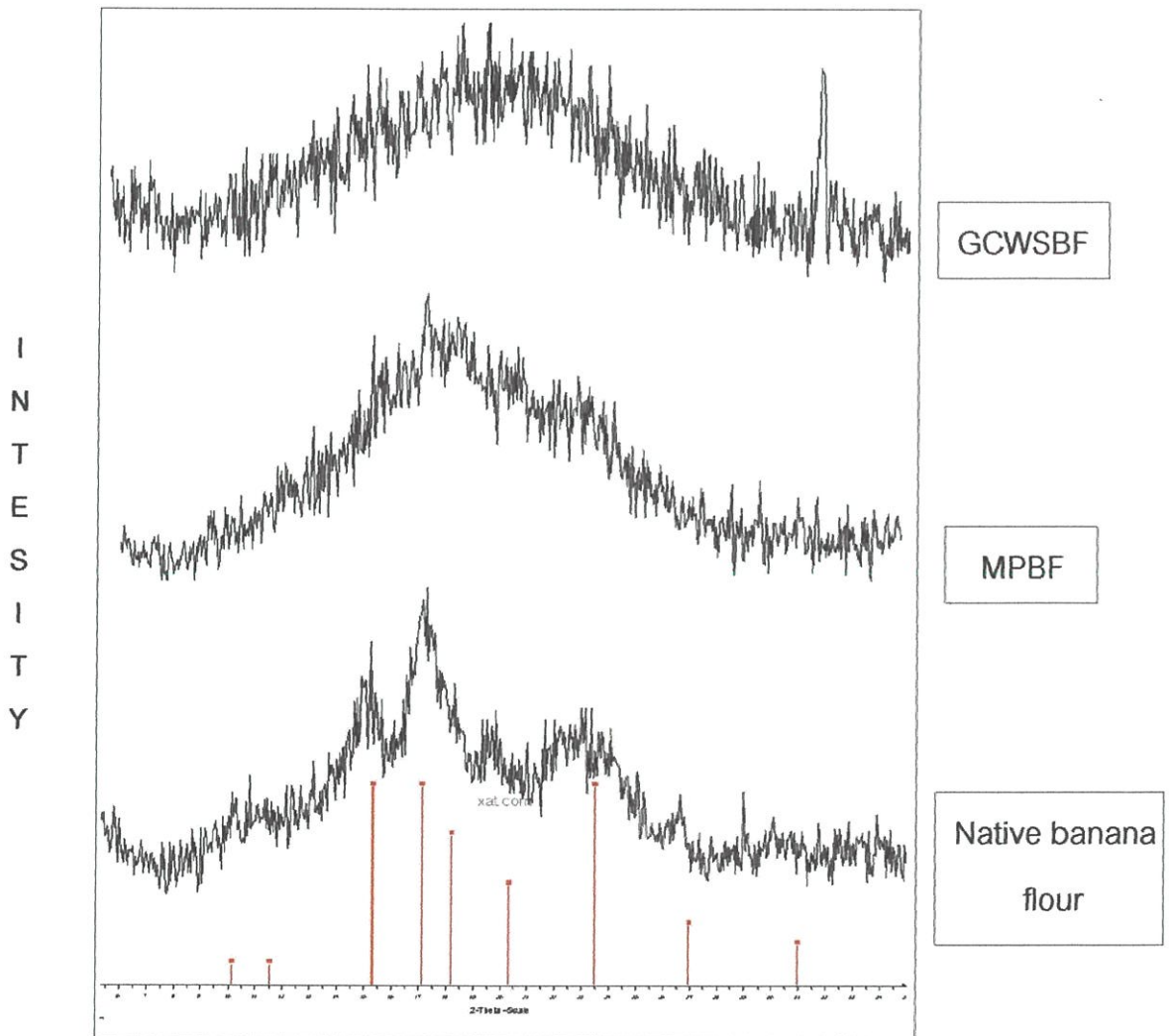
(C)

ภาพที่ 4.12 ลักษณะของเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

(A) แป้งกล้วยธรรมชาติกำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า (B) MPBF กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า (C) GCWSBF กำลังขยาย 1000 และ 3000 เท่า

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบลักษณะเม็ดแป้งกล้วยธรรมชาติ MPBF และ GCWSBF จะเห็นได้ว่าเมื่อแป้งกล้วยผ่านกระบวนการไมโครเวฟ ในสภาวะที่มีความชื้น แป้งจะเกิดความร้อน และเกิดการเจลลาติไนซ์ ทำให้แป้งที่ได้มีการพองตัวใหญ่กว่าแป้งกล้วยธรรมชาติ ประมาณ 2 เท่า ทำให้ความหนืดของแป้งกล้วยที่เจลลาติไนซ์ต่ำ และมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพด้านอื่น ในขณะที่ GCWSBF จะมีลักษณะเม็ดแป้งที่เหี่ยวและแฟบ เนื่องจากการใช้แอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการตัดแปรรูปโมเลกุลน้ำออกจากเม็ดแป้ง ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าว ดังนั้นแป้ง GCWSBF จึงสามารถละลายได้ในน้ำเย็น และให้ความหนืดทันที ซึ่งลักษณะการเหี่ยวและแฟบของแป้งนั้นจะขึ้นกับปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพคตินด้วย ทำให้มีผลต่อค่าการละลายน้ำด้วย (Chen and Jane . 1994)

#### 4.4.4. เปรียบเทียบลักษณะในส่วนผลึก (crystalline region) ของเม็ดแป้งด้วย X-ray diffraction pattern



ภาพที่ 4.13 ลักษณะในส่วนผลึกของเม็ดแป้งกล้วยดิบ MPBF และ GCWSBF จาก X-ray diffraction pattern

จากการนำแป้งทั้ง 3 ชนิดไปวิเคราะห์ลักษณะผลึกเพื่อดู X-ray diffraction pattern ดังภาพที่ 4.13 พบว่าแป้งกล้วยน้ำว้าธรรมชาติมี pattern เดียวกับสตาร์ชจากธัญพืช จึงจัดเป็นแป้งชนิด A-type เช่นเดียวกับแป้งกล้วยพันธุ์ Marcho และ Criollo (Bello-porez *et al.* 1999) เมื่อนำแป้งกล้วยมาผ่านกระบวนการไมโครเวฟ พบว่าลักษณะผลึกของแป้ง MPBF มีการเปลี่ยนแปลงไป แสดงให้เห็นว่าไมโครเวฟทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในส่วนผลึกของเม็ดแป้งแบบ A-type ซึ่งเป็น pattern ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ และอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีไนซ์สูง มีการเปลี่ยนแปลง เป็นผลให้แป้งมีความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพด้านอื่นๆเมื่อเทียบกับแป้งกล้วยธรรมชาติ เช่นเดียวกันกับแป้ง GCWSBF การดัดแปรแป้งด้วยด่างและแอลกอฮอล์ทำให้ลักษณะผลึกเปลี่ยนแปลงไป ดังการทดลองของ Chen and Jane (1994) ที่ทำการดัดแปร normal maize ด้วยด่างและแอลกอฮอล์ ลักษณะในส่วนผลึกของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก A-type เป็น V-type โดยด่างทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งเกิดการพองตัว (swelling) double-helix ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินคลายตัวเป็น single – helical และทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลแป้ง จากนั้นแอลกอฮอล์จะฟอร์มตัวกับโครงสร้างที่คลายตัวของเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างแบบ V-type ทำให้แป้งสามารถละลายได้ในน้ำเย็น เมื่อเปรียบเทียบลักษณะผลึกของแป้ง MPBF กับ GCWSBF พบว่าลักษณะผลึกของ GCWSBF มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า MPBF (ภาพที่ 4.13) ทำให้ GCWSBF มีความสามารถในการละลายน้ำสูงกว่า MPBF และมีคุณสมบัติทางกายภาพด้านอื่นๆแตกต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

5.1. จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยน้ำว่าจากกล้วยที่ระยะความแก่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแป้งกล้วยมีปริมาณสตาร์ช 69.64 เปอร์เซ็นต์ มีอะไมโลส 31.08 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 688 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

5.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้น (X) และเวลาในการให้ไมโครเวฟ (Y) ต่อระดับการเกิดเจลลาติไนซ์สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์แบบ multiple regression ได้ดังนี้

$$\%DG = 288.40 - 17.5M + 3.58T + 0.27M^2 - 0.12MT \quad (r^2=0.96 \text{ ที่ } P \leq 0.05)$$

โดยจากการทดลองที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ไมโครเวฟ 8 นาที เกิดการเจลลาติไนซ์สูงสุด (83.89 เปอร์เซ็นต์)

5.3. จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ (Correlation coefficient : r) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพล high positive และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีอิทธิพล low negative ต่อระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ ปริมาณความชื้นที่เหลือ และอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการไมโครเวฟ

5.4. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟ พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเริ่มต้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟสูงขึ้นทำให้คุณสมบัติในด้านความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง และความคงตัวของแป้งสุกสูงขึ้น

5.5. จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ (Correlation coefficient : r) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความคงทนต่อแรงเฉือน high positive (0.900, 0.913 และ 0.936) ตามลำดับ และมีอิทธิพลต่อความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง และความคงตัวของแป้งสุก high negative (-0.888 และ -0.882) ตามลำดับ

5.6. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ไมโครเวฟต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าบวมเส้นโค้งความหนืดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer : RVA) พบว่าปริมาณความชื้น และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีผลทำให้ค่า peak viscosity , break down , final viscosity และค่า setback ลดลง ค่า peak time สูงขึ้น แต่ไม่มีอิทธิพลต่อค่า pasting temperature และค่า trough

5.7. จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ (Correlation coefficient : r) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีอิทธิพล high negative ต่อ peak viscosity ,break down , final viscosity และค่า setback (-0.992,-0.931,-0.949 และ-0.939) ตามลำดับ และเวลาในการให้ไมโครเวฟมีอิทธิพล low negativeต่อค่า peak viscosity , break down , final viscosity และค่า setback (-0.268,-0.293,-0.342 และ-0.308) ตามลำดับ แต่มีอิทธิพล high positive (0.922) และ low positive (0.203) ต่อค่า peak time

5.8. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยธรรมชาติ (Native banana flour) แป้งกล้วยพรีเจลลาคิดในซึ่ด้วยไมโครเวฟ (Microwaved pregelatinized banana flour : MPBF) และแป้งกล้วยละลายน้ำเย็นด้วยต่างและแอลกอฮอล์ (Granular cold water soluble banana flour : GCWSBF)

5.8.1. GCWSBF มีคุณสมบัติทางกายภาพในด้านความสามารถในการละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความคงทนต่อแรงเฉือน และความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งสูงกว่า MPBF และแป้งกล้วยดิบ แต่ในด้านความคงตัวของแป้งสุก MPBF จัดเป็นแป้งประเภทที่มีความคงตัวแบบแข็ง ในขณะที่ GCWSBF มีความคงตัวของแป้งสุกจัดเป็นประเภทอ่อน

5.8.2. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าบวมเส้นโค้งความหนืด เมื่อพิจารณาจากเส้นโค้งความหนืดพบว่า GCWSBF มีความสามารถให้ความหนืดได้ทันทีที่อุณหภูมิต่ำกว่า MPBF และแป้งกล้วยดิบ โดยมีค่า peak viscosity ค่าtrough ค่าbreak down ค่าfinal viscosity ค่า setback และค่า peak time ต่ำกว่า MPBF และแป้งกล้วยธรรมชาติ

5.7.3. กระบวนการตัดแปรมีผลทำให้ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อส่องด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) เปลี่ยนแปลงไปจากแป้งกล้วยธรรมชาติ โดย MPBF จะมีลักษณะของเม็ดแป้งที่พองตัวใหญ่ขึ้นจากแป้งกล้วยดิบ แต่ GCWSBF จะมีลักษณะเม็ดแป้งเหี่ยวและแฟบ

5.7.4. การตัดแปรแป้งกล้วยให้เป็น GCWSBF และ MPBF ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะผลึกของเม็ดแป้งเมื่อวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction โดย GCWSBF มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผลึกแตกต่างกับ MPBF ทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน

## บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมวิชาการเกษตร. 2544. **สถิติการเกษตรของประเทศไทย. ปีการเพาะปลูก 2535-2544.** กรุงเทพฯ : ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร . 2543 . **เอกสารส่งเสริมธุรกิจเรื่องกล้วย .** กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ . กรุงเทพฯ .
- กรอุณา วงษ์กระจ่าง , มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ , ลัดดา แสงเดือน, สมุดตรา บุญบำรุง และ พยอม อัดถวิบูลย์. 2539. **สรุปผลการดำเนินงานวิจัย โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประเภท ข. ประจำปี 2537 และ 2538 .**กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เอกสารประกอบการสัมมนา.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และสิทธิโชค วัลลภาพิศย์ . 2539 . **แบ่งดัดแปร . อดสาหกรรมเกษตร . 7 (1) : 51 – 57.**
- จรรย์ พานิชยกุล . 2537. **การเปลี่ยนแปลงระหว่างการทำไร่แบ่งสูง . วารสารจารย์พา . 11 : 22 – 24.**
- ชลธิรา บุญเรืองยา. 2545. **การศึกษาอายุการเก็บรักษาแบ่งกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ.**
- ญาณิศา รัตอาภา, วิภา สุโรจนะเมธากุล, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, ตวิษา โลหะนะ, ไพลิน ผู้พิพัฒน์ และ วารุณี ประดิษฐ์ศรีกุล. 2536. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแบ่งกล้วย. วารสารอาหาร.ปีที่ 23(3) : 197-208.**
- เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. 2542. **กล้วยไทยสุปี 2000.** กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร. เอกสารประกอบการสัมมนา.
- दनัย บุญยเกียรติ. 2540. **สรีระวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.**
- เบญจมาศ ศิลาชัย. 2538. **กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ประชาชน จำกัด : กรุงเทพฯ .**
- วลัย หุตะโกวิท, นุชบา สร้อยระย้า, ดวงแข สุขไช, เพ็ญฟ้า เมฆเกรียงไกร, รัมภา สุวรรณพฤกษ์, จุฑา วิริยะ และวิไลลักษณ์ สุทธา. 2542. **กล้วยไทยสุปี 2000.** กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร. เอกสารประกอบการสัมมนา.
- วิไลลักษณ์ รัตอาภา , วิภา สุโรจนะเมธากุล , เพลินใจ ดั่งคณะกุล , เบญจมาศ ศิลาชัย และกรอุณา วงศ์กระจ่าง . 2532 . **การศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยในกลุ่ม ABB บางชนิด . อาหาร . 19(4) : 247 – 256 .**

- สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์. 2540. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วย**. กรุงเทพฯ : เอกสารประกอบการสัมมนา.
- สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น. 2545. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . กรุงเทพฯ.
- สุปราณี เต็มเตชาพงษ์ และณัฐสินี เลาหรั่งพิสิฐ . 2538 . การศึกษาอัตราการเกิดเจลลาคาติไนซ์ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวด้วยไมโครเวฟเทคนิค . ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2544. **ข้อมูลด้านการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ**. กรุงเทพฯ. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- AOAC.1995. **Official Method of Analysis**. 16 th ed. Virginia : The Association of Analysis Chemist.
- Anderson, A.K. , Guraya H.S. and Chapange, E.T. 2001 . Digestibility and pasting properties of micowave heat – moisture treated rice starch.  
[www.comex.com/techprogram/paper/344](http://www.comex.com/techprogram/paper/344).
- Bello-Perez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sanchez-Hernandez, L. and Perdes-Lopez, O. 1999. Isolation and Partial Characterization of Banana Starch. **J. Agr. Food Chem.** 47: 854-857.
- Boettger, R.M. 1963 . Pregelatinized starch on cake quality . **Cereal Sci Today** . 8(4) : 106 – 108 .
- Chatket, I. and Piansiripinyo, P. 1985 . **Banana flour and its utilization** . ASFAN work shop on food tech . Bangkok .
- Chen, J. and Jane, J. 1994 . Preparation of granular cold – water soluble starches by alcoholic alkaline treatment . **Cereal Chem.** 71(6) : 618 – 622.
- Crowther, P.C. 1979. **The Processing of Banana Product for Food Use**. London : Tropical Products Institute .
- Eastman, et al. 1984 . Cold water granular starch for gelled food composition . U.S. patent 4,465,702.
- Eastman, et al. 1984 . Cold water swelling starch composition . U.S. patent 4,634,596.
- Eliasson, A.C. 1996. **Carbohydrate in food** : Starch physicochemical and functional aspects. New York : Marcel Dekker , Inc.

- Faisant, N., Buleon, A., Colonna, P., Molis, C., Lartigue, S., Galmiche, J.P., Champ, M. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. **Br. J. Nutr.** 1995. 73: 111-123.
- Fellow, P.J. 1990. **Food processing technology principle and practice**. West Sussex: Ellis Horwood. 2nd: 505 p.
- Gallard, T. 1987. **Starch: Properties and potential**. Chichester. John Wiley & Sons. 150 p.
- Guraya, H.S. and Toledo, R.T. 1993. Determine gelatinized starch in a dry starchy product. **J. Food Sci.** 58(4): 888 – 889, 898.
- Jane, J. et al. 1991. Preparation of granular cold water swelling / soluble starches by alcoholic – alkaline. U.S. patent 5,057,157.
- Juliano, B.O., Perez, C.M., Blankenny, A.B., Castillo, T., Konksee, N., Laignelet, B., Lapis, E.T., Murty, V.S., Paule, C.M. And Webb, B.D. 1981. International Cooperative Testing on the Amylose Content of Milled Rice. **Starch/starke**. 33(5): 157-162.
- Kayisu, K., Hood, L.F., and Vousoest, P. J. 1981. Characterization of Starch and fiber of Banana Fruit. **J. Food Sci.** 46: 1885-1890.
- Ketiku, A.O. 1973. Chemical composition of unripe and ripe plantain (*Musa paradisiaca*). **J. Sci Food Agri.** 24: 703 – 707.
- Kotecha, P.M. and Desai, B.B. 1995. **Handbook of Fruit Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing: Banana**. New York. Marcel Dekker, Inc
- Lewandowicz, G., Walkowski, A. and Fornal, J. 1997. Effect of microwave radiation on physicochemical properties and structure of potato and tapioca starches. **Carbo Poly.** 34: 213 – 220.
- Lewandowicz, G., Jankowski, T. and Fornal, J. 2000. Effect of microwave radiation on physicochemical properties and structure of cereal starches. **Carbo Poly.** 42: 193 – 199.
- Lii, C.K., Chang, S.M., and Young, Y.L. 1982. Investigation of the Physical and Chemical Properties of Banana Starches. **J. Food Sci.** 47: 1493-1497.

- MacArthur, L.A. and Appolonia, B.L. 1981 . Effect of microwave radiation and storage on hard red spring wheat flour . **Cereal Chem** . 58 : 53 – 58.
- Maneesriraj,P. , Phetkoa, S. and Narkrugsa, W. 1998. Starch phosphate production by microwave technique . **Kasetsart J. (Nat. Sci)** . 32 : 234 – 241.
- Miller, L.A. , Gordon, J. and Davis, E.A. 1991 . Dielectric and thermal transition properties of chemically modified starches during heating . **Cereal Chem** . 68(5) : 441 – 448.
- Mota, R.V. , Franco, M.L. , Cesar, C. and Beatriz, R.C. 2000 . Composition and functional properties of banana flour from different varieties . **Starch/Starke** . 25 : 35 – 47.
- Muyonga, J.H. 2001. Predehydration steaming changes physicochemical properties of unripe banana flour . **J. Food Proc. Preserv** . 25 : 25 – 47 .
- Muzimbaranda C. and Tonasik P. 1994 . Microwave in physical and chemical modification of starch . **Starch / Starke** . 12 : 469 – 474 .
- Nakasone,H.Y., and Paull, R.E. **Tropical Fruits**. London : Biddles Ltd. 1998.
- Narkrugsa, W. 1993 . Study on feasibility of starch citrate production by microwave technique. In Proceeding of the 31st Kasetsart University Annual Conference February 3 - 6. Kasetsart University . Bangkok .270 – 280 .
- Narkrugsa, W. 1996 . Changes in some physicochemical properties tapioca and glutinous rice starches after microwave . **Kasetsart J. (Nat. Sci)** . 30 : 532 – 538 .
- Perez – Sira, E. 1997 . Characterization of starch isolate from plantain (*Musa paradisiaca normalis*) . **Starch / Starke** . 49 : 45 – 49 .
- Ramteke, R.S. and Eipeson,W.E. 2001. Predehydration steaming changes physicochemical properties of unripe banana flour. **J. Food Proc. Preserv**. 25 : 35-47.
- Radley,J.A. 1976 . **Examination and analysis of starch and starch products** . London : Applied Science Publisher LTD.
- Salunkhe, D.K. and Desai, B.B. 1995 . **handbook of Fruit Science and Technology : Production . Composition , Storage and Processing (Banana)** . New York , Marcel Dekker , Inc.

- Seymour, G. Taylor, J. and Tucker, G. 1993 . **Biochemistry of Fruit Ripening**. London : Chapman –Hall, Inc.
- Wills, R.B.H., Lim, J.S.K .and Greenfield, H. 1984. Changes in chemical composition of banana (*Musa acuminata*) during ripening . **J. Food Biochem.** 8 : 69-77.
- Umbach, S.L. , Davis, E.A. , Gordon, J. and Callaghan, P.T. 1992 . water self diffusion coefficient and dielectric properties determine for starch – gluten – water mixtures heated by microwave and conventional method . **Cereal Chem** . 68 : 372 – 375 .
- Yiu, S.H. , Weicz, J. and Wood, P.J. 1991 . Comparison of the effect of microwave and conventional cooking on starch and beta – glucan in rolled oats . **Cereal Chem** . 68 : 372 – 375.
- Zylema, B.J. , Grider, J.A. and Davis, E.A. 1985 . Model wheat starch systems heated by microwave irradiation and conduction with equalized heating times . **Cereal Chem** . 62(6) : 447 – 453 .

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

#### 1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC.1995)

##### วิธีการวิเคราะห์

1. นำ aluminium can ออบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ  $120 \pm 3$  องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียด ใส่ใน aluminium can
3. นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ  $120 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

#### 2. การวิเคราะห์โปรตีนแบบ Buchi-Kjeldahl-System (AOAC.1995)

##### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. กรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์
3. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์
5. คตะลิสต์ (catalyst) เตรียมโดยผสมซีลีเนียมไดออกไซด์ ( $\text{SeO}_2$ ) 2.5 กรัม โพแทสเซียมซัลเฟต ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) 100 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) 20 กรัม เข้าด้วยกัน
6. อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)
  - ก. เตรียม bromocresol green ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ และเตรียม methyl red ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

๑. ผสม bromocresol green 10 มิลลิลิตร กับ methyl red 2 มิลลิลิตร

#### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (wet basis) ใส่ลงใน Kjeldahl tube
2. เติมคตะลิส 5 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร และ glass beads 2-3 ลูก เพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรง
3. นำ Kjeldahl tube ต่อเข้ากับชุดย่อยโปรตีน ทำการย่อยจนได้สารละลายสีฟ้าใส ทิ้งให้เย็น ค่อยๆเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
4. นำหลอดที่ย่อยเสร็จแล้วใส่ในเครื่องกลั่นโปรตีน (Buchi) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้สารละลายสีน้ำตาลเข้ม ทำการกลั่น 4 นาที เก็บก๊าซแอมโมเนียที่ได้ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด
5. นำกรดบอริกที่เก็บก๊าซแอมโมเนียอยู่ภายในมาทำการไตเตรทกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนเปลี่ยนเป็นสีชมพู จุดปริมาตรกรดที่ใช้ไตเตรท
6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจาก

$$\% \text{ปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(\text{ml.HCl ที่ไตเตรทตัวอย่าง} - \text{ml.HCl ที่ไตเตรทกับblank}) \times 14 \times 0.1 \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

$$\text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} = \% \text{ ปริมาณไนโตรเจน} \times \text{factor (6.25)}$$

### 3. การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน (AOAC.1995)

#### สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

#### วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ  $120 \pm 3$  องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง หรือน้ำหนักคงที่
2. อบปีกเกอร์ไขมันและ glass beads ใน hot air oven ที่อุณหภูมิ  $120 \pm 3$  องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หรือน้ำหนักคงที่ ชั่งและบันทึกน้ำหนักของปีกเกอร์รวม glass beads
3. ชั่งตัวอย่างจากข้อ 1 ประมาณ 3 กรัม (dry basis) จุดน้ำหนักที่แน่นอน ห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ลงในทิมเบล (thimble)

