



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตด้วยไมโครเวฟ
(Feasibility of Production Starch Phosphate by Microwave Technique)

โดย

นางสาว กัสสรา มณีศรีรัชฎ์
นางสาว สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

ศาสตราจารย์ ดร. ประจักษ์ งามสง่า 25/3/39 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ
()

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร



(ผศ.ดร. ประจักษ์ งามสง่า)
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 10 เดือน ๒๗ พ.ศ. ๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ ๓๑๓ ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
๒๕๖๘

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาρχฟอสเฟตด้วยไมโครเวฟ

(Feasibility of Production Starch Phosphate by Microwave Technique)



T096600

นางสาว กัสสรา มณีศรีรัชต์

นางสาว สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว

ปพ.

๓๓๑๑ก

๒๕๓๑

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....๑๑๖๐๐

วัน เดือน ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา อุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๓๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัสสรฯ มณีศรีรัษฎ์ และ สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว . 2539 . : การศึกษาความเป็นไปได้
ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตด้วยไมโครเวฟ (Feasability of Production Starch Phosphate
by Microwave Technique) . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วุฒิชัย นาครักษา, 83 หน้า.

จากการทดลองศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตด้วยไมโครเวฟ โดย
ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบ และใช้สารละลายเกลือฟอสเฟต 2 ชนิด
คือ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium hexametphosphate) และ โซเดียมไดไฮโดรเจน
ฟอสเฟต (Sodium dihydrogenphosphate) ที่ความเข้มข้น 10,15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำ
ไปผ่านความร้อนจากไมโครเวฟ ที่เวลานาน 5,7,9 นาที สำหรับแป้งมันสำปะหลัง และ 5,6,7
นาที สำหรับแป้งข้าวเหนียว โดยมีการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล และทำการศึกษา
คุณสมบัติของแป้งคัดแปรที่ได้คือ เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสที่เกาะกับโมเลกุลสตาร์ช (% Bound
Phosphorus:%BP)และความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (% Freeze-thaw Stability:
%FTS) พบว่าความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตที่ใช้ และระยะเวลาในการให้ความร้อน จะมี
ผลต่อการเพิ่มขึ้น ของ %BP และ %FTS นอกจากนี้เวลาในการให้ความร้อนยังมีผลให้
ความชื้นในแป้งคัดแปรลดลงจากเดิม สรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟต
ด้วยไมโครเวฟ

ภัสสรฯ มณีศรีรัษฎ์ สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว
ลายมือชื่อนักศึกษา

.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

25/3/39
วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณ รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำการทดลอง และ
ตรวจแก้ไขจนปัญหาพิเศษฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และห้องธุรการ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็น
กำลังใจตลอดมา จนได้รับความสำเร็จ

ภัทสรา มณีศรีรัชต์
สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว
มีนาคม 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ก
สารบัญภาพ	ข
สารบัญภาคผนวก	ง
สารบัญตารางภาคผนวก	จ
สารบัญภาพภาคผนวก	ฉ
1. บทนำ	1
2. วัตถุประสงค์	2
3. การตรวจเอกสาร	3
3.1 สตาร์ช	3
3.2 แบ่งคัดแปรร	8
3.3 ไมโครเวฟ	17
4. วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
4.1 วัตถุประสงค์	21
4.2 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี	21
4.3 วิธีการทดลอง	22
5. ผลการทดลอง	27
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	39
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	46
ประวัติการศึกษา	83.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	5
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเม็ดสตาร์ช	6
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพดชนิดต่างๆ	15
ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของวัตถุดิบ	27
ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	27
ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	30
ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	33
ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	4
รูปที่ 2 ผลของน้ำตาลหลายชนิดต่อความหนืดที่เกิดระหว่างเม็ดสตาร์ชเกิด เจลาติในเซชัน	7
รูปที่ 3 ช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ	18
รูปที่ 4 การเรียงตัวของประจุอาหารตามธรรมชาติ	19
รูปที่ 5 การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับพลังงานไมโครเวฟ	19
รูปที่ 6 การกลับทิศทางของโมเลกุลอาหารเหมือนกับที่พลังงานมีการเปลี่ยน ขั้วประจุ	20
รูปที่ 7 แผนผังการผลิตสตาร์ชฟอสเฟต	24
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	28
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	28
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	29
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	29
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	31
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	31
รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	32
รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	32
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	34
รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	34
รูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	35
รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	35
รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	37
รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	37
รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	38

สารบัญภาคผนวก

	หน้า
ภาคผนวก ก ข้อมูลสถิติทางการค้าระหว่างประเทศของประเทศไทย	47
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ	52
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง	55
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	61
ภาคผนวก จ ภาพการทดลอง	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางภาคผนวก

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่	
1. การนำเข้าเด็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรอื่นๆในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	47
2. การนำเข้ากาวในรูปของสตาร์ชเด็กซ์ตรินหรือแป้งคัดแปรอื่นๆในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	47
3. การนำเข้าเด็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรอื่นๆในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2537	48
4. การนำเข้ากาวในรูปของสตาร์ชเด็กซ์ตรินหรือแป้งคัดแปรอื่นๆในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2537	49
5. การส่งออกแป้งข้าวเหนียวในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	49
6. การส่งออกแป้งมันสำปะหลังในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	50
7. การส่งออกสตาร์ชมันสำปะหลังในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	50
8. การส่งออกสตาร์ชข้าวเหนียวในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534	51
9. อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง	55
10. อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง	55
11. อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง	56
12. อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง	56
13. ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง 3 ซ้ำ	57
14. ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว 3 ซ้ำ	58
15. ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง 3 ซ้ำ	59
16. ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว 3 ซ้ำ	60
17. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % BP ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	61
18. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % DS ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่	
19. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % FTS ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	61
20. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % mc ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	61
21. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % BP ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	62
22. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % DS ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	62
23. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % FTS ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	62
24. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % mc ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	62
25. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % BP ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	63
26. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % DS ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	63
27. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % FTS ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	63
28. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % mc ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	63
29. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % BP ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	64
30. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % DS ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	64
31. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % FTS ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	64

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่	
32. การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยมีตัวแปรตามคือ % mc ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	64
33. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % BP กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	65
34. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % DS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	65
35. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % FTS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	66
36. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % mc กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง	66
37. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % BP กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	67
38. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % DS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	67
39. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % FTS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	68
40. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % mc กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว	68
41. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % BP กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	69
42. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % DS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	69
43. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % FTS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	70

สารบัญตารางภาคผนวก (ต่อ)

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่	
44. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % mc กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง	70
45. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % BP กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	71
46. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % DS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	71
47. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % FTS กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	72
48. การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง % mc กับเวลาและความเข้มข้นของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว	72
49. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์จากแป้งมันสำปะหลัง	73
50. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์จากแป้งข้าวเหนียว	74
51. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเทอร์จากแป้งมันสำปะหลัง	75
52. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเทอร์จากแป้งข้าวเหนียว	77

สารบัญภาพภาคผนวก

	หน้า
ภาพภาคผนวกที่ 1 แป้งภายหลังผสมกับสารละลายเกลือฟอสเฟต	79
ภาพภาคผนวกที่ 2 แป้งหลังผสมเมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	79
ภาพภาคผนวกที่ 3 แป้งมันสำปะหลังภายหลังอบไมโครเวฟที่ 5 7 และ 9 นาที	80
ภาพภาคผนวกที่ 4 แป้งข้าวเหนียวภายหลังอบไมโครเวฟที่ 5 6 และ 7 นาที	80
ภาพภาคผนวกที่ 5 การวัดอุณหภูมิขณะอบในเตาอบไมโครเวฟ	81
ภาพภาคผนวกที่ 6 เครื่องผสมแป้ง	82
ภาพภาคผนวกที่ 7 เครื่อง Autotitration	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

อุตสาหกรรมในปัจจุบัน มีการใช้แป้งดัดแปร (Modified starch) ค่อนข้างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตามความต้องการของอุตสาหกรรมเฉพาะอย่าง โดยในประเทศไทยสามารถผลิตแป้งดัดแปรใช้ภายในประเทศและส่งออกต่างประเทศ (ภาคผนวก ก) แต่ก็ยังต้องมีการนำเข้าแป้งดัดแปรบางชนิดอยู่บ้างเนื่องจากไม่สามารถผลิตเองได้ ดังนั้นการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตแป้งดัดแปรจึงมีความสำคัญ

การผลิตแป้งดัดแปรทางการค้ามักมีกรรมวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยากและใช้ระยะเวลานาน การใช้ไมโครเวฟในการผลิตอาจจะลดระยะเวลาและขั้นตอนในการผลิตได้ และจากการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชไซเตรทโดยใช้ไมโครเวฟ พบว่าสามารถใช้ไมโครเวฟในการผลิตสตาร์ชไซเตรทได้ โดยลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตลง (พัชรินทร์ และคณะ, 2534) จึงควรที่จะทำการศึกษาดังกล่าวถึงการผลิตแป้งดัดแปรชนิดอื่นด้วยไมโครเวฟ ซึ่งในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟต โดยใช้วัตถุดิบในการผลิตคือแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว

แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ประเทศไทยผลิตได้เป็นจำนวนมากและราคาถูก ส่งออกเป็นสินค้าในรูปแบบแป้งข้าวเหนียว, แป้งมันสำปะหลัง, สตาร์ชมันสำปะหลัง, เด็กซ์ตรินและแป้งดัดแปรอื่น ๆ, สตาร์ชในรูปกาวและแป้งดัดแปรอื่น ๆ และการนำเข้าสินค้าได้แก่ เด็กซ์ตรินและแป้งดัดแปรอื่น ๆ (ภาคผนวก ก)

2. วัตถุประสงค์

- 2.1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสสารฟอสเฟตโดยใช้ไมโครเวฟ
- 2.2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ของสสารฟอสเฟต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจเอกสาร

3.1 สตาร์ช (Starch)

สตาร์ชจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรท์ (Polysaccharide) ซึ่งมีสะสมอยู่มากในพืช พบมากในส่วนเมล็ด (seeds) ราก (roots) และพืชหัว (tubers) โดยสตาร์ชจะอยู่ในลักษณะเม็ดที่เรียกว่าเม็ดสตาร์ช (granules) (Fennema, 1985) เม็ดสตาร์ชมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของพืช เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ชมีตั้งแต่ 2 จนถึง 150 ไมครอน เม็ดสตาร์ชของข้าวเจ้ามีขนาดเล็กที่สุดคือประมาณ 3-8 ไมครอน และมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal) เม็ดสตาร์ชของมันสำปะหลังและข้าวโพดมีขนาดประมาณ 12-25 ไมครอน รูปร่างของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังเป็นทรงกลม (Round) (วรรณา, 2534)