4. นำทิมเบิลใส่ในเครื่องสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) เต็มปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาณเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสกัดอย่างสมบูรณ์ลงในบีกเกอร์ไขมัน ใช้เวลาสกัดประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง
5. แยกบีกเกอร์ไขมันออกจากชุดสกัด นำบีกเกอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เพื่อระเหยอีเทอร์ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
6. ชั่งน้ำหนักบีกเกอร์ คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{[(\text{น้ำหนักบีกเกอร์} + \text{น้ำหนักไขมัน}) - \text{น้ำหนักบีกเกอร์}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้}}{100 - \text{ปริมาณความชื้น}} \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย (AOAC.1995)

##### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ (w/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม (dry basis) ใส่ในบีกเกอร์ปากเรียบขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร
4. ใส่ glass beads 3 ลูก เพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรง
5. วางบีกเกอร์ลงใน digestion apparatus แล้ววาง condenser ทรงกลม เปิดวาล์วน้ำเย็นให้ไหลผ่าน ต้มให้เดือด 30 นาที
6. คนสารละลายในบีกเกอร์เพื่อไม่ให้มีของแข็งติดอยู่ข้างบีกเกอร์ นำมากรองด้วยชุดเครื่องกรอง Bushner funnel
7. ล้างกากด้วยน้ำต้ม 50 – 75 มิลลิลิตร โดยให้ผ่าน Bushner funnel ล้างซ้ำอีกครั้งด้วยน้ำต้มเพื่อล้างกรดให้หมด ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส แล้วชูดกากใส่บีกเกอร์เดิม
8. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที
9. คนสารละลายในบีกเกอร์เพื่อไม่ให้มีของแข็งติดอยู่ข้างบีกเกอร์ นำมากรองด้วยชุดเครื่องกรอง Bushner funnel

10. ล้างภาควัสดุด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์เต็ม 25 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นต้มซ้ำอีก 50 มิลลิลิตร จากนั้นล้างภาควัสดุอีกครั้งด้วยแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร
11. ชูตภาควัสดุใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (อบที่อุณหภูมิ 120 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก)
12. นำภาควัสดุและ crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 120 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
13. นำไปเผาใน Furnace จนกระทั่งได้แก่สีเทาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
14. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก
15. คำนวณหาปริมาณเยื่อใยจากสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณเยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักภาควัสดุก่อนเผา} - \text{น้ำหนักภาควัสดุหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

## 5. การหาปริมาณเถ้า (AOAC.1955)

### วิธีวิเคราะห์

1. อบ crucible ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใน hot air oven นาน 2 ชั่วโมง ทั้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัมใส่ใน crucible
3. นำไปเผาบน hot plate จนไม่มีควันและตัวอย่างเป็นสีดำ
4. นำ crucible เข้าเผาใน furnace ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเป็นสีขาวทั้งหมด
5. ทั้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักเถ้าและ crucible
6. คำนวณปริมาณเถ้าด้วยสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักเถ้าและ crucible หลังเผา} - \text{น้ำหนัก crucible ก่อนเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

## 6. การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

ร้อยละปริมาณคาร์โบไฮเดรต =  $100 - (\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} + \text{ร้อยละปริมาณโปรตีน} + \text{ร้อยละปริมาณไขมัน} + \text{ร้อยละปริมาณเยื่อใย} + \text{ร้อยละปริมาณเถ้า})$

## 7. การหาปริมาณสตาร์ช (Calcium chloride method, AOAC.1995)

### สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมให้มีความเข้มข้นของ Ca 33 เปอร์เซ็นต์
2. เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์
4. พิโตรเลียมอีเทอร์

### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแบ่ง 2 – 2.5 กรัม ใส่ในหลอดเซนทริฟิวจ์ (centrifuge tube)
2. กำจัดไขมันออกโดยเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ 10 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร
3. คนด้วยแท่งแก้ว นำไปเซนทริฟิวจ์ประมาณ 15 นาที ที่ความเร็วรอบประมาณ 8000 รอบต่อนาที
4. เทส่วนใสทิ้งจากนั้น กำจัดไขมันต่อจนใช้สารสกัดทั้งหมด 60 มิลลิลิตร
5. เติมน้ำกลั่นลงในภาชนะ 10 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว เเทลงใน erlenmyer flask 250 มิลลิลิตร
6. เติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 60 มิลลิลิตร และสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ 2 มิลลิลิตร
7. ต้มส่วนผสม 15 – 17 นาที และคนอย่างต่อเนื่อง ระวังอย่าให้เป็นฟองและติดข้าง flask
8. ทำให้เย็นทันทีและเทใส่วolumetric flask 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ หยดแอลกอฮอล์ 1 หยด ถ้าเกิดฟอง
9. กรองของผสมผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ด้วยชุด bushne funnel และ suction
10. นำส่วนใสประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ใน polarimetric tube ให้เต็ม ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ

11. นำสารละลายไปวัดค่ามุมการหมุน
12. คำนวณหาปริมาณสตาร์ชจากสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณสตาร์ช} = \frac{49 \times \text{มุมของการหมุน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

## 8. การหาปริมาณอะไมโลส (Juliano *et al.*, 1981)

### สารเคมี

1. เอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์
2. เมทานอลเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
4. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มอล
5. Potato amylose (pure)
6. สารละลายไอโอดีน (ไอโอดีน 2 กรัม + โพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร)

### วิธีวิเคราะห์

#### การทำกราฟมาตรฐานอะไมโลส

1. ชั่ง Potato amylose (pure) 0.04 กรัม ใน 100 มิลลิลิตร volumetric flask
2. เติมหิวทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าผสมให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล 9 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องเขย่า
4. นำไปต้มใน water bath 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นตั้ง standard solution ที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. บีบ standard solution 1,2,3,4 และ 5 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร
6. เติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 นอร์มอล 0.2,0.4,0.6,0.8 และ 1.0 มิลลิลิตรลงในแต่ละ volumetric flask ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
8. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

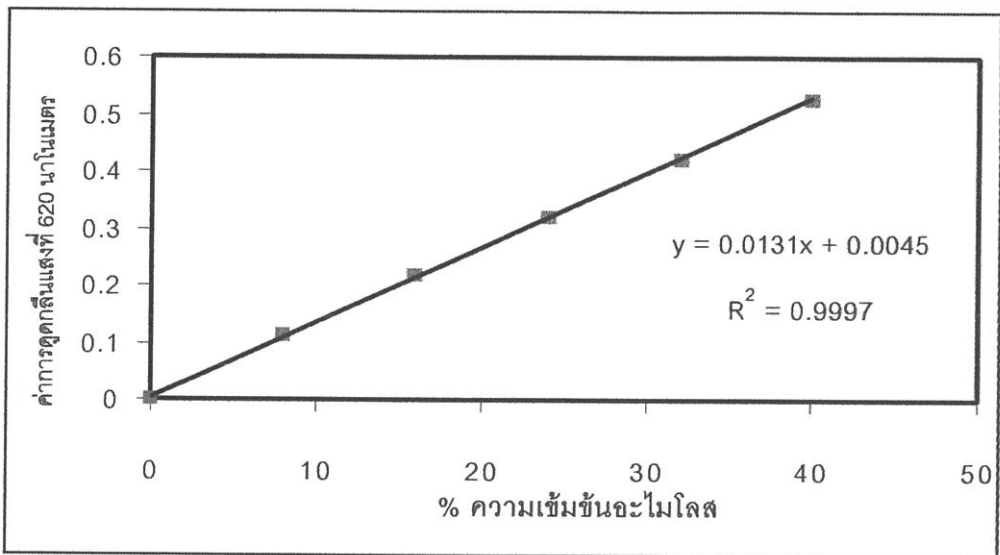
10. วาดกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของอะไมโลส (0,8,16,24,32 และ 40 เปอร์เซ็นต์) และค่าการดูดกลืนแสง .

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้ว 0.1 กรัม ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ 1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าผสมให้เข้ากัน
3. เติมสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล 9 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องเขย่า
4. นำไปต้มใน water bath 10 นาที ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นตั้ง standard solution ที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงใน volumetric flask 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร
6. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร
7. ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
8. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
9. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อะไมโลสโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ก1 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

เปอร์เซ็นต์อะไมโลส	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร
0	0
8	0.1125
16	0.218
24	0.319
32	0.422
40	0.528



ภาพที่ ก1 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

## 9. การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Dubois et al., 1956)

โดยใช้วิธี Orcinol – sulfuric assay

Sensitivity : 0 – 20  $\mu\text{g}$ . carbohydrate in 200  $\mu\text{l}$ .

Final volume : 1.0 ml.

### สารเคมี

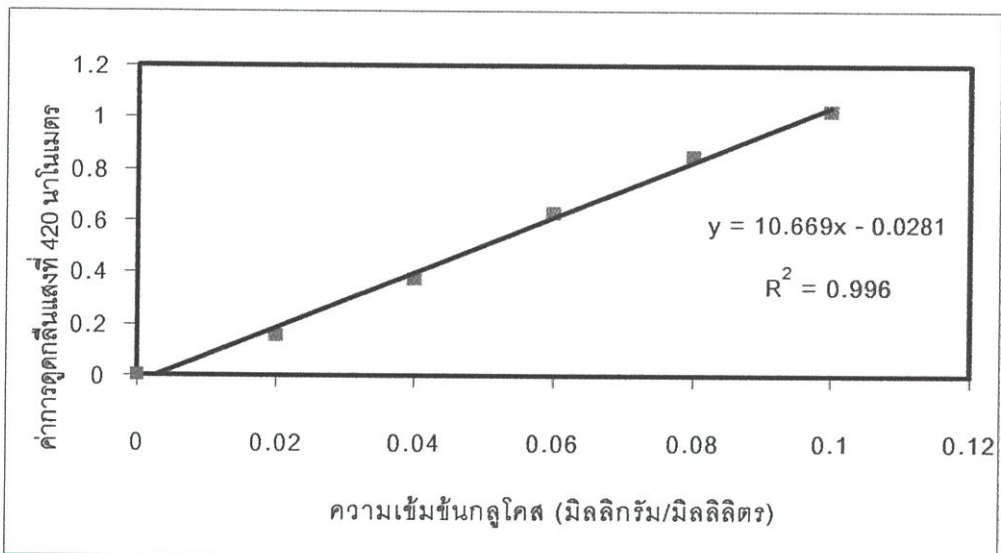
1. สารละลาย Orcinol (ละลาย Ice-cold orcinol ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร)
2. น้ำตาลกลูโคส

### วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานของกลูโคสที่ความเข้มข้น 0.002, 0.004, 0.006, 0.008 และ 0.01 เปอร์เซ็นต์ w/v
2. เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ w/v
3. นำสารละลายในข้อ 1 และ 2 มาผสมกับสารละลาย Orcinol ในอัตราส่วน 200  $\mu\text{l}$  : 800  $\mu\text{l}$ . ในหลอดทดลอง
4. นำสารละลายไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิห้อง
5. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร บันทึกผล
6. วาดกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของตัวอย่างโดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ก2 ค่ามาตรฐานการดูดกลืนแสงในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร
0	0
0.02	0.155
0.04	0.374
0.06	0.628
0.08	0.848
0.10	1.027



ภาพที่ ก2 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

## ภาคผนวก ข

### วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

#### 1. ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shearing stability , SHS : Narkruga.1996)

##### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างแป้ง 20 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นโดยให้มีน้ำหนักสุดท้าย 300 กรัม
2. ผสมของผสมด้วย rotor mixer ที่ความเร็วรอบ 240 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ด้วย Blade no. 1
3. นำของผสมมาวัดความหนืด ( $V_a$ ) ด้วย Brookfield viscometer , Spindle no. 2
4. นำของผสมไปกวนผสมอีกครั้งด้วย rotor mixer ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ด้วย Blade no. 3
5. วัดความหนืด ( $V_b$ ) อีกครั้งด้วย Brookfield viscometer , Spindle no. 2
6. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคงทนต่อแรงเฉือนด้วยสูตร

$$\% \text{ Shearing stability (SHS)} = (V_b / V_a) \times 100$$

##### เมื่อ

$V_a$  = Viscosity of sample before shearing , in centi-poise.

$V_b$  = Viscosity of sample after shearing , in centi-poise.

#### 2. ความสามารถในการอุ้มน้ำและความสามารถในการละลาย ( Water Absorption Index and Water Solubility Index , WAI and WSI : Narkruga.1996)

##### วิธีการวิเคราะห์

1. ตัวอย่างแป้ง 2.5 กรัม ( $W_0$ ) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตรในขวดชมพู
2. แช่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
3. นำของผสมมาชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) จากนั้นทำการหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
4. เทน้ำส่วนใสออกจากของผสม จากนั้นชั่งน้ำหนักของผสมที่เหลือ ( $W_2$ )
5. คำนวณหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำจากสูตร

$$\text{Water Absorption Index (WAI)} = [(W_1 - W_2) / W_0] \times 100$$

6. บีบอัดน้ำส่วนใสที่เทจากของผสม 10 มิลลิลิตร ใส่ใน aluminium can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนนำไปอบที่ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
7. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักของแข็งที่ละลายได้
8. คำนวณหาค่าความสามารถในการละลายเป็นเปอร์เซ็นต์จากน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในส่วนใสที่สามารถละลายได้

### 3. ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลาย (Freeze – Thaw Stability , FTS : Narkruga.1996)

#### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 15 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นจนมีน้ำหนักสุดท้ายเป็น 300 กรัม ในถ้วย stainless steel ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ด้วย rotor mixer ที่ความเร็ว 240 รอบต่อนาที นาน 20 นาที
2. นำของผสมเทลงในถ้วยพลาสติก แช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-10$  องศาเซลเซียส ใน deep freezer เป็นเวลา 7 วัน
3. นำของผสมมาละลายน้ำแข็งออกใน water bath ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง
4. นำของผสม 100 กรัม ทำการหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 8000 รอบต่อนาที นาน 30 นาที
5. รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ที่น้ำแยกออกมา

### 4. คุณสมบัติของของผสม (paste)เมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนและคนจากเครื่องตรวจความหนืดแบบรวดเร็ว

(Rapid visco analyzer : Mota *et al.*,2000)

#### วิธีการวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่าง ใช้แป้ง 3 กรัม น้ำกลั่น 25 กรัม ผสมให้เข้ากัน

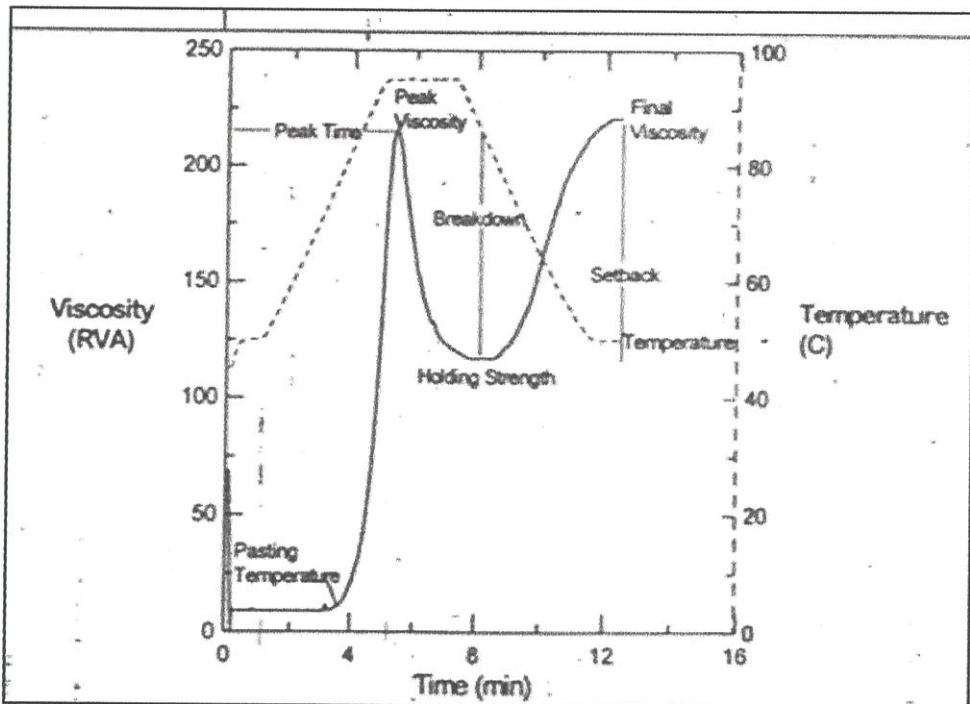
สภาวะที่ใช้สำหรับการทดสอบ

อุณหภูมิเริ่มต้น 50 องศาเซลเซียส	ใช้เวลา 1 นาที
เพิ่มอุณหภูมิจาก 50 องศาเซลเซียส ถึง 95 องศาเซลเซียส	ใช้เวลา 4 นาที
อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที	
คงไว้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	ใช้เวลา 2 นาที
ลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส	ใช้เวลา 4 นาที

อัตราการผลิตความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

คงไว้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ใช้เวลา 2 นาที



ภาพที่ ข1 แสดงตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer ; RVA)

ที่มา : จารนัย พานิชยกุล (2538)

Peak viscosity	=	ความหนืดสูงสุด
Peak time	=	เวลาที่เกิด peak ความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
Peak temperature	=	อุณหภูมิที่เกิด peak ความหนืด มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
Holding strength (trough)	=	ความหนืดสุดท้ายในช่วงให้ความร้อน
Break down	=	ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดแลความหนืดต่ำสุด
Final viscosity	=	ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง
Setback	=	ความแตกต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด
Pasting temperature	=	อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

Peak time = เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดมีหน่วยเป็นนาที

## 5. ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency : Juliano *et al.* 1980)

สารเคมี

1. 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลที่ละลาย thymol blue 0.025 เปอร์เซ็นต์
2. 0.2 นอร์มอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เตรียมโดยการละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ความบริสุทธิ์ 87 เปอร์เซ็นต์) น้ำหนัก 12.88 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรใน volumetric flask เป็น 1000 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งแป้ง  $100 \pm 1$  มิลลิกรัม ใส่ในหลอดแก้วขนาด  $13 \times 100$  มิลลิเมตร
2. เติม 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลที่ละลาย thymol blue 0.025 เปอร์เซ็นต์ 0.2 มิลลิลิตร
3. เติม 0.2 นอร์มอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2 มิลลิลิตร
4. บั่นผสมของเหลวในหลอดแก้วด้วย vortex mixer 2-3 นาที เพื่อให้แป้งลอยตัว
5. นำหลอดแก้วมาตมในน้ำเดือด ปิดด้วยลูกแก้ว ตมนาน 8 นาที ควรระวังอย่าให้ระดับน้ำสูงเกินไป โดยสังเกตที่ระดับแป้งในหลอดขึ้นสูง  $\frac{2}{3}$  ของหลอด
6. เมื่อครบ 8 นาที นำหลอดทดลองขึ้นจากน้ำเดือด บั่นด้วย vortex mixer อีกครั้ง เพื่อให้ น้ำแป้งเข้ากันทั่วถึง
7. ทำให้แป้งเย็นลง โดยการนำหลอดทดลองแช่ลงในน้ำเย็นจัดนานประมาณ 20 นาที
8. จากนั้นนำหลอดแก้ววางในแนวขนลงบนกระดาษกราฟที่มีช่องแบ่งละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร เป็นระยะเวลา 30 นาที
9. อ่านระยะทางที่แป้งสุกไหลโดยเทียบกับกระดาษกราฟ

การจัดแบ่งประเภทแป้ง

ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)	ความคงตัวของแป้งสุก
25 – 40	แข็ง
41 – 60	ปานกลาง
61 – 100	อ่อน

## 6. X-Ray Diffraction ( Chen and Jane : 1994)

สภาวะที่ใช้

Cu X-ray tube และ Nickel – foil filter

ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลท์ กระแสไฟฟ้า 25 มิลลิแอมแปร์

ขั้นตอนการสแกน 0.050/step ทุกๆ 2 นาที

## ภาคผนวก ค

### วิธีวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์

#### Degree of Gelatinization

ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ (Degree of Gelatinization : Guraya *et al.*, 1993)

#### สารเคมี

1. 10 นอร์มอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
2. 0.5 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
3. สารละลายไอโอดีน (Iodine reagent) เตรียมโดยใช้ไอโอดีน ( $I_2$ ) 1 กรัม ผสมกับโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 4 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

#### วิธีการเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. ผสมแบ่งกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 2
2. นำของผสมไป autoclave ที่ความดัน 15 psi อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส 15 นาที
3. นำของผสมที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส
4. บดผ่าน sieve ขนาด 0.12
5. ผสมแบ่งที่ผ่านการ clave และแบ่งดิบที่ไม่ผ่านการ clave ในอัตราส่วนตามระดับการเกิดเจลลาติไนซ์ โดยที่ระดับการเกิดเจลลาติไนซ์

10 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 10 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 90 ส่วน

20 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 20 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 80 ส่วน

30 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 30 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 70 ส่วน

40 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 40 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 60 ส่วน

50 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 50 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 50 ส่วน

60 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 60 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 40 ส่วน

70 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 70 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 30 ส่วน

80 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 80 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 20 ส่วน

90 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการ clave 90 ส่วน กับแบ่งไม่ผ่านการ clave 10 ส่วน

100 เปอร์เซ็นต์ ใช้แบ่งผ่านการclave100 ส่วน

### การเตรียม Blank

ผสมน้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร กับ 10 นอร์มอล โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 มิลลิลิตร และ 0.5 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริก 1 มิลลิลิตร

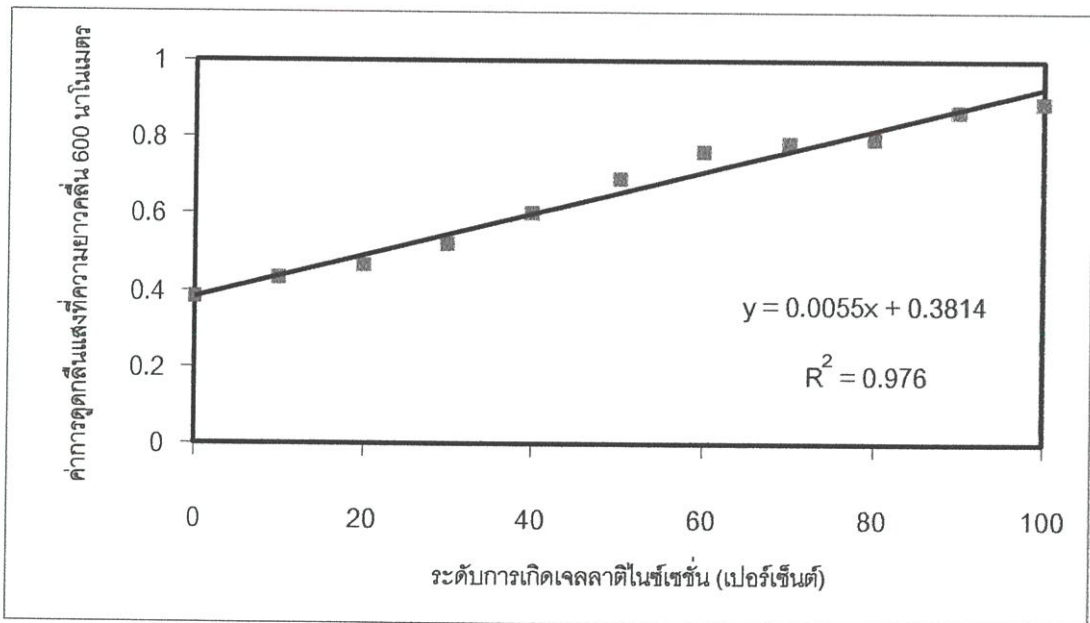
### วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม
2. เติมน้ำกลั่น 98 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลาย 10 นอร์มอล โพแทสเซียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร
4. คนด้วย magnetic stirrer นาน 5 นาที
5. นำไปหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
6. ดูดส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 10 มิลลิลิตร
7. เติม 0.5 นอร์มอล กรดไฮโดรคลอริก 0.4 มิลลิลิตร
8. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 10 มิลลิลิตร
9. เทสารละลายใส่ในหลอดทดลอง
10. เติมสารละลายไอโอดีน 0.1 มิลลิลิตร ผสมสารให้เข้ากันด้วย vortex mixer
11. นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วย spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

ข้อแนะนำ : ต้องวัดค่าการดูดกลืนแสงทันทีที่เติมสารละลายไอโอดีน

ตารางที่ ค1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาตินไนท์

ระดับการเกิดเจลลาตินไนท์ (เปอร์เซ็นต์)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร
0	0.3828
10	0.4285
20	0.4650
30	0.5185
40	0.6010
50	0.6930
60	0.7630
70	0.7870
80	0.7980
90	0.8680
100	0.892