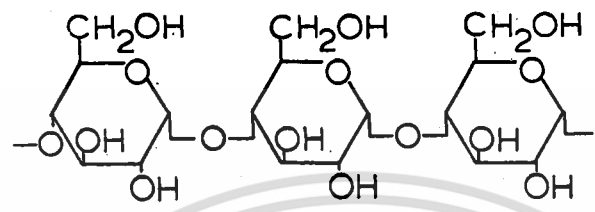
สตาร์ชเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของแอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose) ในธรรมชาติประกอบด้วย 2 ส่วน คืออะไมโลส และอะไมโลเพกติน ซึ่งอัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง

- อะไมโลส (amylose) สามารถละลายน้ำได้ มีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1 ใน 4 ของสตาร์ช โมเลกุลมีลักษณะเป็นเกลียววน (helix) ประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสเกาะกันในสภาพของ α -D-glucopyranose unit ด้วยพันธะ α (1-4) ไกลโคซิดิก

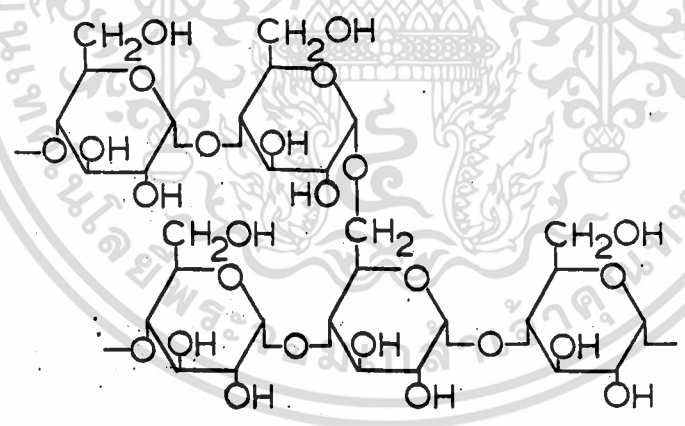
- อะไมโลเพกติน (amylopectin) ไม่ละลายน้ำ แขนงลอยในสภาพของคอลลอยด์ มีประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือ 3 ใน 4 ของสตาร์ช ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงคือ α -D-glucopyranose เกาะกันด้วยพันธะ α (1-4) และมีการแตกแขนงซึ่งเกิดจากลิเนียร์โพลิเมอร์มาเกาะกันด้วยพันธะ 1-6 ไกลโคซิดิก การแตกแขนงจะเกิดขึ้นทุก ๆ 12 หน่วย (โมเลกุล) ของกลูโคไพราโนส

สตาร์ชปกติจะประกอบด้วยอะไมโลสประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็มีบางชนิดที่จะแตกต่างกันไป เช่นพบว่าในข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (high amylose com) จะสร้างสตาร์ชที่มีปริมาณของอะไมโลสสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์ (โดยปกติชนิดที่ขายจะมีอะไมโลสสูงสุด 65 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งคาดว่าสตาร์ชชนิดนี้จะเกิดการเจลาติไนส์ได้ยากอาจต้องการอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส และในสตาร์ชบางชนิดก็จะมีเฉพาะอะไมโลเพกติน เช่น waxy com, waxy barley, waxy rice, ข้าวเหนียว สตาร์ชเหล่านี้จะให้เพสท์ที่ใส ไม่เกิดริโทรกราเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (เนื่องจากไม่มีอะไมโลส) จึงมีเพสท์ที่คงตัวดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อะไมโลส



อะไมโลเพคติน

รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ที่มา: Fennema, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
น้ำหนักโมเลกุล	50,000 - 2000,000	1 ถึงหลายล้าน
พันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic linkage)	ส่วนมาก α -D-(1 \rightarrow 4)	α -D-(1 \rightarrow 4) α -D-(1 \rightarrow 6)
การเกิดรีโทรกราเดชัน ผลจากปฏิกิริยาของ	สูง	ต่ำ
α -amylase	Maltose	maltose, β -limit dextrin
glucoamylase	D-Glucose	D-Glucose
รูปร่างของโมเลกุล	เส้นตรง	กึ่งก้าน

ที่มา: Fennema, 1985.

ในเม็ดสตาร์ชจะพบว่าการเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชเป็นชั้นๆแบบวงแหวนหรือเป็นลักษณะวงแหวนซ้อนกันหลายๆ ชั้น เมื่อผ่านแสงโพลาไรซ์ (Polarized light) จะเห็นเป็นเงากากบาทที่เรียกว่า ไบรฟ์ริงเจนส์ (Birefringence) แป้งที่จำหน่ายในทางการค้าก็คือเม็ดสตาร์ชที่มีความชื้นเหลืออยู่เล็กน้อย (วรรณา, 2534) เม็ดสตาร์ชที่แห้งจะหดตัวเนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชอัดตัวกันแน่น เม็ดสตาร์ชปกติที่ไม่ถูกทำลายจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะสามารถดูดซับน้ำแล้วพองตัวอย่างช้าๆ แบบแปรกลับได้ โดยสภาวะดูดซับน้ำและการพองตัวจะมีขีดจำกัดขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโมเลกุลของสตาร์ชจะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็ว เกิดการทำลายพันธะภายในโมเลกุล โดยโมเลกุลข้างที่มีพันธะไฮโดรเจนจะจับกับโมเลกุลน้ำมากขึ้นเกิดการแทรกซึมของน้ำในเม็ดสตาร์ช เมื่อให้ความร้อนต่อไปเม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้นลักษณะไบรฟ์ริงเจนส์จะหายไป เรียกจุดที่ไบรฟ์ริงเจนส์หายไปนี้ว่า จุดการเกิดเจลาตินไนส์ (Gelatinization point) อุณหภูมิที่เกิดเจลาตินไนส์ (Gelatinization temperature) อุณหภูมิแป้งสุก หรือการเกิดเป็นเพสต์ (paste) แป้งที่ได้จะเปลี่ยนจากลักษณะปุ่นเป็นใส โดยที่เม็ดสตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะมีจุดนี้ที่อุณหภูมิที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2

การเกิดเจลาตินไนส์ในเม็ดสตาร์ชนอกจากจะขึ้นกับชนิดของเม็ดสตาร์ชแล้วก็ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มักพบในอาหาร ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลาตินไนส์ในเซชันได้ด้วย เช่นน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงจะลดอัตราการเกิดเจลาตินไนส์ในเซชัน ความหนืดสูงสุด และความแข็งแรงของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ผู้ที่เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

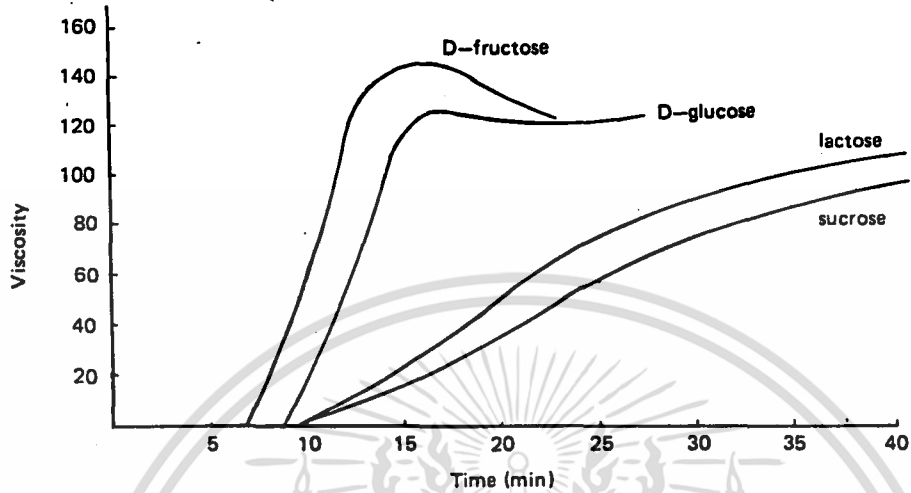
(ดังรูปที่ 2) และพบว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) จะมีผลชะลอการเกิดเจลาตินในเซชัน และทำให้ความหนืดสูงสุดลดลง โดยมีผลมากกว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ไขมันสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอะไมโลส ซึ่งชะลอการพองตัวของเมล็ดสตาร์ช โดยไขมัน เช่นไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerols) (ไขมันและน้ำมัน) และสารที่มีไขมัน เช่น อิมัลซิไฟเออร์ มีผลต่อการเกิดเจลาตินในเซชันของเมล็ดสตาร์ช และมีผลต่อการเกิดความหนืดสูงสุดโดยกรดไขมันหรือส่วนประกอบของกรดไขมันของโมโนเอซิลกลีเซอรอล (monoacylglycerols) สามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอะไมโลสซึ่งเป็นเกลียววน และอาจเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับอะไมโลเพคตินได้ ดังรูปที่ 3

ในน้ำแป้งจะพบว่ามีอะไมโลสหลุดออกมาจากเมล็ดสตาร์ชแขวนลอยอยู่ ถ้าน้ำแป้งยังร้อนอะไมโลสก็จะอยู่ในสภาพแขวนลอย แต่เมื่ออุณหภูมิเริ่มลดลงโมเลกุลของอะไมโลสจะจับกันเกิดเป็นลักษณะโครงร่างตาข่ายและทำให้โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ในเมล็ดสตาร์ชหลุดออกมาเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า รีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ตารางที่ 2 คุณลักษณะของเมล็ดสตาร์ช

แหล่งที่มา	เส้นผ่าศูนย์กลาง(ไมโครเมตร)		อุณหภูมิเกิดเจลาตินในส (องศาเซลเซียส)
	ช่วงระยะ	ค่าเฉลี่ย	
ข้าวโพด	21-96	15	61-72
มันฝรั่งขาว (White potato)	15-100	33	62-68
มันฝรั่งหวาน (Sweet potato)	15-55	25-50	82-83
มันสำปะหลัง	6-36	20	59-70
ข้าวสาลี	2-38	20-22	53-64
ข้าว	3-9	5	65-73

ที่มา :Fennema, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ผลของน้ำตาลหลายชนิดต่อความหนืดที่เกิดระหว่างเม็ดสตาร์ชเกิดเจลาติโนสเซนชัน
(5 % corn starch 100 องศาเซลเซียส)

ที่มา :Fennema, 1985.