ภาพที่ ค1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ระดับการเกิดเจลลาตินไนท์

## ภาคผนวก ง

## ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางที่ ง1 วิเคราะห์ความแปรปรวนของระดับการเกิดเจลลาคีโนซีเซชันของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีโนซีด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
%degree of gelatinization					
% moisture (A)	2	10081.346	5040.673	531.585	0.000*
heating time (B)	2	1441.922	720.961	76.032	0.000*
A X B	4	1006.710	251.677	26.542	0.000*
Error	9	85.341	9.482		
Total	17	12615.318			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่เกิดจากไมโครเวฟของแป้งกล้วยฟรีเจลลาคีโนซีด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Temperature after heating					
%moisture (A)	2	1426.384	713.192	444.604	0.000*
heating time (B)	2	487.912	243.956	152.082	0.000*
A X B	4	132.263	33.066	20.613	0.000*
Error	9	14.437	1.604		
Total	17	2060.995			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นหลังผ่านไมโครเวฟของแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
%moisture content after heating					
%moisture (A)	2	61.429	30.714	147.983	0.000*
heating time (B)	2	13.439	6.719	32.250	0.000*
A X B	4	0.348	9.402	4.173	0.035*
Error	9	0.188	0.021		
Total	17	75.403			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง4 วิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อน ต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Water absorption index					
%moisture (A)	2	29840.822	14920.411	734.995	0.000*
heating time (B)	2	820.974	410.487	20.221	0.000*
A X B	4	1468.887	367.222	18.090	0.000*
Error	9	182.700	20.300		
Total	17	32313.383			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง5 วิเคราะห์ความแปรปรวนความสามารถในการละลายน้ำของแป้งกล้วยพีรีเจลลาคติ  
ไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อน  
ต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Water solubility index					
% moisture (A)	2	219.573	109.786	758.134	0.000*
heating time (B)	2	4.335	2.178	15.037	0.001*
A X B	4	4.315	1.079	7.449	0.006*
Error	9	1.303	0.145		
Total	17	229.546			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง6 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งของแป้งกล้วยพีรีเจลลาคติ  
ไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อน  
ต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Freeze thaw stability					
% moisture (A)	2	469.90	234.95	69.77	0.000*
heating time (B)	2	61.20	30.60	9.08	0.007*
A X B	4	34.24	8.56	2.54	0.113
Error	9	30.31	3.37		
Total	17	595.65			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง7 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงทนต่อแรงเฉือนของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Shearing stability					
% moisture (A)	2	2656.91	1328.46	608.05	0.000*
heating time(B)	2	24.61	12.31	5.63	0.026*
A X B	4	12.26	3.06	1.40	0.308
Error	9	2713.44	2.18		
Total	17	595.65			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง8 วิเคราะห์ความแปรปรวนความคงตัวของแป้งสุกของแป้งกล้วยพรีเจลลาตินไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Gel consistency					
% moisture (A)	2	1717.75	858.87	203.77	0.000*
heating time(B)	2	53.15	26.58	1.31	0.271
A X B	4	98.33	24.58	1.83	0.289
Error	9	37.93	4.21		
Total	17	1907.17			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ๙9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าต่างๆบนเส้นโค้งความหนืดจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) ของแป้งกล้วยพีรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Peak viscosity					
% moisture (A)	2	1209244	6046221	2062.33	0.000*
heating time(B)	2	149321	74660	25.47	0.000*
A X B	4	13126	3281	1.12	0.405
Error	9	26385	2931		
Total	17	12281276			
Peak time					
% moisture (A)	2	7.10	3.55	117.62	0.000*
heating time(B)	2	0.03	0.015	0.45	0.651
A X B	4	0.18	0.045	1.52	0.276
Error	9	0.27	0.03		
Total	17	7.58			
Pasting temperature					
% moisture (A)	2	8.21	4.10	3.13	0.093
heating time(B)	2	2.20	1.10	0.84	0.464
A X B	4	16.10	4.03	3.07	0.075
Error	9	11.79	1.31		
Total	17	38.30			
Break down					
% moisture (A)	2	1147739	573869	719.58	0.000*
heating time(B)	2	22043	11021	13.82	0.002*
A X B	4	19544	4886	6.13	0.012*
Error	9	7177	7.97.5		
Total	17	1196503			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ง9 (ต่อ) วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าต่างๆบนเส้นโค้งความหนืดจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer) ของแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variance	df	SS	MS	F-value	Sig.
Final viscosity					
% moisture (A)	2	12710988	6355494	110.66	0.000*
heating time(B)	2	578875	289437	5.04	0.034*
A X B	4	240518	60129	1.05	0.435
Error	9	516877	57430		
Total	17	14047259			
Trough					
% moisture (A)	2	2305723	1152861	2.36	0.150
heating time(B)	2	1351236	675618	1.39	0.289
A X B	4	2109607	527401	1.08	0.421
Error	9	4387832	487536		
Total	17	10154398			
Setback					
% moisture (A)	2	1546057	773028.5	527.29	0.000*
heating time(B)	2	41863	20931.5	14.28	0.002*
A X B	4	9033	2258.2	1.54	0.271
Error	9	13194	1466.0		
Total	17	1610147			

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ( $P \leq 0.05$ )

ภาคผนวก จ

ตารางค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ๑1 ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งสาลีพรีเมียมที่เจลดัดไนด์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างกัน\*

ปริมาณความชื้น (%)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	ความคงทนต่อ		ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง**		ความคงทนของเจลแป้งสุก***		ความสามารถในการละลายน้ำ	
		แรงเคียน (%)	แรงเคียน (%)	แข็ง (%)	แข็ง (%)	ความสามารถในการชุ่มน้ำ (%)	การละลายน้ำ (%)	ความสามารถในการละลายน้ำ (%)	การละลายน้ำ (%)
30	8	4.90 ± 0.14 <sup>a</sup>	44.13 ± 1.46 <sup>f</sup>	68.58 ± 1.29 <sup>b</sup>	47.33 ± 3.77 <sup>a</sup>	135.19 ± 0.14 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.27 <sup>a</sup>		
	16	5.92 ± 0.03 <sup>a</sup>	36.98 ± 1.22 <sup>e</sup>	69.0 ± 2.83 <sup>b</sup>	47.50 ± 2.12 <sup>a</sup>	150.17 ± 2.16 <sup>c</sup>	3.56 ± 0.18 <sup>a</sup>		
	24	6.58 ± 0.18 <sup>a</sup>	39.94 ± 2.15 <sup>e</sup>	69.0 ± 3.82 <sup>b</sup>	45.50 ± 0.71 <sup>a</sup>	137.98 ± 1.91 <sup>ab</sup>	3.62 ± 0.16 <sup>a</sup>		
40	8	10.49 ± 0.22 <sup>b</sup>	35.44 ± 2.82 <sup>de</sup>	47.33 ± 3.77 <sup>a</sup>	47.33 ± 3.77 <sup>a</sup>	147.68 ± 4.42 <sup>bc</sup>	4.10 ± 0.20 <sup>ab</sup>		
	16	11.08 ± 0.40 <sup>b</sup>	32.37 ± 0.41 <sup>cd</sup>	47.50 ± 2.12 <sup>a</sup>	47.50 ± 2.12 <sup>a</sup>	167.57 ± 6.85 <sup>d</sup>	5.08 ± 0.36 <sup>c</sup>		
	24	12.67 ± 0.49 <sup>b</sup>	30.88 ± 3.87 <sup>bc</sup>	45.50 ± 0.71 <sup>a</sup>	45.50 ± 0.71 <sup>a</sup>	169.33 ± 3.16 <sup>d</sup>	4.56 ± 0.13 <sup>bc</sup>		
50	8	33.36 ± 0.24 <sup>c</sup>	27.33 ± 0.66 <sup>ab</sup>	42.50 ± 0.81 <sup>a</sup>	42.50 ± 0.81 <sup>a</sup>	244.38 ± 6.04 <sup>f</sup>	10.94 ± 0.97 <sup>e</sup>		
	16	32.55 ± 0.83 <sup>c</sup>	25.52 ± 2.37 <sup>a</sup>	43.83 ± 0.23 <sup>a</sup>	43.83 ± 0.23 <sup>a</sup>	249.22 ± 3.30 <sup>f</sup>	12.97 ± 0.20 <sup>f</sup>		
	24	36.92 ± 0.69 <sup>c</sup>	27.66 ± 0.93 <sup>a</sup>	43.57 ± 0.71 <sup>a</sup>	43.57 ± 0.71 <sup>a</sup>	214.00 ± 7.10 <sup>e</sup>	10.32 ± 0.10 <sup>e</sup>		

หมายเหตุ \* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\*\* เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่แยกออกจากของผสมหลังการละลาย

\*\*\* การจัดแบ่งประเภทความคงตัวของแป้งสุก

ระยะทางที่แป้งไหล (มม.) ความคงตัวของแป้งสุก

21 - 40

แข็ง

41 - 60

ปานกลาง

61 - 100

อ่อน

ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P ≤ 0.05)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ ๑2 ค่าคุณสมบัติของผสมเมื่อได้รับความร้อนในขณะที่มีการกวนคนจากการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid visco analyzer)

ของแป้งกล้วยพรีเจลดัดในรูปด้วยเทคนิคไมโครเวฟที่ระดับความชื้นเริ่มต้นและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่าง ๆ

ความชื้นเริ่มต้น (%)	เวลาในการให้ความร้อน (นาที)	peak viscosity (cP)	peak time (min)	pasting temperature (0c)	trough (cP)	break down (cP)	final viscosity (cP)	set back (cP)
30	8	3393.75 ± 35.71 <sup>f</sup>	5.16 ± 0.05 <sup>a</sup>	81.27 ± 0.64 <sup>ns</sup>	2649.50 ± 51.62 <sup>ns</sup>	744.25 ± 15.91 <sup>e</sup>	3905.25 ± 24.39 <sup>e</sup>	1255.75 ± 24.39 <sup>d</sup>
	16	3306.00 ± 60.81 <sup>f</sup>	5.38 ± 0.11 <sup>a</sup>	83.22 ± 0.28 <sup>ns</sup>	2683.75 ± 10.96 <sup>ns</sup>	622.25 ± 49.85 <sup>d</sup>	3807.50 ± 33.23 <sup>e</sup>	1123.75 ± 22.27 <sup>c</sup>
	24	3112.75 ± 90.86 <sup>e</sup>	5.31 ± 0.13 <sup>a</sup>	83.46 ± 0.54 <sup>ns</sup>	2560.75 ± 26.52 <sup>ns</sup>	522.00 ± 64.35 <sup>c</sup>	3625.75 ± 90.86 <sup>e</sup>	1065.00 ± 64.35 <sup>c</sup>
40	8	2325.25 ± 39.24 <sup>d</sup>	6.40 ± 0.14 <sup>b</sup>	84.29 ± 0.41 <sup>ns</sup>	2163.00 ± 18.38 <sup>ns</sup>	178.75 ± 2.47 <sup>b</sup>	3335.25 ± 75.34 <sup>e</sup>	672.50 ± 19.80 <sup>b</sup>
	16	2241.00 ± 96.87 <sup>cd</sup>	6.56 ± 0.12 <sup>bc</sup>	81.81 ± 1.93 <sup>ns</sup>	2098.00 ± 62.93 <sup>ns</sup>	181.25 ± 16.62 <sup>b</sup>	2711.25 ± 32.17 <sup>b</sup>	615.75 ± 27.22 <sup>b</sup>
	24	2149.25 ± 19.44 <sup>c</sup>	6.38 ± 0.31 <sup>b</sup>	84.90 ± 0.17 <sup>ns</sup>	1978.25 ± 13.08 <sup>ns</sup>	176.25 ± 1.06 <sup>b</sup>	2570.50 ± 62.93 <sup>b</sup>	591.75 ± 75.31 <sup>b</sup>
50	8	1322.75 ± 21.57 <sup>b</sup>	6.95 ± 0.02 <sup>bc</sup>	84.12 ± 2.51 <sup>ns</sup>	1331.00 ± 15.56 <sup>ns</sup>	85.25 ± 0.35 <sup>a</sup>	1835.50 ± 35.35 <sup>a</sup>	503.50 ± 18.38 <sup>a</sup>
	16	1331.50 ± 31.11 <sup>b</sup>	6.74 ± 0.29 <sup>bc</sup>	85.03 ± 0.87 <sup>ns</sup>	1325.75 ± 28.64 <sup>ns</sup>	44.25 ± 3.89 <sup>a</sup>	1771.00 ± 29.70 <sup>a</sup>	445.75 ± 0.35 <sup>a</sup>
	24	1136.00 ± 20.50 <sup>b</sup>	6.63 ± 0.18 <sup>bc</sup>	83.71 ± 0.15 <sup>ns</sup>	1139.50 ± 17.68 <sup>ns</sup>	25.75 ± 0.35 <sup>a</sup>	1570.75 ± 46.31 <sup>a</sup>	431.25 ± 28.64 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P ≤ 0.05)

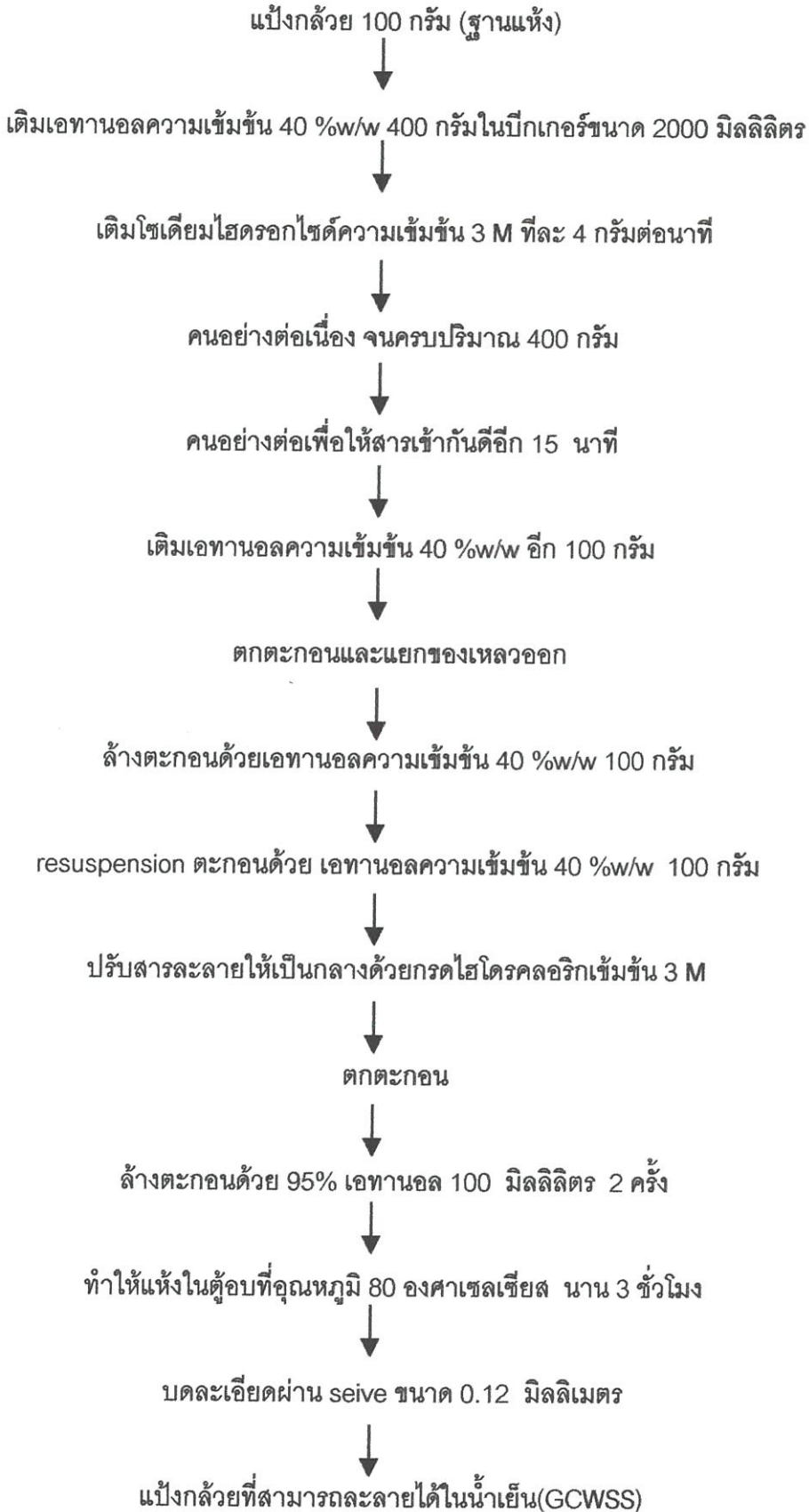
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ภาคผนวก จ

วิธีการการดัดแปรแป้งกล้วยละลายได้ในน้ำเย็นด้วย  
ต่างและแอลกอฮอล์

(Granular cold water soluble : GCWS)

วิธีการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิคเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยใช้ด่างและแอลกอฮอล์ ดัดแปลงมาจาก Bello – Perez *et al.* (2000)

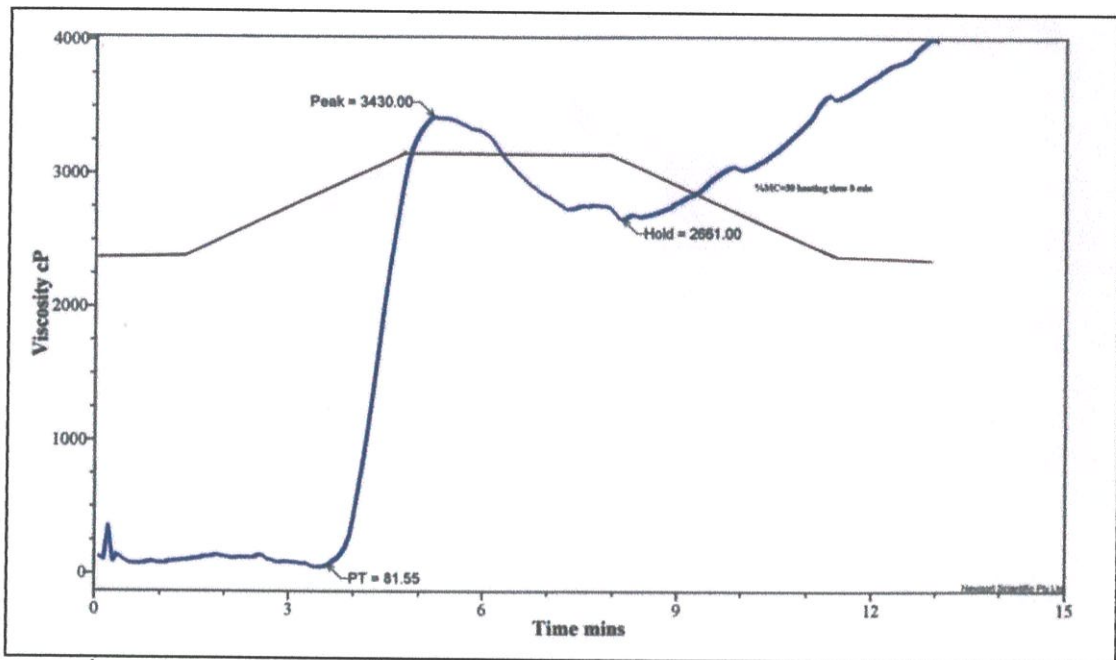


ภาพที่ ๑1: แสดงขั้นตอนการดัดแปรแป้งกล้วยด้วยเทคนิคเม็ดแป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นด้วยด่างและแอลกอฮอล์

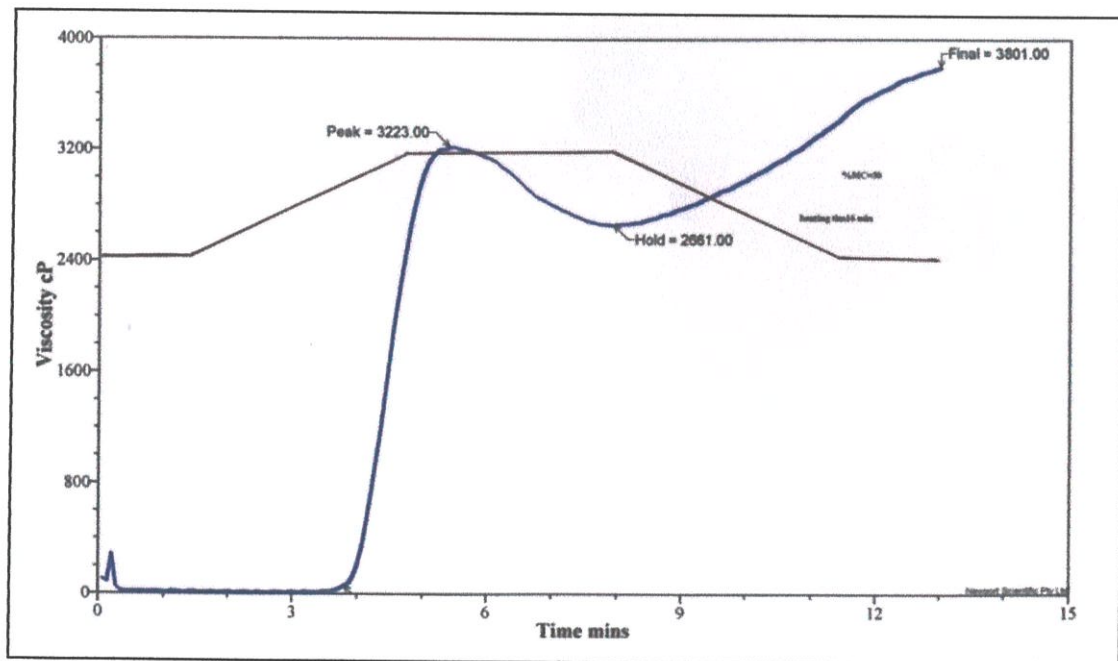
ที่มา : Bello – perez *et al.* (2000)

ภาคผนวก ช

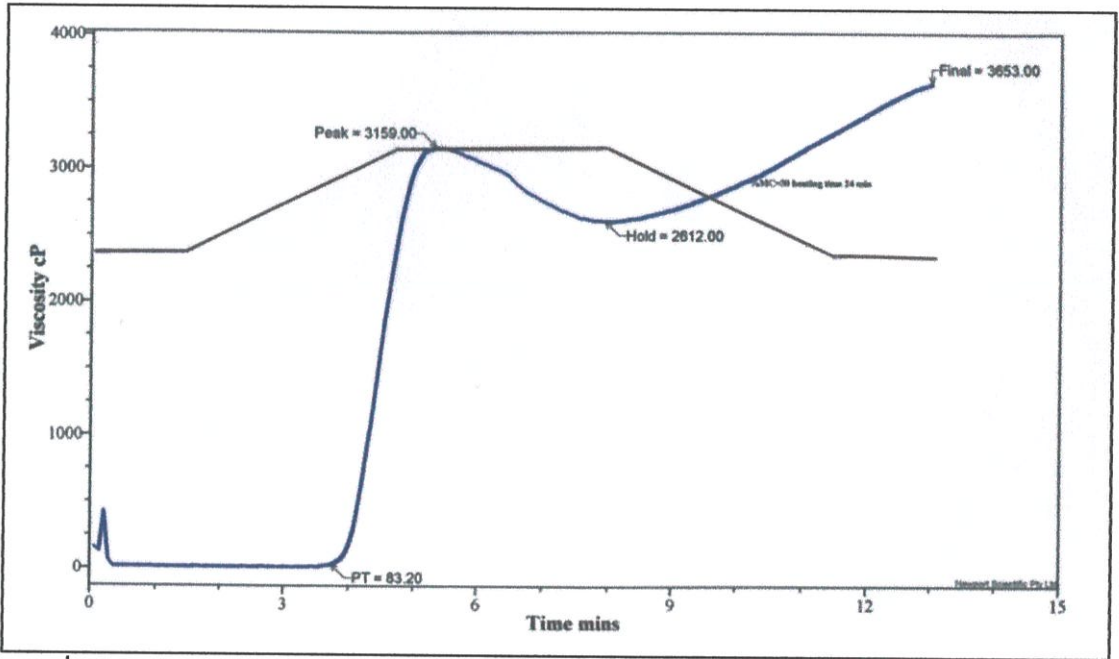
เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมด้วย RVA