3.2 แป้งดัดแปร (Modified starch)

การนำแป้งมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี หรือกายภาพด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง แป้งที่ได้เรียกว่าแป้งดัดแปรหรือแป้งดัดแปลง (Modified starch) เป็นการทำให้เกิดความเหมาะสม และเพิ่มขอบเขตในการใช้งานทางอุตสาหกรรมมากขึ้น ด้วยคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากแป้งดัดแปร เช่น มีความใสเพิ่มขึ้น คงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น (freeze-thaw stability) จึงมีการนำแป้งดัดแปรไปใช้ประโยชน์กันมาก

3.2.1 การดัดแปรแป้ง

มีวิธีการซึ่งแบ่งได้ 3 วิธีคือ (จำเริญ , 2537)

3.2.1.1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลสหรืออะไมโลเพคติน

เนื่องจากปริมาณหรือสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่นแป้งที่มีอะไมโลสสูงมีคุณสมบัติเกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ดี ใช้เคลือบผิววัสดุต่างๆ ทำกาว หรือทำวัสดุบรรจุอาหารที่รับประทานได้ แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงเมื่ออยู่ในสภาพแป้งสุกจะมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-thaw stability) โดยมีวิธีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอะไมโลส โดยใช้วิธีการปรับปรุงพันธ์พืช เพื่อให้ได้พันธ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้นกว่าพันธ์ข้าวที่มีอยู่ตามธรรมชาติและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม (สายสนม,2528)

3.2.1.2. วิธีการทางกายภาพ

แป้งที่ได้เรียกว่าแป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch) หรือแป้งพรีเจล (pregelled starch) มักใช้เป็นส่วนผสมในสุตรอาหาร สามารถเตรียมได้โดยการใช้ความร้อน เช่นการนำน้ำแป้งดิบที่มีความเข้มข้นเหมาะสม ผ่านเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งแนวนอน 2 ลูก หมุนเข้าหากัน มีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ แป้งจะเกิดการเจลาติไนซ์ แห้งเคลือบอยู่บนผิวหน้าของลูกกลิ้งและชูดอกด้วยใบมีด นำไปผ่านเครื่องบด และเข้าเครื่องร่อนให้ได้ขนาดตามต้องการ แล้วบรรจุเป็นแป้งพรีเจล แป้งพรีเจลาติไนซ์สามารถละลายในน้ำเย็น ชูดชบน้ำได้สูง ให้ความหนืดทันที นิยมใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารที่ผลิต เพื่อ่ายต่อการรับประทาน โดยไม่ต้องผ่านการหุงต้ม หรือให้ความร้อน เช่น instant pudding , instany soup , instant beverages , pie fillings , cake frostings

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3. วิธีการทางเคมี

การดัดแปรโดยวิธีการทางเคมีมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.2.1.3.1. การทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของสารประกอบในเม็ดแป้ง (degradation) จะอาศัยปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของสารประกอบในเม็ดแป้ง แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

- การดัดแปรด้วยกรด แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า acid modified starch หรือ thin-boiling starch ในการผลิตทางการค้าจะใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายแป้งข้าวโพด หรือ waxy maize starch 40 เปอร์เซ็นต์ กับกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดซัลฟูริก ที่อุณหภูมิ 25-55 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้สังเกตจากความหนืดที่ลดลง ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6-24 ชั่วโมงแล้วทำให้ส่วนผสมเป็นกลางโดยใช้สารละลายเจือจางโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำไปกรองและทำแห้ง แป้งดัดแปรด้วยกรดนี้จะใช้ในอุตสาหกรรมลูกกวาด ทอฟฟี่ เพราะมีความหนืดต่ำเมื่อร้อน ให้เจลที่แข็งและใสเมื่อเย็น

- การดัดแปรด้วยการฟอกหรือวิธีออกซิเดชัน แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า oxidized starch เป็นการทำปฏิกิริยากับสารเคมีพวก oxidizing agent เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ แป้งที่ได้มีความหนืดต่ำขณะร้อน เจลคงตัว มีคุณสมบัติในการไหลเมื่อแห้ง ใช้ในผลิตภัณฑ์พวกผงโรย ชุปกึ่งสำเร็จรูป

- การดัดแปรโดยวิธีเดกซ์ทรินไนซ์เซชัน แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่าเดกซ์ทริน (dextrin) เป็นกระบวนการให้ความร้อนกับแป้งที่อยู่ในสภาพกรดและค่อนข้างแห้ง มีคุณสมบัติคือละลายดีในน้ำเย็น ความหนืดลดลงขณะร้อน ฟิล์มที่ได้มีคุณสมบัติเป็นกาวได้ดีกว่าแป้งธรรมชาติ

3.2.1.3.2 การเกิดอนุพันธ์ (Derivatization)

เป็นการอาศัยปฏิกิริยาเคมี กับสารประกอบต่างๆ เรียกแป้งดัดแปรที่ได้จากวิธีนี้ว่าอนุพันธ์ของแป้ง (starch derivative) ได้แก่ สตาร์ชอีเทอร์ (starch ether) สตาร์ชเอสเทอร์ (starch ester) และ ครอสลิงกิง (cross-linking)

- สตาร์ชอีเทอร์ (starch ether) ได้จากปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันของแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่อีเทอร์ (etherifying reagent) ได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิล สตาร์ช (hydroxypropyl starch) , คาร์บอกซิเมทิล สตาร์ช (carboxymethyl starch) และ แป้งแคทไอออนิก (cationic starch)

- สตาร์ชเอสเทอร์ (starch ester) ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันของแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่เอสเทอร์ ได้แก่ สตาร์ชอะซิเตต (starch acetate) และ สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (starch phosphate monoester) โดย สตาร์ชฟอสเฟต โมโนเอสเทอร์ เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของส่วนผสมแห้งของแป้งกับเกลือกรดของ ortho-,pyro- หรือ tripolyphosphate ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยสภาวะหนึ่งที่ใช้คือ ให้ความร้อนที่ 50-60°C เป็นเวลา 1 ชม. สตาร์ชฟอสเฟตจะให้ผลที่ใสกว่าแป้งเดิม และลดการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) คุณลักษณะเหล่านี้จะคล้ายกับแป้งมันฝรั่งซึ่งมีกลุ่มฟอสเฟตด้วย สตาร์ชฟอสเฟตมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลาย (Freeze-thaw stability) จึงใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง ใช้เป็นสารให้ความหนืด (thickener) ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ในการเตรียม frozen gravy , frozen cream pie

- ครอสลิงกิง (cross-linking) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ อาจเกิดเป็นปฏิกิริยา etherification หรือ esterification แล้วแต่สารเคมีที่ใช้โดยจะทำปฏิกิริยากับหมู่ hydroxyl ของโมเลกุลแป้ง มากกว่า 1 หมู่ เกิดเป็นพันธะเชื่อมข้าม (crosslink) เช่น สตาร์ชฟอสเฟต ไดเอสเทอร์ (starch phosphate diesters แป้งครอสลิงกิงผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งในรูป aqueous suspension กับ phosphoryl chloride หรือปฏิกิริยาของ starch slurry กับ trimetaphosphate 2 เฟอร์เซ็นต์ (pH 10-11) ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม.

การเกิดสตาร์ชครอสลิงกิง (Starch-Cross-Linking) สามารถอธิบายได้โดย แป้งจะค่อยมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในขณะนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) ได้ Cross-linked starch ซึ่งมีลักษณะใส แต่การเพิ่มความหนืดก็ไม่เป็นสัดส่วนกับการเพิ่ม Cross-linked starch ในขณะที่เกิดการ Cross-linked starch เกิดขึ้นความหนืดของแป้ง จะเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดสูงสุด (Peak) หลังจากนั้นก็จะลดต่ำลงจนกระทั่งแป้งเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นมีสีเข้มที่บวมใสเหมือนก้อน (Opacity) แสดงว่าคุณสมบัติของแป้งที่จะให้ของเหลว(น้ำ) ลดต่ำลงและเกิดการCross-linked starch อย่างสูงสุด

สารเคมีที่ใช้ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (Alexander,1974) คือ

1. สารเคมีที่ทำให้เกิดแป้งคัดแปรชนิดสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ เป็นสารเคมีพวกเกลือออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate salt) เช่น โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodiumdihydrogenphosphate:NaH₂PO₄), ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodiumhydrogenphosphate:Na₂HPO₄), โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodiumtripolyphosphate : Na₅P₃O₄) เป็นต้น

2. สารเคมีที่ทำให้เกิดแป้งคัดแปรชนิดสตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเทอร์ เป็นสารเคมีพวกเกลือเมตาฟอสเฟต(Metaphosphate)เช่น โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (Sodiumtrimetaphosphate:Na₃P₃O₉), โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodiumhexametaphosphate : Na₆P₆O₁₈) เป็นต้น

การเตรียมแป้งเพื่อให้เกิดการเกิด Cross-linked starch มากที่สุดต้องเตรียมให้แป้งมีความหนืดสูงมาก และคงที่ถ้าสภาพของแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ (Gelatinization) จะทำให้แป้งมีความหนืดมากยิ่งขึ้นจนเป็นก้อนเหนียวแน่นจะต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น ต้องใช้หม้อนิ่งความดันไอ (Autoclave) หรือต้องเติมแป้งหรือเติมสารเคมี เช่น ด่าง, กรด หรือน้ำตาล วิธีการนี้จะทำให้แป้งมีความอ่อนนุ่ม(Tender) และเป็นมันเงา(Waxy) เช่น แป้งข้าวโพด, แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเมื่อนำแป้งเหล่านี้ไปหุงต้มจะขึ้นหนืดอย่างรวดเร็ว ปัญหานี้จะแก้ไขโดยการทำCross-linked starchในปริมาณที่เหมาะสมทนต่อการหุงต้มได้นานขึ้นไม่เกิดเพสต์ (Paste) เร็ว การเกิดเจลาติไนซ์ลดลง วิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้พัฒนาแป้งที่ไม่ได้คุณลักษณะ เช่น แป้งข้าวโพด ให้มีคุณลักษณะตามต้องการคือเป็นแกรนูล (Granule) ที่มีจำนวนของDistarch Phosphate อยู่พอเพียงที่จะไม่แปรสภาพเป็นเพสต์ (Paste) ถึงแม้จะต้มในน้ำเดือด ไม่มีปฏิกิริยาต่อความชื้น หรืออุณหภูมิ สามารถนำไปใช้ในทางการแพทย์

วิธีการทำให้แป้งเกิดปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส จะต้องทำให้มี pH ประมาณ 9 หรือ

11 ก็ได้ และสาร alkaline ที่นิยมใช้ ได้แก่ NaOH , Na₂CO₃ โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เพียงพอ

ต่อการเกิดปฏิกิริยาก็คือ 0.3 กรัม โดยประมาณเมื่อปฏิกิริยาผ่านไป 1 ชม. อุณหภูมิควรอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส และ pH มีค่า 11 การใช้ฟอสเฟตที่มากเกินไปก็ไม่มีประโยชน์ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้จะเกิดอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น pH สูงขึ้น จำนวนเมตตาฟอสเฟตที่ใช้จะเป็นตัวชี้ว่า แป้งจะเกิดเจลาตินส์หรือไม่ ถ้าอุณหภูมิน้อยกว่า 50 องศาเซลเซียส จะต้องเพิ่มเมตตาฟอสเฟตประมาณ 0.01 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมที่ใช้ให้ผลดีในกระบวนการฟอสโฟริเลชันนี้จะต้องมีไอออนของโซเดียม ประมาณ 0.4 โมล/ลิตรซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับเกลือฟอสเฟต มีอยู่ 3 แบบ

แบบที่ 1

จะเกิดเมื่อใช้ไตรโพลีฟอสเฟตภายใต้สภาพที่เป็นกลางไปจนถึงสภาพที่เป็นค่าอง่อนๆ ซึ่งจะเทียบได้กับบางส่วนของเอสเทอร์รีทิเคชันที่ใช้กรดอินทรีย์ชนิดไม่มีน้ำในโมเลกุล (Anhydry) เช่น กรดอะซิติกแอนไฮดราต เป็นต้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กรดโพลีอะซิติกจะทำปฏิกิริยาโดยการแลกเปลี่ยนกลุ่ม ROH ของแป้ง ดังนี้

ทำให้เกิดอะซิติกแอซิดเอสเทอร์ของแป้งและอะซิติกแอซิดอีก 1 โมเลกุล ตัวอย่างเช่น ไตรโพลีฟอสเฟต จะทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนดังกล่าว โดยใช้กากของไตรโพลีฟอสเฟตชนิดแอนไฮโดรฟอสโฟลิกแอซิด อยู่ 1 หรือมากกว่า 1 อย่าง ทำให้เกิดออโรฟอสเฟตเอสเทอร์ของแป้งและกรดขึ้น ตามลำดับดังนี้

แป้งอาจจะทำปฏิกิริยาอีกแบบหนึ่งเป็นทำนองเดียวกับเกลือที่ทำให้กรดมีความเป็นกรดน้อยลง ทำให้เกิดกลุ่มของออร์โธฟอสเฟตเอสเทอร์ของแป้งตัวอื่นกับโมเลกุลของออร์โธฟอสเฟตอีก 1 โมเลกุล ในการสนับสนุนทฤษฎีนี้มีการบันทึกว่าเมื่อโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตถูกทำให้ร้อน พร้อมกับแป้งที่ไม่มีตัวเคลือบใดๆ (Unbuffer starch) ค่า pH ของปฏิกิริยาของสารผสมลดลงตามลำดับ จากประมาณ 8.5 หรือ 9 ไปจนถึงค่าที่มากกว่า 7 และยังมีการสนับสนุนความเห็นดังกล่าวต่อไปโดยการทำให้สารผสมจุดทางไฟฟ้า (Electrometric titration) ของโพลีฟอสเฟตกับกรดและด่าง ซึ่งจะให้จุดหมกมัน 2 จุด เมื่อนำค่าไปเขียนกราฟ pH จุดหนึ่งที่ 3.5 จุดที่ 2 pH 9.75 ในขณะที่ฟอสเฟตของแป้งเชิงเดี่ยวและเกลือฟอสเฟตที่เป็นผลพลอยได้จะให้จุดหมกมัน 2 จุด ทั้งคู่ หรือกล่าวได้ว่า จุดสมดุลเป็นทำนองเดียวกับ ออร์โธฟอสเฟตซึ่งมีจุดสมดุลอยู่ที่ pH 4 และ pH 9.2 ผลดังกล่าวมานี้เป็นการพิสูจน์ว่า ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งเป็นไปตามวิธีการซึ่งจะได้กล่าวต่อไปนั้นเป็นชนิดออร์โธฟอสเฟตเอสเทอร์ของแป้งเชิงเดี่ยว (Monostarch orthophosphate ester)

แบบที่ 2

เป็นเพียงปฏิกิริยาเสริมทำนองเดียวกับการเพิ่มของน้ำ (H_2O) แก่เมตาฟอสเฟต ทำให้เกิด ออร์โธฟอสเฟต เมื่อใช้แป้งกับ โซเดียมเมตาฟอสเฟต ปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้

แบบที่ 3

อาจทำให้เกิดก่อน หรือภายหลัง ปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วทั้ง 2 แบบก็ได้ และอาจพิจารณาเป็นส่วนขยายของปฏิกิริยาดังกล่าวมาแล้วทั้ง 2 แบบ ซึ่งอาจทำให้เกิดขึ้นได้ โดยการเพิ่ม อัลคาไลน์เมตาฟอสเฟตลงไป ปฏิกิริยานี้จะนำไปสู่การสร้างออร์โธฟอสเฟตของแป้งอย่างคู่ (Distarch orthophosphate) ซึ่งกลุ่มออร์โธฟอสเฟตเอสเทอร์มีการจับตัวแบบไขว้ระหว่างโมเลกุลของแป้ง ปฏิกิริยาที่แสดงในรูปต่อไปนี้ใช้ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต แป้งครอสลิงกิงจะเพิ่มความเสถียรในการพองตัวของเม็ด ความหนืดของเพสท์ขณะร้อนขึ้นกับ

ระดับการเกิดอนุพันธ์ (degree of derivatization) เฟสที่ที่ได้จะไม่ใสเมื่อเทียบกับแป้ง
ฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์

แป้งครอสลิงกิ้งนี้นิยมใช้ในอาหารเด็ก, น้ำสลัด (salad dressing), fruit pie
filling, cream style corn โดยจะทำหน้าที่หลักเป็นสารให้ความหนืด (thickener) และ
สารให้ความคงตัว (stabilizer) และนิยมใช้สตาร์ชฟอสเฟต ไดเอสเทอร์ (starchphosphate
diesters) มากกว่าแป้งธรรมชาติเพราะมีความสามารถที่ช่วยรักษาสภาพแขวนลอย (suspension)
ของอาหารหลังการหุงต้ม (cooking) โดยช่วยไม่ให้เกิดเจลและรีโทรกราเดชัน (retrogradation)
และยังมีความคงทนต่อการแช่แข็งและการละลายดี (freeze-thaw stability)

แป้งดัดแปรด้วยวิธีต่างๆนี้ จะมีลักษณะ คุณสมบัติที่ต่างกันไป ดังตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพดชนิดต่างๆ

ชนิด	อะไมโลสต่อ อะไมโลเพคติน	ช่วงอุณหภูมิเจลาติไนส์ (องศาเซลเซียส)	คุณสมบัติที่พบ
ปกติ	1:3	62-72	ความคงทนต่อการแช่แข็งและละลาย ต่ำ
Waxy	0:1	63-72	รีโทรกราเดชันน้อยมาก
High amylose	3:2-4:1	66-92	เม็ดสตาร์ซมีไบรฟริงเจนส์น้อยกว่าปกติ
Acid-modified	ไม่คงที่	69-79	ความหนืดเพสท์เมื่อร้อนต่ำลงเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ดัดแปร
Hydroxyethylated	ไม่คงที่	58-68 (DS 0.04)	ความใสของเพสท์เพิ่มขึ้น ลดรีโทรกราเดชัน
Phosphate monoesters	ไม่คงที่	56-66	อุณหภูมิเกิดเจลาติไนส์ลดลง ลดรีโทรกราเดชัน
Cross-linking	ไม่คงที่	สูงกว่าแป้งที่ไม่ได้ดัดแปรขึ้นกับระดับของการ cross-linking	ความหนืดสูงสุดลดลง ความคงตัวของเพสท์เพิ่มขึ้น
Acetylated	ไม่คงที่	55-65	เพสท์มีความใสและคงตัวดี

ที่มา : Fennema, 1985

3.2.2 การใช้แป้งดัดแปรในอุตสาหกรรม

3.2.2.1. อุตสาหกรรมอาหาร พบว่ามีการใช้แป้งดัดแปรที่มีคุณสมบัติต่างๆกันในอุตสาหกรรมแต่ละชนิดเช่น

- ขนมหวาน ลูกกวาดชนิดแข็งใช้แป้งดัดแปรที่มีความหนืดต่ำขณะร้อนเพื่อความสะดวกในขั้นตอนการเทลงพิมพ์ และได้วุ้นที่มีลักษณะแข็งและใสกว่าแป้งธรรมชาติ ลูกกวาดชนิดอ่อนใช้แป้งดัดแปรที่ให้วุ้นที่มีลักษณะอ่อนและใสกว่าแป้งธรรมชาติ

- การทำไส้พาย (pie filling) ใช้แป้งดัดแปรที่ทนต่อความร้อนสูง ใส ไม่เกิดรีโทรกราเดชัน
- น้ำสลัด (salad dressing) ใช้แป้งดัดแปรที่ทนต่อความเป็นกรด
- อาหารแช่แข็งที่มีลักษณะขุ่น ใช้แป้งดัดแปรที่ทนต่อการแช่แข็งและการละลาย
- อาหารกึ่งสำเร็จรูป เช่น พุดดิ้งกึ่งสำเร็จรูป (instant pudding) ไส้พายกึ่งสำเร็จรูป ใช้แป้งดัดแปรที่ละลายได้ในน้ำเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2. อุตสาหกรรมทำกระดาษ ใช้แป้งคัดแปรทำหน้าที่เป็นกาวและช่วยให้เกิดลักษณะต่างๆ

- เพิ่มความแข็งของกระดาษระหว่างรีดเป็นแผ่น
- เพิ่มความคงทนต่อการเปียกน้ำ
- เคลือบแผ่นกระดาษให้แข็ง (surface sizing)
- ป้องกันกระดาษขูดลอกและเป็นขุย
- ป้องกันน้ำหมึกซึม
- กระดาษมีพื้นผิวมันคงและแข็งแรง เหมาะในการเขียนและพิมพ์

3.2.2.3. อุตสาหกรรมสิ่งทอ

- ใช้แป้งคัดแปรที่มีความหนืดต่ำเคลือบเส้นด้ายตามยาว (warp yarn) เพื่อให้แข็งและทนต่อการขูดระหว่างทอผ้า
 - ใช้เคลือบผ้าที่ทอแล้ว เพื่อเพิ่มความแข็งและทำให้ผ้ามีลักษณะที่บขื่น
 - ใช้ในการพิมพ์สีบนผ้า
 - เป็นส่วนผสมของสารละลายที่ใช้เคลือบด้ายเย็บ ให้มีลักษณะมัน และลดความฝืดขณะเย็บ
- นอกจากนี้แป้งคัดแปรยังใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่นการหล่อโลหะ เหมืองแร่ ยา เครื่องสำอาง การชักรีด เป็นต้น (ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ , 2529)

3.3 ไมโครเวฟ (Microwave)

เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สั้นไม่สามารถเห็นได้และเดินทางด้วยความเร็วแสงประมาณ 186,282 ไมล์ต่อวินาที มีช่วงความถี่ระหว่าง 10^8 - 10^{11} Hz ดังรูปที่ 3

3.3.1 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ แสดงคุณลักษณะที่สำคัญ 3 ประการคือ

3.3.1.1. ความสามารถในการทะลุผ่าน (Transmittance) วัตถุบางอย่าง เช่น แก้ว กระจก กระจกใส พลาสติก ไม้ เครื่องปั้นดินเผา ทำให้ภาชนะที่ทำจากวัสดุเหล่านี้เมื่อนำไปใช้ในเตาอบไมโครเวฟ จะไม่เกิดความร้อนขึ้น แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาหารจะเป็นการถ่ายเทความร้อนจากอาหาร

3.3.1.2. ความสามารถในการดูดซับ (Absorption) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ทำให้อาหารสุก โดยอาหารจะดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลอาหาร จนเกิดความร้อนโดยน้ำเป็นส่วนที่คลื่นถูกดูดซับเข้าไปได้ง่ายที่สุด

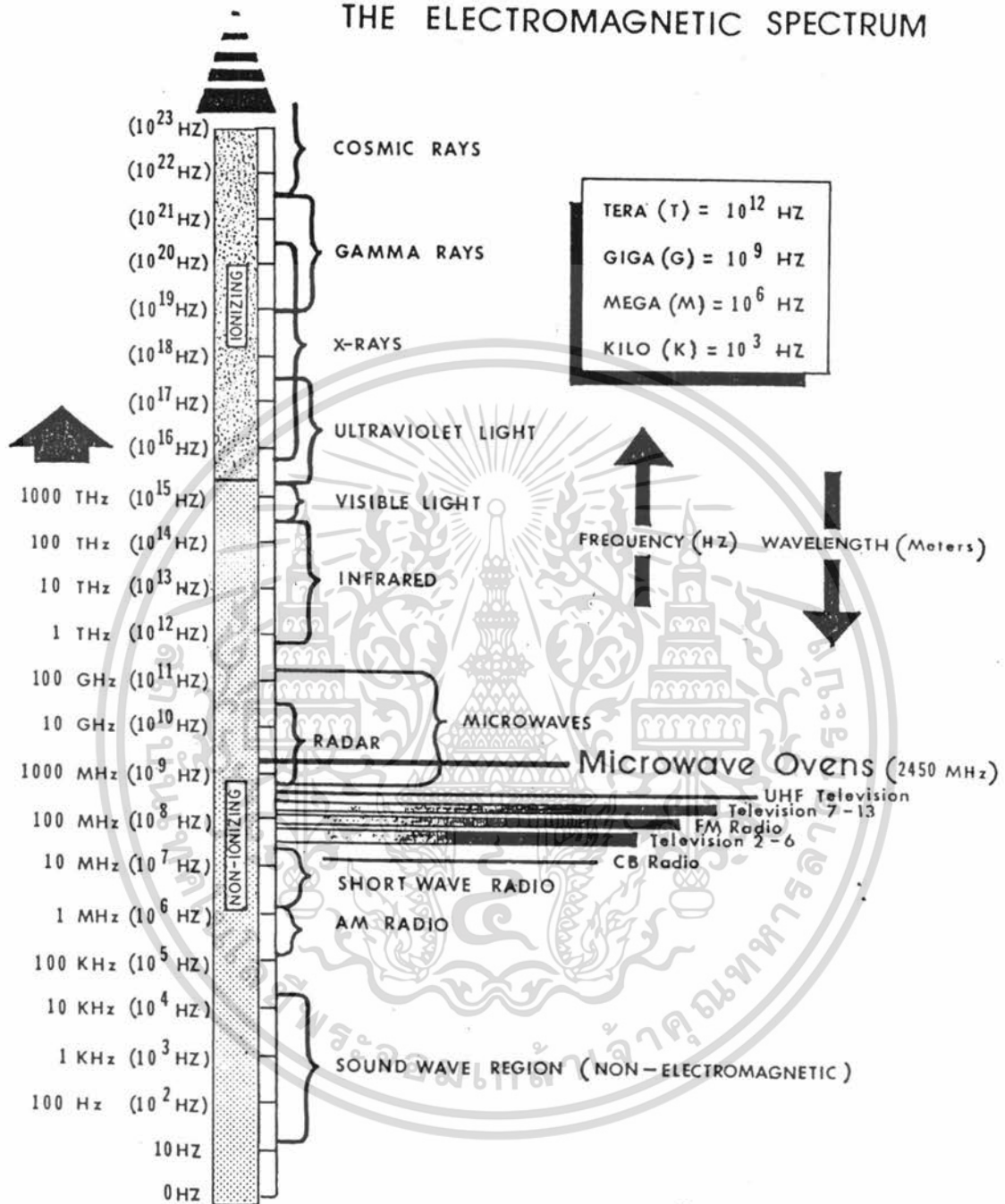
3.3.1.3 ความสามารถในการสะท้อนกลับ (Reflection) เมื่อกระทบวัตถุพวกโลหะจะไม่สามารถทะลุผ่านโลหะได้ ในเตาอบไมโครเวฟที่มีโลหะอยู่ด้านข้างและด้านล่าง ทำให้คลื่นไมโครเวฟสะท้อนกลับจากด้านล่างและด้านข้าง อาหารได้รับคลื่นไมโครเวฟทุกด้าน

3.3.2 หลักการให้ความร้อนของไมโครเวฟ

ในการให้ความร้อนอาหารโดยทั่วไปจะเป็นการให้ความร้อนด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอก ไม่ว่าจะเป็นการนำความร้อนหรือการพาความร้อน ซึ่งอาหารจะสุกจากความร้อนที่ผ่านจากผิวหน้าด้านนอกสู่ด้านใน แต่การใช้ไมโครเวฟจะเป็นการให้ความร้อนจากภายในตัวอาหารเอง ซึ่งการทำงานของไมโครเวฟนี้เปรียบได้ง่ายๆ เหมือนการถูมือทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดการเสียดสี (friction) จนเกิดความร้อนในที่สุด ไมโครเวฟก็เช่นกัน เมื่อมีการดูดซึมพลังงานไมโครเวฟเข้าไปในสาร จะทำให้เกิดการเสียดสีในโมเลกุลโครงสร้างจนเกิดความร้อน โดยจะเป็นการเปลี่ยนแปลงขั้วในสนามไฟฟ้า คล้ายกับการหมุนของขั้วอย่างอ่อน (dipole rotation) ส่วนประกอบของอาหารโดยส่วนใหญ่คือน้ำซึ่งมีขั้วและสารอื่นๆ ในอาหารที่มีขั้วด้วย จะเหมือนแท่งแม่เหล็กที่ได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (มาลีย์, 2527) โมเลกุลที่มีขั้วจะมีการเรียงตัวตามแนวขั้วบวกและขั้วลบสลับไปมา จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขั้ว

ดังรูปที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



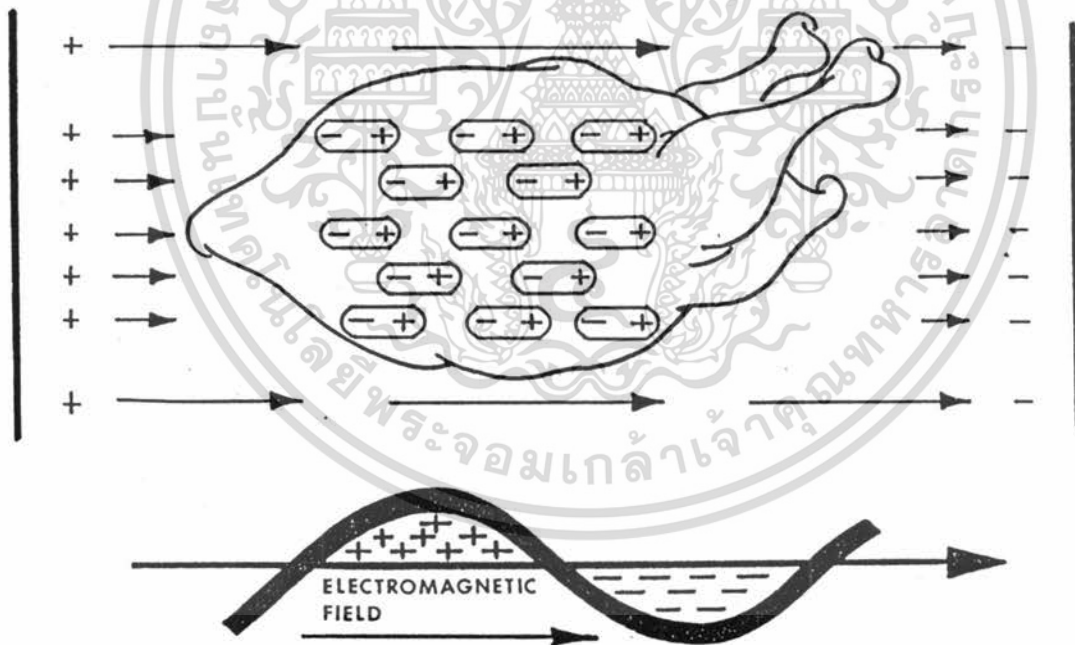
รูปที่ 8 ช่วงความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ

ที่มา : Gallawa,1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

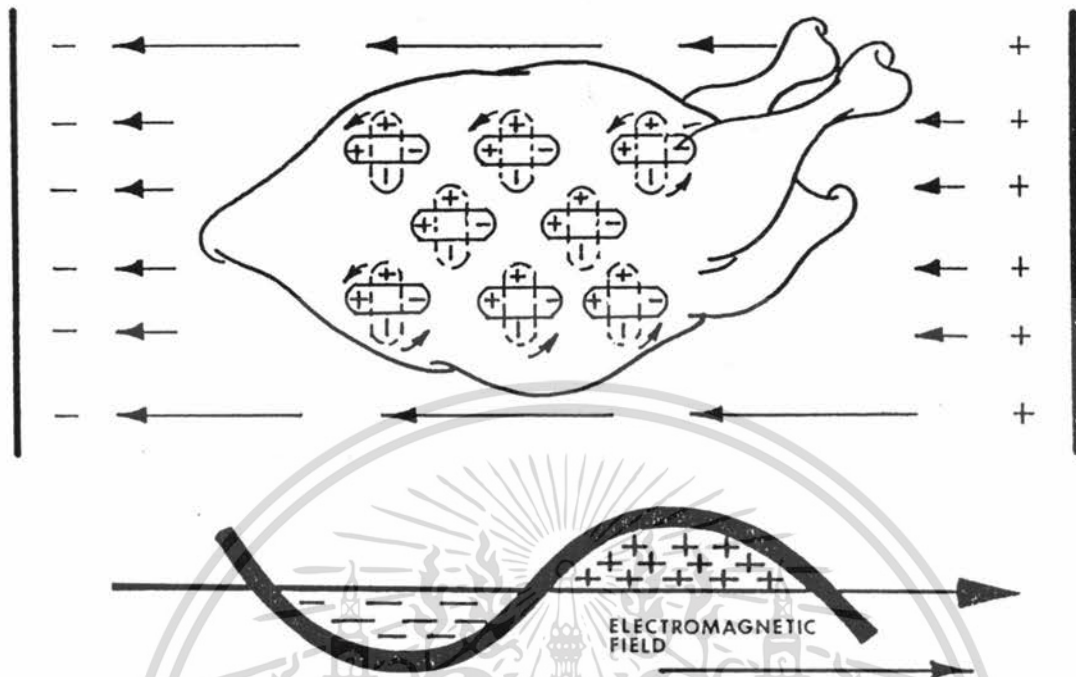


รูปที่ 4 การเรียงตัวของประจุในอาหารตามธรรมชาติ
ที่มา : Gallawa,1989.



รูปที่ 5 การเรียงตัวของประจุอาหารเมื่อได้รับพลังงานไมโครเวฟ
ที่มา : Gallawa,1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การกลับทิศทางของโมเลกุลอาหารเหมือนกับที่พลังงานมีการเปลี่ยนชั่วประจุ
ที่มา : Gallawa,1989.

3.3.3. ข้อได้เปรียบในการใช้ไมโครเวฟ

เมื่อเทียบกับการให้ความร้อนกับอาหารด้วยวิธีอื่น ๆ

- อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ใช้เวลาเล็กน้อย ทำให้เพิ่มอัตราการผลิต ลดการสูญเสียคุณภาพอาหาร
- การเพิ่มของอุณหภูมิต่ำเสมอ ไม่เกิดการแข็งตัวหรือไหม้ที่ผิวอาหาร
- มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานดี ไม่สูญเสียความร้อนให้อากาศ
- เครื่องมือนี้น่าจะไม่ใหญ่มากนัก

3.3.4. ข้อเสีย

- มีค่าใช้จ่ายสูง เครื่องมือนี้น่าแพง
- มีโอกาสที่คลื่นไมโครเวฟจะไม่ได้สัมผัสอาหารทุกจุดทั่วถึง
- อาจเกิดอันตรายจากการรั่วไหลของคลื่น

ภาชนะที่สามารถใช้กับไมโครเวฟได้แก่ ภาชนะที่ทำด้วยแก้วทนไฟ พลาสติก

ทนไฟ ไม้ กระเบื้อง เซรามิก กระจก พลาสติกห่ออาหาร และภาชนะที่ไม่สามารถนำมา

ใช้กับไมโครเวฟได้แก่ พลาสติกห่อ เนื่องจากจะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ

ไมโครเวฟแต่ละยี่ห้อ มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป และต้องอ่านฉลากของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

4.1 วัสดุ

4.1.1 แป้งมันสำปะหลัง ตราปลามังกร บริษัทตงจิ้น

4.1.2 แป้งข้าวเหนียว ตราช้างสามเศียร บริษัทโรงเส้นหมี่ขอสงวนจำกัด

4.2 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี

4.2.1. เครื่องมือ

4.2.1.1. ตู้อบไมโครเวฟ ยี่ห้อ Goldstar Model ER-461 OD

4.2.1.2. ตู้แช่แข็ง (Freezer) ยี่ห้อ Sanyo Model SCF-600 2A

4.2.1.3. เครื่องผสมแป้ง ยี่ห้อ Hobart Kitchen.Aid Div

4.2.1.4. ชุด soxhlet

4.2.1.5. Blender ยี่ห้อ National

4.2.1.6. pH-meter ยี่ห้อ Suntex Model SP-701

4.2.1.7. Centrifuge ยี่ห้อ Jouan Model GR 411

4.2.1.8. Autotitration ยี่ห้อ Schott Gerate Model N 6480

4.2.1.9. Hot air oven ยี่ห้อ Memmert Model UM 400

4.2.1.10. Desiccator

4.2.1.11. Vacuum rotary evaporator ของ Ika Labortechnik

4.2.1.12. Muffle Model CSF 1100 (Carbolite Furnaces)

4.2.1.13. Spectrophotometer ยี่ห้อ Cecil Model 292

4.2.1.14. Roter Mixer Type RW 20 (kika Labortechnik)

4.2.1.15. เครื่องชั่ง ยี่ห้อ Mettler Model AE50

4.2.2. สารเคมี

4.2.2.1. Acetic acid 100 % ของ E. merck

4.2.2.2. Ethyl alcohol 95 % ของกรมสรรพสามิต

4.2.2.3. Hydrochloric acid 36.5-38 % ของ J.T.Baker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์เทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีการเกษตร

4.2.2.4. Iodine และ Potassiumiodide

4.2.2.5. Petroleum ether ของ Mallinckrodt

4.2.2.6. Phenolphthalein

4.2.2.7. Sodium dihydrogenphosphate ของ Merck M=137.998 g/mol

4.2.2.8. Sodiumhexametaphosphate Assay65-70% ของ Fluka Chemika

4.2.2.9. Sodium hydroxide ของ Ajax Chemicals UN NO.1823

4.3 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้มีการวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) มีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาฟอสโฟไรเลชัน (Phosphorylation) โดยพิจารณาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่เกาะกับโมเลกุลของสตาร์ช (Bound phosphorus) 2 ประการ คือ

- ความเข้มข้นของสารละลายเกลือฟอสเฟต
- เวลาในการอบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวโดยนำมาหาองค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis) ที่มีความสำคัญ ได้แก่ ความชื้น ไขมัน เถ้า ด้วยวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลสกับฟอสฟอรัสด้วยวิธีการทดลองของ Juliano (1971) และ Narkrugsa (1990) ตามลำดับ

ในการผลิตสตาร์ชฟอสเฟตจากวัตถุดิบคือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว จะเริ่มจากการทำการทดลองผลิตขั้นต้น เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ด้วยการนำวัตถุดิบมาผ่านกระบวนการดังรูปที่ 7 โดยทดลองใช้ความเข้มข้นของสารละลายเกลือฟอสเฟตที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำ : แป้ง เป็น 1:1 (น้ำหนักแห้ง) พบว่าในขั้นผสม แป้งที่ผสมได้จะมีลักษณะเหลวมากเกินไป ซึ่งในการทดลองนี้ต้องการให้กระบวนการผลิตเป็นแบบกึ่งแห้ง (Semidry) เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งและลดการกำจัดของเสียจากน้ำทิ้ง จึงเปลี่ยนสัดส่วนปริมาณน้ำ : แป้ง เป็น 1 : 2 (น้ำหนักแห้ง) และทดลองอบด้วยเตาอบไมโครเวฟที่เวลาต่าง ๆ กัน พบว่าเมื่อใช้เวลาอบนานเกินไปจะทำให้แป้งที่ได้มีสีเข้มและไหม้ โดยเมื่อเพิ่มเวลาอบขึ้นเรื่อยๆพบว่าแป้งข้าวเหนียวจะไหม้ก่อนแป้งมันสำปะหลังหรือใช้เวลาอบได้น้อยกว่า และเมื่อนำสตาร์ชฟอสเฟตที่ทดลองผลิตไปหาปริมาณฟอสฟอรัสที่เกาะกับโมเลกุลของสตาร์ช

(Bound phosphorus) จะพบว่าปริมาณเพิ่มขึ้นจากแป้งวัตถุดิบ จึงสามารถกำหนดระดับของปัจจัยได้ดังนี้

- ความเข้มข้นของสารละลายเกลือฟอสเฟต ที่ 10, 15 และ 20 %
- เวลาในการอบ : แป้งมันสำปะหลังที่ 5, 7 และ 9 นาที
แป้งข้าวเหนียวที่ 5, 6 และ 7 นาที

4.3.1 การผลิตสตาร์ฟอสเฟต

1. ชั่งน้ำหนักแป้งวัตถุดิบ 500 กรัม
2. เตรียมสารละลายเกลือฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 10 15 และ 20 % โดยละลายเกลือฟอสเฟตในน้ำกลั่น (ปริมาณน้ำ : แป้ง = 1: 2 (น้ำหนักแห้ง)) และเกลือฟอสเฟตที่ใช้ในการทดลองได้แก่ -Sodium dihydrogenphosphate สำหรับใช้ในการผลิต Starchphosphate monoester
-Sodium hexametaphosphate สำหรับใช้ในการผลิต Starchphosphate diester
3. ผสมแป้งและสารละลายเกลือฟอสเฟตด้วยเครื่องผสมแป้ง ใช้หัวตีรูปตะขอ โดยค่อย ๆ เติมสารละลายเกลือฟอสเฟตลงในแป้งอย่างช้า ๆ และผสมให้เข้ากันอย่างทั่วถึง แป้งที่ได้จะมีลักษณะดังรูปภาคผนวกที่ 1
4. บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทคือถุงพลาสติก PE ขนาด 10 x 9 นิ้ว แล้วปิดผนึก วางแผ่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ให้ความชื้นกระจายอย่างทั่วถึง
5. นำไปอบในเตาอบไมโครเวฟ และวัดอุณหภูมิแป้งที่ได้หลังการอบ ดังรูปภาคผนวกที่ 2 โดยเทแป้งใส่จานกระเบื้องเคลือบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 นิ้ว ลึกประมาณ 0.5 นิ้ว เกลี่ยให้เท่ากันแล้วอบที่เวลาต่างๆ กันคือ
แป้งมันสำปะหลัง : 5, 7, 9 นาที
แป้งที่ได้มีลักษณะดังรูปภาคผนวกที่ 3
แป้งข้าวเหนียว : 5, 6, 7 นาที
แป้งที่ได้มีลักษณะดังรูปภาคผนวกที่ 4
6. ทิ้งไว้ให้เย็น บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทคือถุงพลาสติก PE

ดังนั้นสตาร์ฟอสเฟตที่ผลิตตามการทดลองนี้ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Starchphosphate monoester จากแป้งมันสำปะหลัง
- Starchphosphate monoester จากแป้งข้าวเหนียว
- Starchphosphate diester จากแป้งมันสำปะหลัง
- Starchphosphate diester จากแป้งข้าวเหนียว

แป้ง 500 กรัม



ค่อย ๆ เติมสารละลายเกลือฟอสเฟต
ผสมด้วยหัวตีรูปตะขอ จนเข้ากันดี



บรรจุในภาชนะปิดสนิท



ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง



นำไปอบในเตาอบไมโครเวฟ



ทิ้งไว้ให้เย็น



บรรจุในภาชนะปิดสนิท

รูปที่ 7 แผนผังการผลิตสตาร์ชฟอสเฟต

หลังจากผ่านกระบวนการผลิต ได้เป็นสตาร์ชฟอสเฟตแล้ว จะนำมาตรวจสอบ
คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ ดังนี้

4.3.2. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี - ฟิสิกส์

4.3.2.1. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เกาะกับโมเลกุลสตาร์ช (Bound phosphorus)

4.3.2.1.1. หลักการ

ก่อนการไตเตรตตัวอย่างโดยเฉพาะสตาร์ชฟอสเฟต ตัวอย่างจะถูกล้าง
เอาฟอสฟอรัสอิสระ (free phosphorus) ออกไปก่อน ตัวอย่างควรล้างด้วยตัวทำละลายที่เลือก
ซึ่งมีหลายตัว เช่น น้ำ เมธิลแอลกอฮอล์ เอทิลแอลกอฮอล์ สำหรับตัวอย่างที่ละลายน้ำ เช่น
extruded starch ควรล้างด้วยแอลกอฮอล์ ในโรงงานมักใช้เมธิลแอลกอฮอล์และเอทิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์ (50 เปอร์เซ็นต์ในน้ำ) หลังการล้างตัวอย่าง ควรปรับสภาพด้วยสารละลาย aqueous acid เพื่อปรับเปลี่ยนรูปร่างจาก Salted starch phosphate เป็น acid starch phosphate เพื่อไต่ตรงกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ การไทเทรตสตาร์ชฟอสเฟต OH-group ในฟอสเฟตจะถูกแทนที่ในรูปของ mono และ di substitutions ด้วยโมเลกุลแป้ง จะมีจุดสมมูล 2 จุดในกราฟไทเทรต ถ้าตัวอย่างเป็น mono-substitution อย่างเดียว หรือผสมระหว่าง mono และ di จุดสมมูลเป็นที่ pH 7.5-9.5 (pK 6-7) และ pH 4-5 (pK 1-2) สำหรับ di-substitution อย่างเดียวจะมีจุดสมมูลจุดเดียวที่ pH 4-5

4.3.2.1.2. วิธีการทดลอง (วิธีตาม Narkrugsaa, 1990)

- 1) นำแป้งที่บดแล้ว สกัดด้วยตัวทำละลาย Ethyl alcohol 80% ด้วยชุดกลั่น soxhlet เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 2) แผ่นแป้งให้แอลกอฮอล์ระเหยที่อุณหภูมิห้อง
- 3) ชั่งแป้งที่ได้ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 100 ml.
- 4) ปรับ pH ให้เท่ากับ 2 ด้วยกรด HCl 6 N.
- 5) คน 5 นาที เข้าเครื่อง Centrifuge ที่ 1800 rpm 5 นาที
- 6) เทส่วนใสทิ้งไป เติมน้ำกลั่น 100 ml. คนให้เข้ากัน
- 7) Centrifuge เทส่วนใสทิ้งไป เติมน้ำกลั่น 100 ml.
- 8) นำไปไทเทรตกับ NaOH 0.2 N. ด้วย Autotitration จนถึงจุดยุติที่ pH = 5 บันทึกปริมาณค่าที่ใช้ไทเทรตต่อจนถึงจุดยุติที่ 9.5 บันทึกปริมาณค่าที่ใช้

4.3.2.1.3. การคำนวณ

$$\% \text{ bound phosphorus} = \frac{(A-B) \times N \times 0.31}{W}$$

W

A = ปริมาตรไตเตรตที่ 9.5 (ml.)

B = ปริมาตรไตเตรตที่ 5 (ml.)

N = ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรต

W = น้ำหนักแห้งของแป้งที่นำมาไตเตรต

$$\% \text{ DS} = \% \text{ Pd} - \% \text{ Pt}$$

12.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินหรือกรณีการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
% DS = เปอร์เซ็นต์การเข้าแทนที่ของฟอสฟอรัสในแป้ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% Pd = เปอร์เซนต์ bound phosphorus ในสตราฟฟอสเฟต

% Pt = เปอร์เซนต์ bound phosphorus ในวัตถุดิบ

4.3.2.2. ความคงทนในการแช่แข็งและละลาย (Freeze-thaw stability)

4.3.2.2.1. หลักการ

โดยปกติอาหารที่เก็บในที่เย็นจัดเมื่อนำมาละลายจะพบว่า มีการแยกตัวของน้ำซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการ จึงมีการเติมสารพวกแป้งคัดแปรที่มีคุณสมบัติช่วยลดการแยกตัวของน้ำ ซึ่งสตราฟฟอสเฟตก็เป็นชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัตินี้ ซึ่งในการทดสอบความคงทนต่อการแช่แข็งและละลาย จะทำโดยนำพาสไปแช่แข็ง แล้วนำมาละลาย วัดปริมาณน้ำที่แยกตัว ซึ่งการแช่แข็งและละลายนี้สามารถทำเป็นวงจรได้คือ ทำการแช่แข็งและละลายซ้ำ ๆ หลาย ๆ ครั้ง

4.3.2.2.2. วิธีการทดลอง (วิธีการของ Schoch, 1968 Berghofer, 1975 และ Luallen, 1994)

- 1) แป้งที่บดแล้ว 5%
- 2) เติมน้ำกลั่นจนมีน้ำหนักรวมเป็น 300 กรัม ในด้วยสแตนเลส
- 3) แช่ใน Water bath ที่ 95 องศาเซลเซียส
- 4) กวนผสมโดย Roter mixer ด้วยใบกวน (blade No.3) ด้วยความเร็ว 60 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที
- 5) เทพสต์ลงในภาชนะบรรจุ
- 6) นำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ 38-40°F เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
- 7) นำออกมาทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง
- 8) เทพสต์ที่ละลายและคนให้เข้ากันดีแล้ว 100 ml. ใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยง
- 9) หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที
- 10) วัดปริมาณน้ำที่แยกออกจากพสต์ (ml.)
- 11) รายงานผลเป็นเปอร์เซนต์น้ำที่แยกออกมาได้

4.3.2.2.3. การคำนวณ

% FTS = ปริมาณที่แยกออกมาได้ (ml.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ผลการทดลอง

5.1. องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของวัตถุดิบ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวเหนียว
% ความชื้น	12.1689	13.2688
% ไขมัน	0.85	1.27
% เถ้า	0.25	0.23
% ฟอสฟอรัส	0.0044	0.0140
% Amylose	20.0	4.8

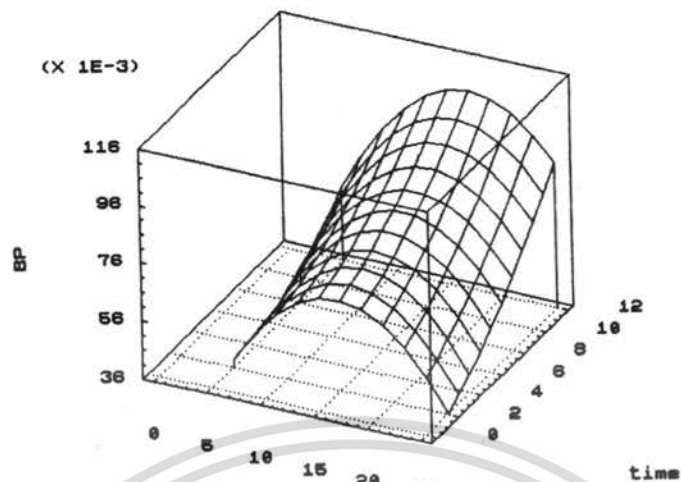
5.2. การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์

5.2.1. Starch Phosphate Monoester

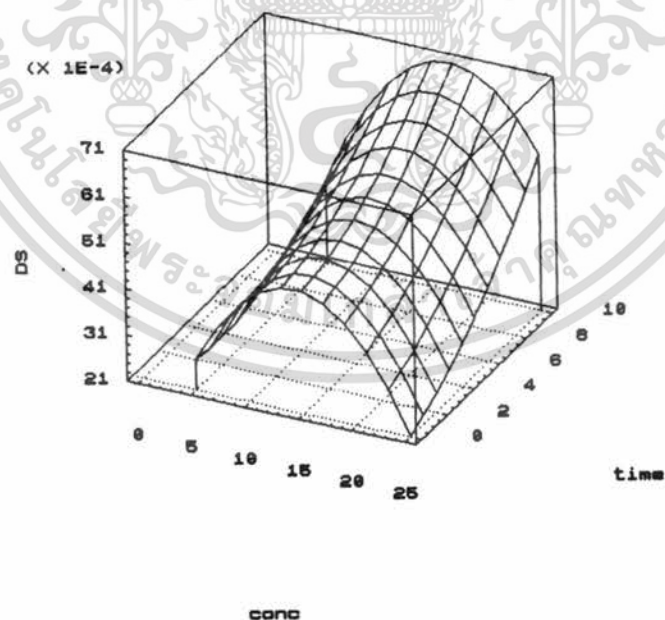
ตารางที่ 5 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

ความเข้มข้น	เวลา	% BP	% DS	% FTS	%mc หลังอบ
10	5	0.06233	0.00453	20.76	9.2795
10	7	0.07538	0.00555	38.00	7.3300
10	9	0.07308	0.00537	50.90	6.4694
15	5	0.07412	0.00545	19.00	9.0576
15	7	0.07635	0.00562	25.70	7.6812
15	9	0.09092	0.00676	46.90	6.6013
20	5	0.06919	0.00506	17.20	9.0759
20	7	0.07317	0.00537	22.40	7.6342
20	9	0.08545	0.00633	36.60	6.1137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

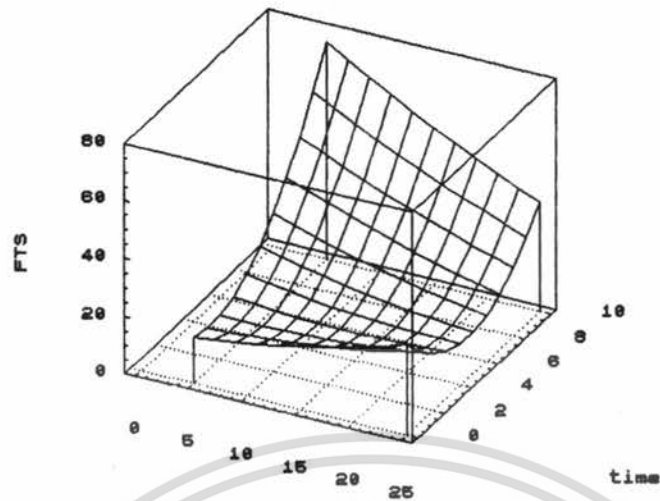


รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

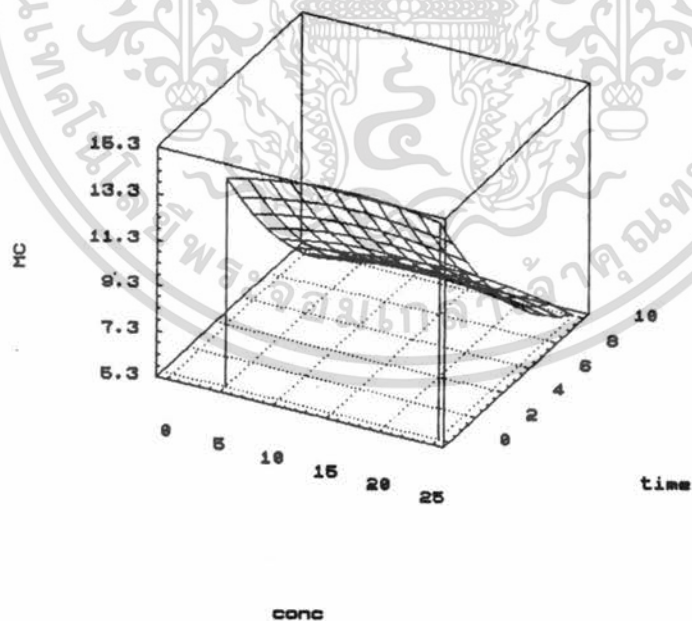


รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง



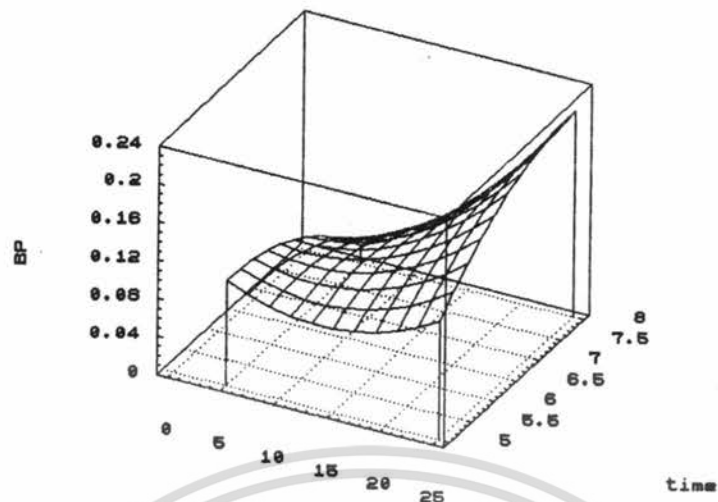
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

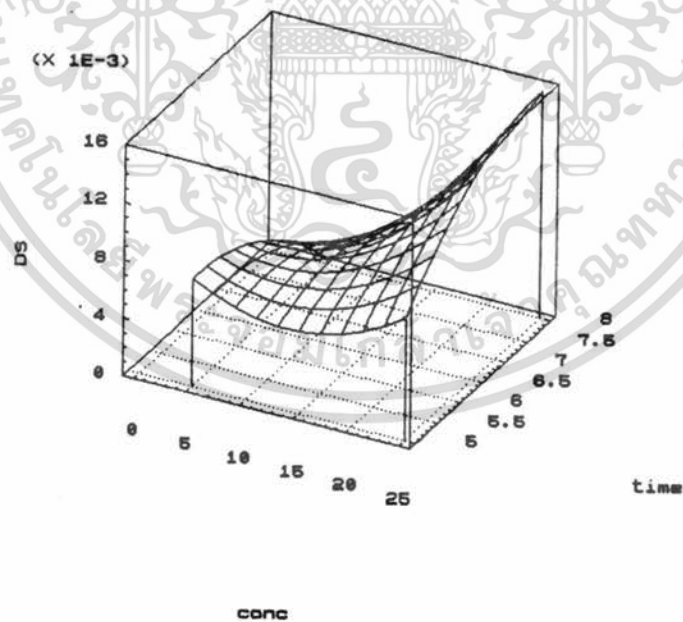
ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

ความเข้มข้น	เวลา	% BP	% DS	% FTS	%mc หลังอบ
10	5	0.0906	0.005984	0.1	8.0809
10	6	0.0997	0.006695	1.0	7.9704
10	7	0.0821	0.005320	10.1	6.3053
15	5	0.0924	0.006125	1.6	7.9698
15	6	0.1010	0.006796	9.3	7.1016
15	7	0.1125	0.007695	24.0	6.5374
20	5	0.0950	0.006328	12.0	7.8260
20	6	0.1413	0.009945	24.0	6.6216
20	7	0.1474	0.010421	26.0	6.2350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

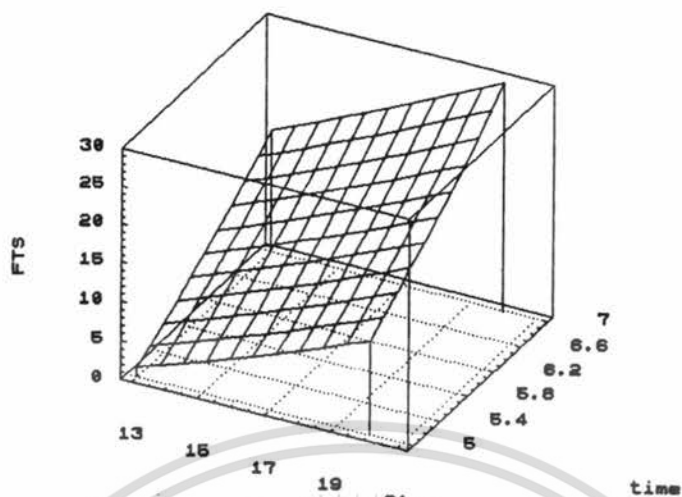


รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

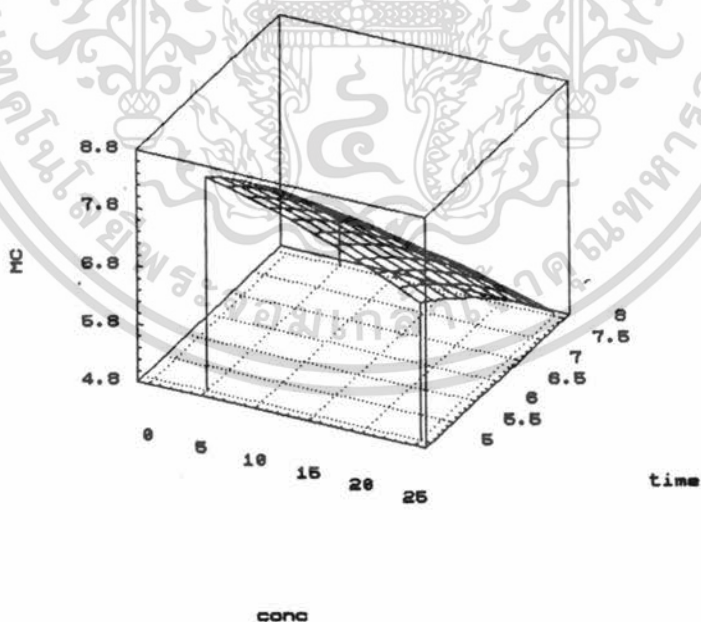


รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว



รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

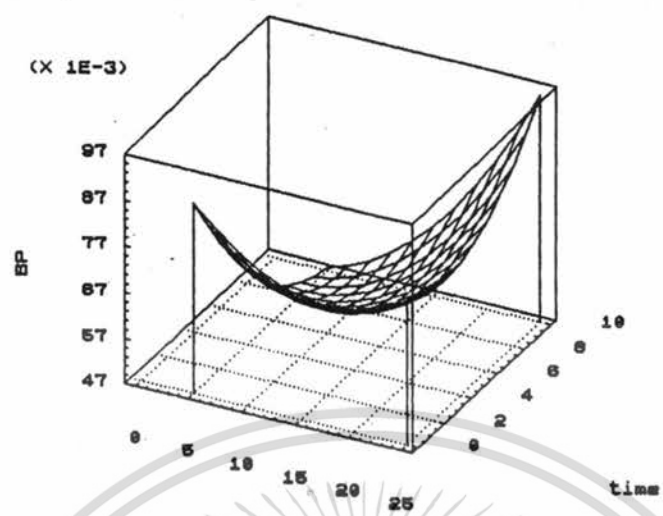
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2. Starch Phosphate Diester

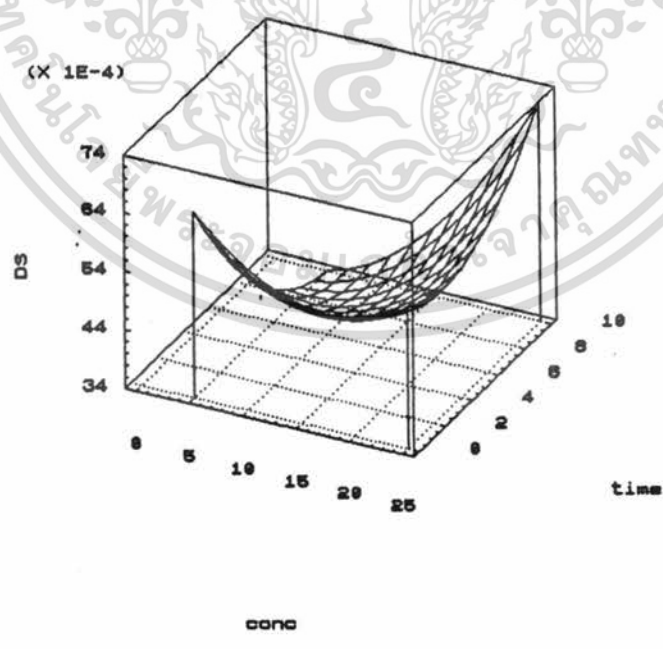
ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

ความเข้มข้น	เวลา	% BP	% DS	% FTS	%mc หลังอบ
10	5	0.05634	0.004057	18.5	9.2364
10	6	0.05172	0.003696	43.5	7.2052
10	7	0.05249	0.003757	15.5	6.7343
15	5	0.06012	0.004353	32.2	8.6351
15	6	0.05557	0.003997	38.0	6.6575
15	7	0.06042	0.004376	40.0	6.0559
20	5	0.06373	0.004635	47.5	8.3189
20	6	0.07043	0.005158	43.7	6.0805
20	7	0.07154	0.005245	50.5	5.7042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

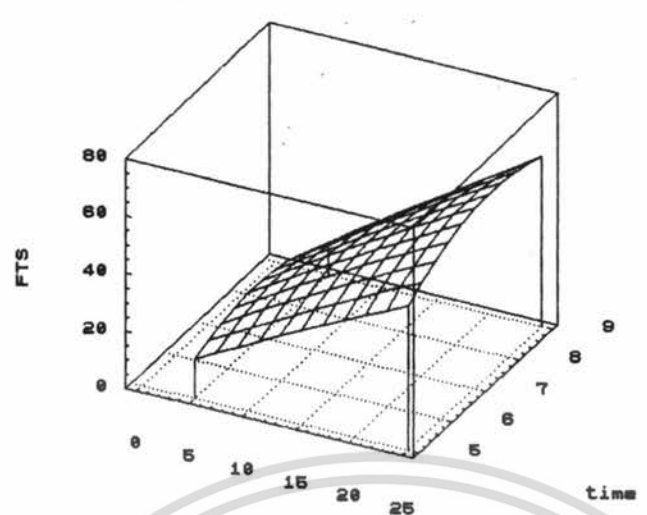


รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

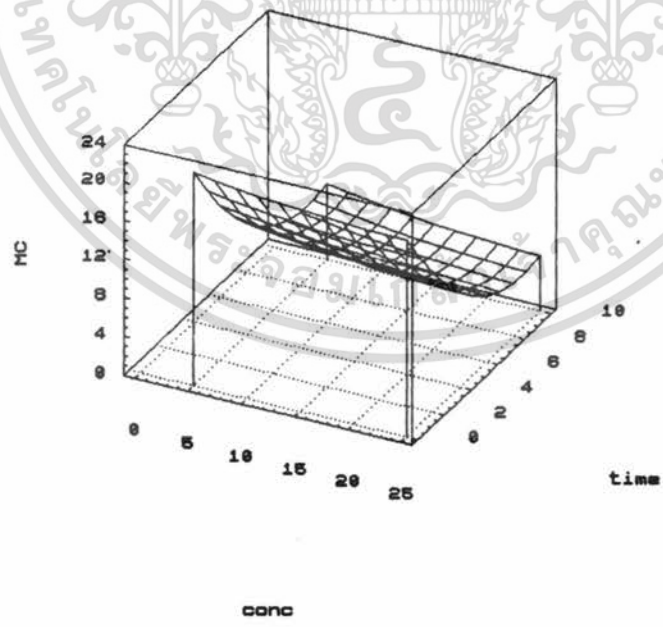


รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง



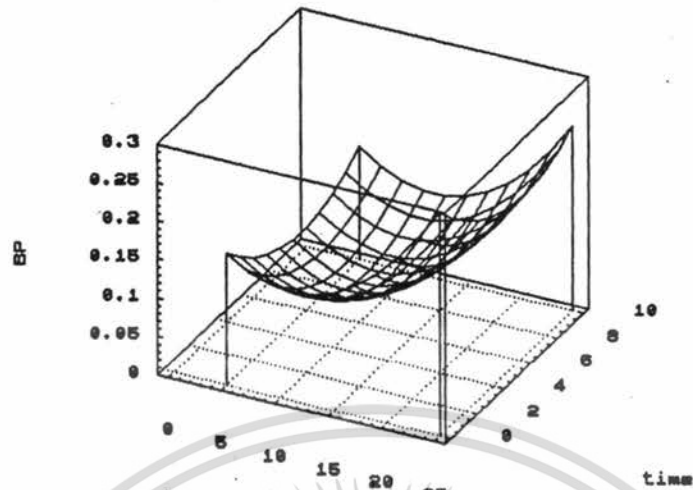
รูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