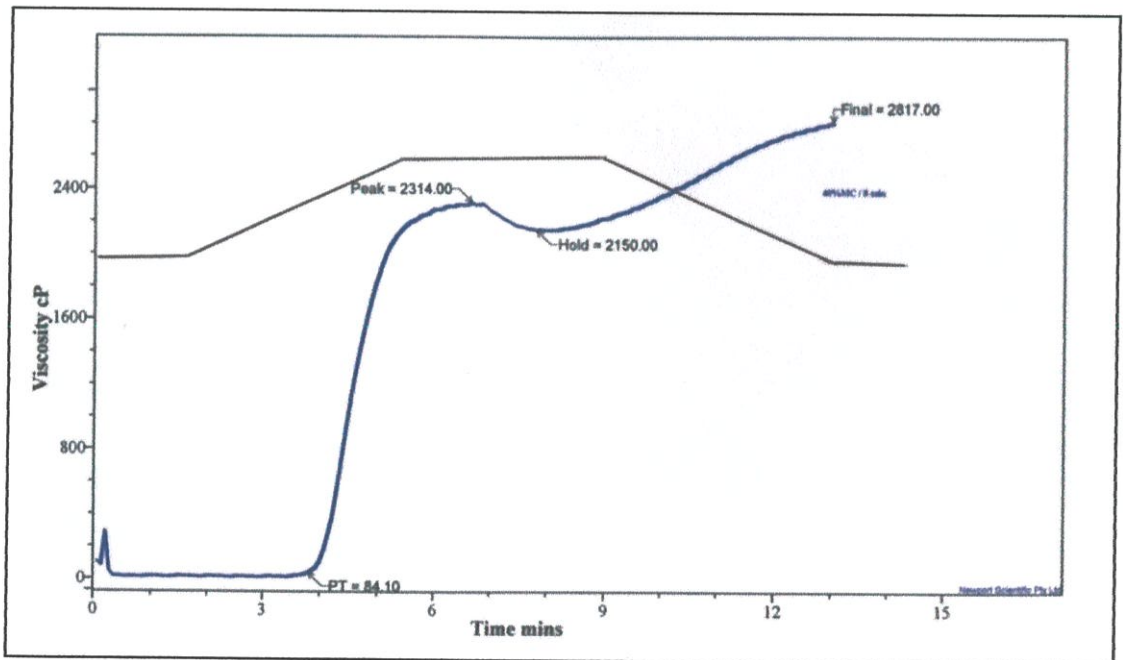
ภาพที่ ข1 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที



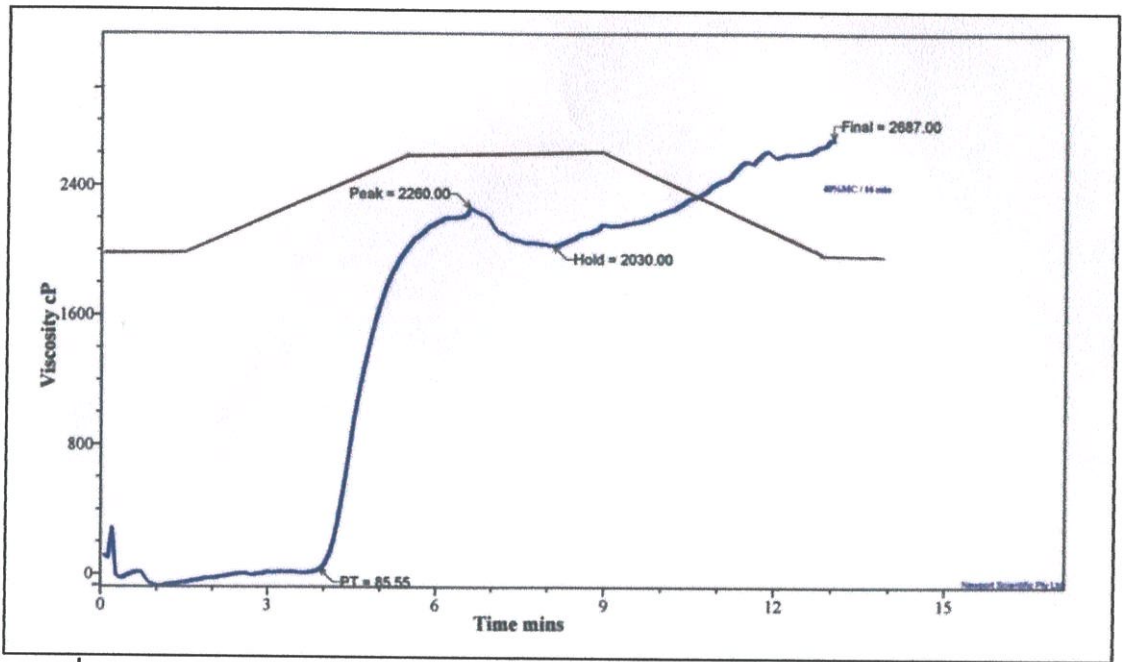
ภาพที่ ข2 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที



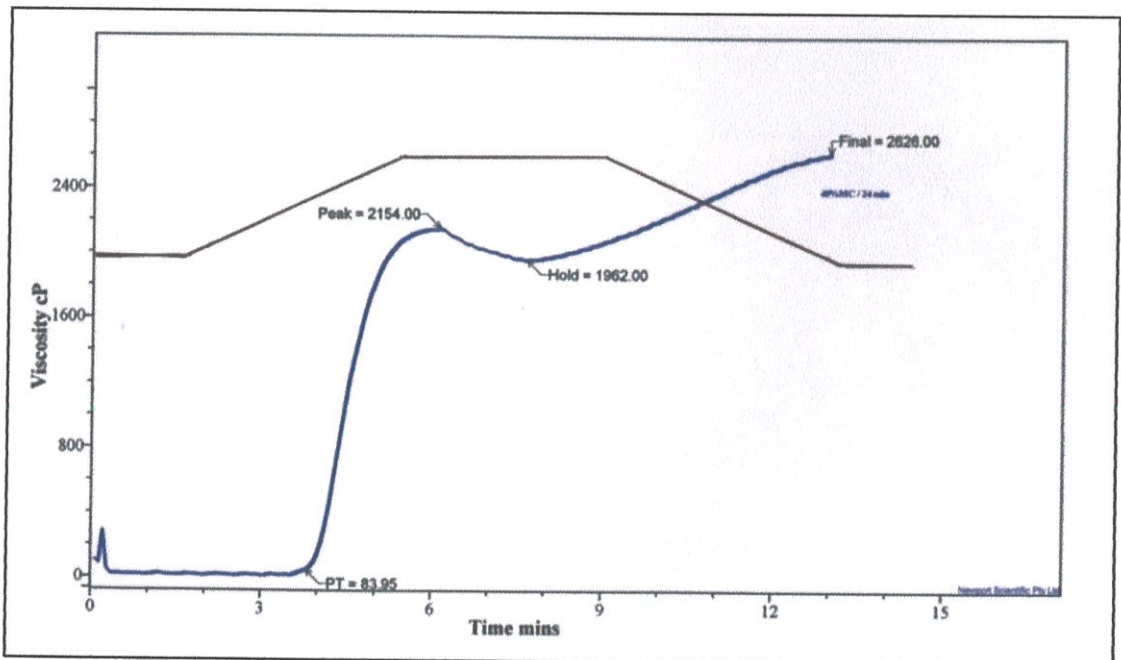
ภาพที่ ข3 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณ  
ความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที



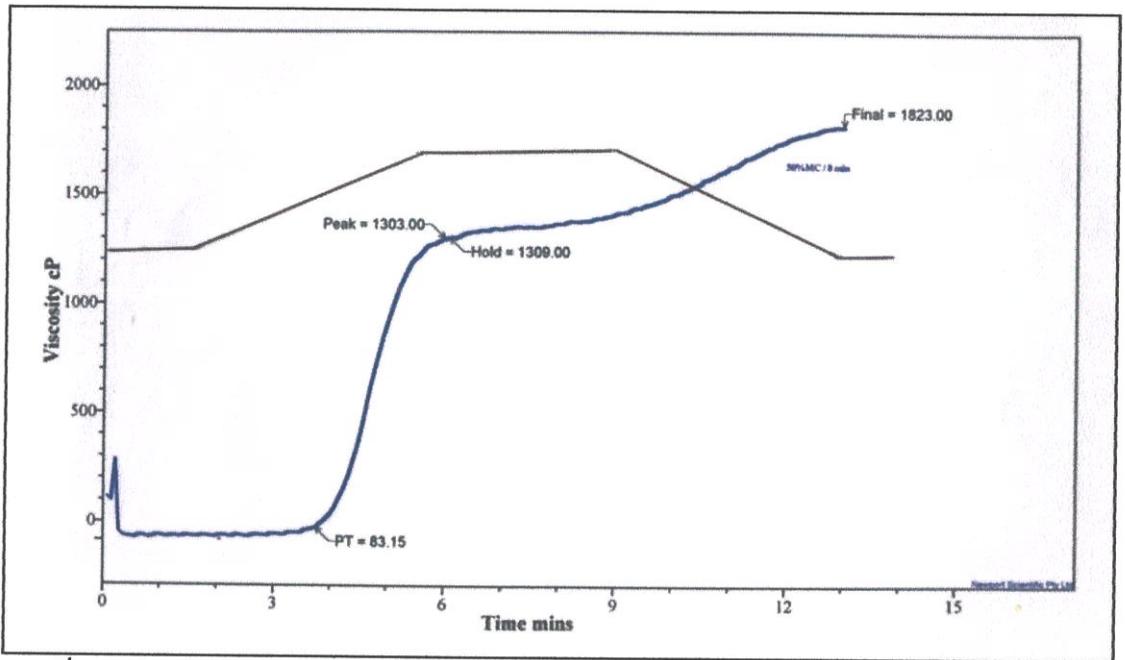
ภาพที่ ข4 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณ  
ความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที



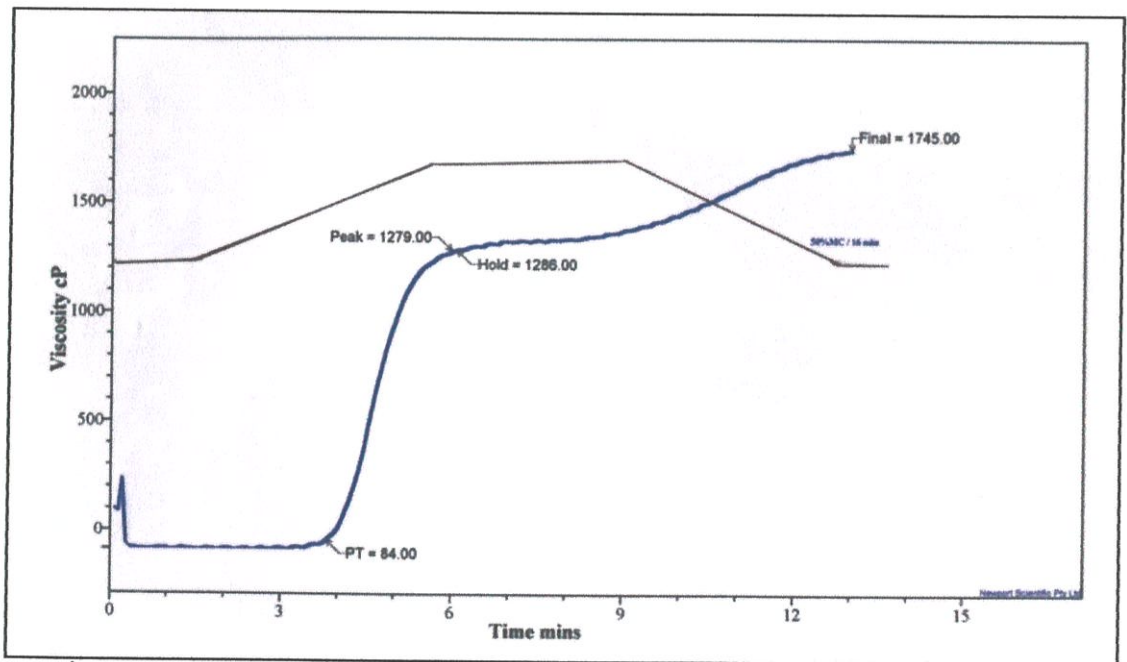
ภาพที่ ๓5 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที



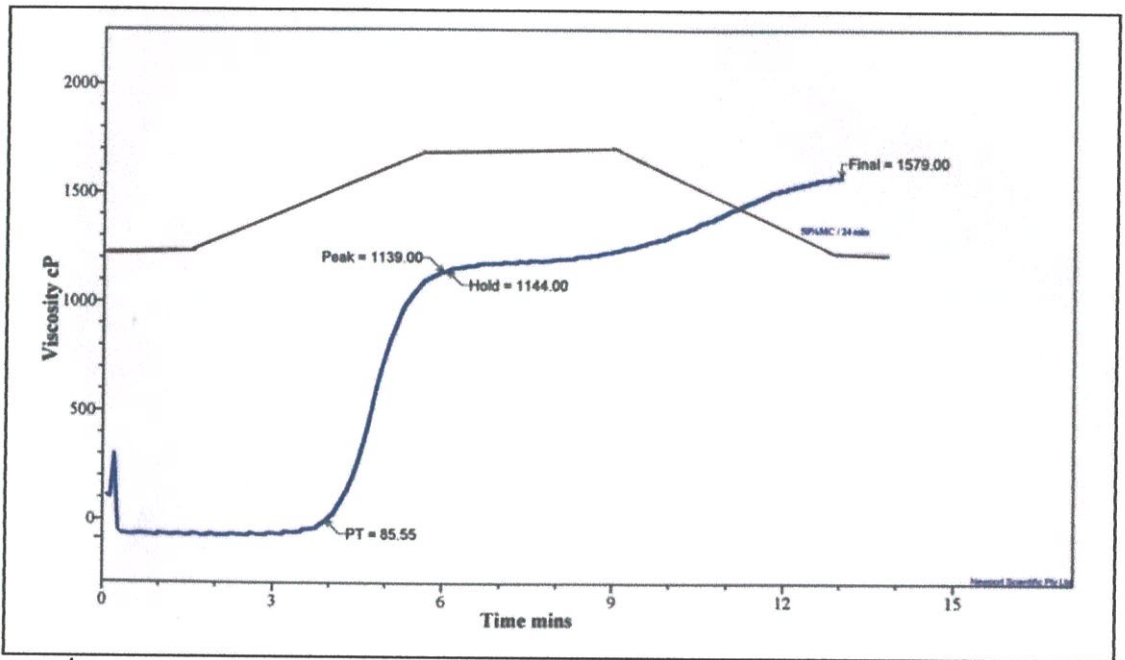
ภาพที่ ๓6 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที



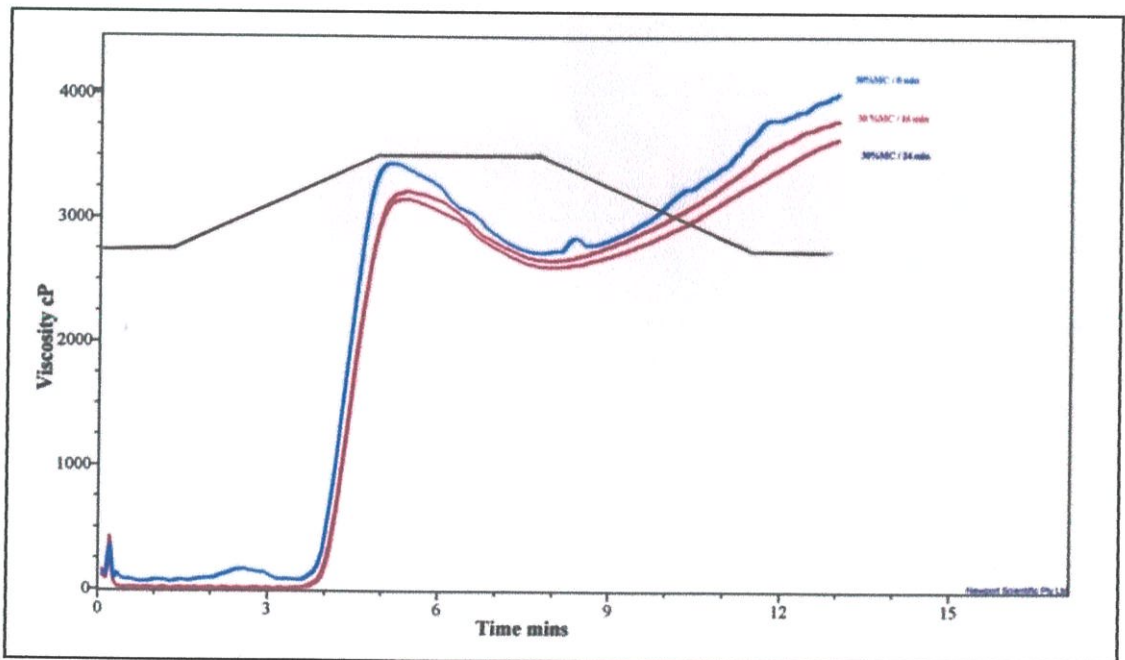
ภาพที่ ข7 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณ  
ความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 นาที



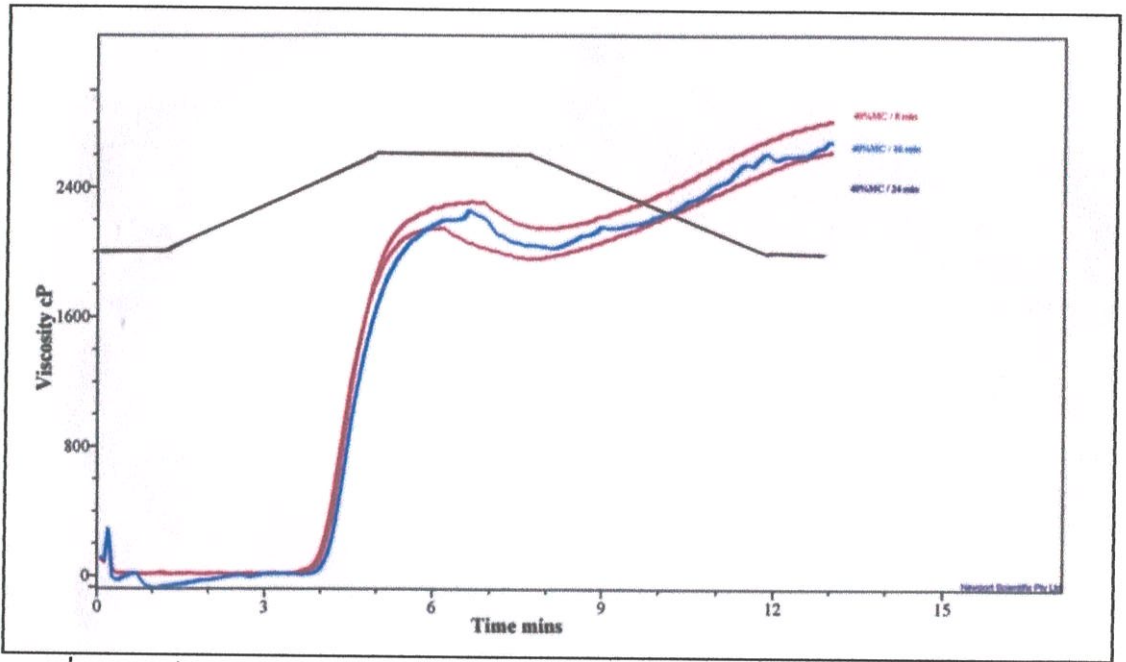
ภาพที่ ข8 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณ  
ความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 16 นาที



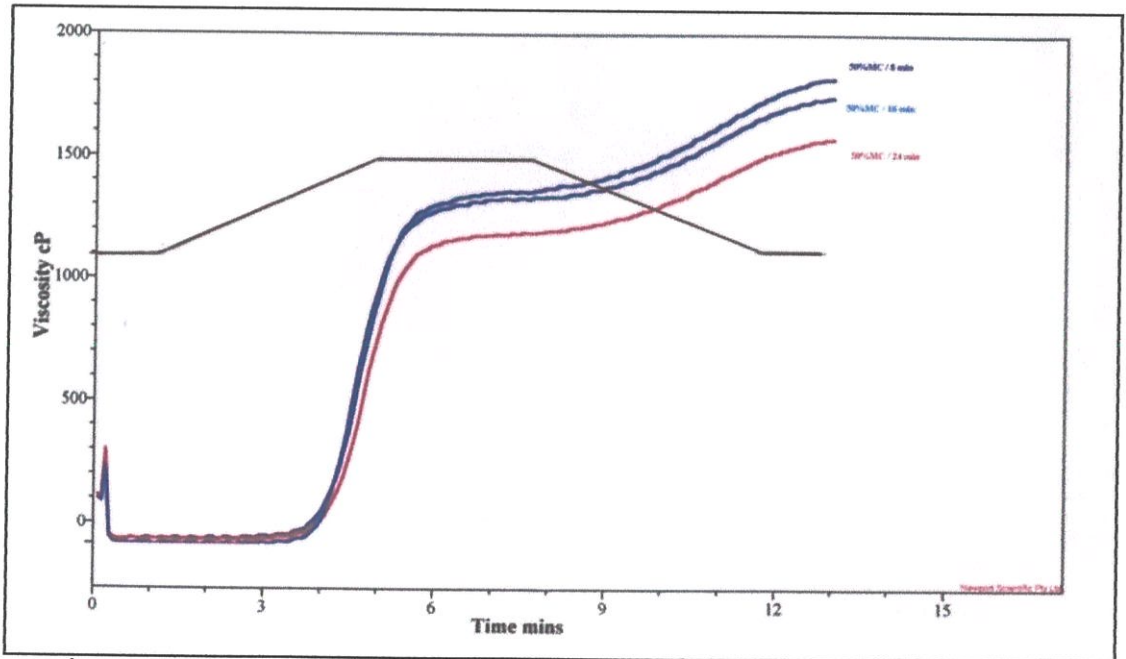
ภาพที่ ๙9 เส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที



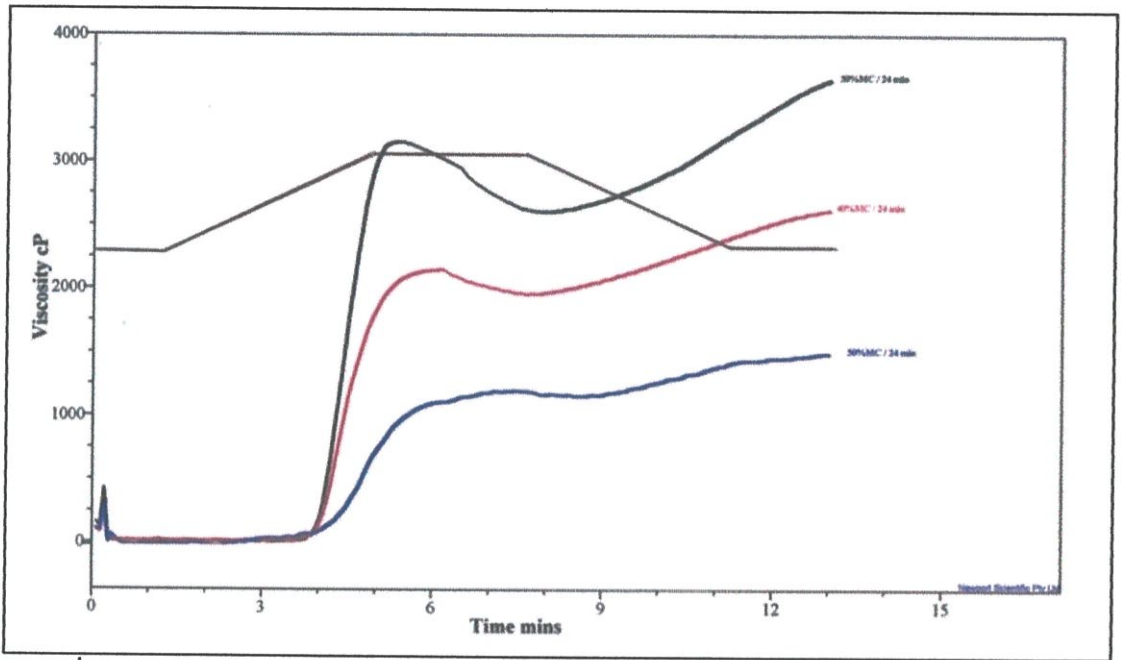
ภาพที่ ๙10 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที



ภาพที่ ข11 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 40 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที



ภาพที่ ข12 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 8 16 และ 24 นาที



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณสมบัติของของผสมแป้งกล้วยพรีเจลลาคีไนซ์ด้วยไมโครเวฟ ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาในการให้ความร้อน 24 นาที

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นางสาวสายฝน โมราถบ
วัน เดือน ปี เกิด	8 สิงหาคม 2522
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	314/20 ซอยศรีอยุธยา 7 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10400
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เข้าศึกษาต่อปี พ.ศ. 2544 ในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิทยาศาสตรการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง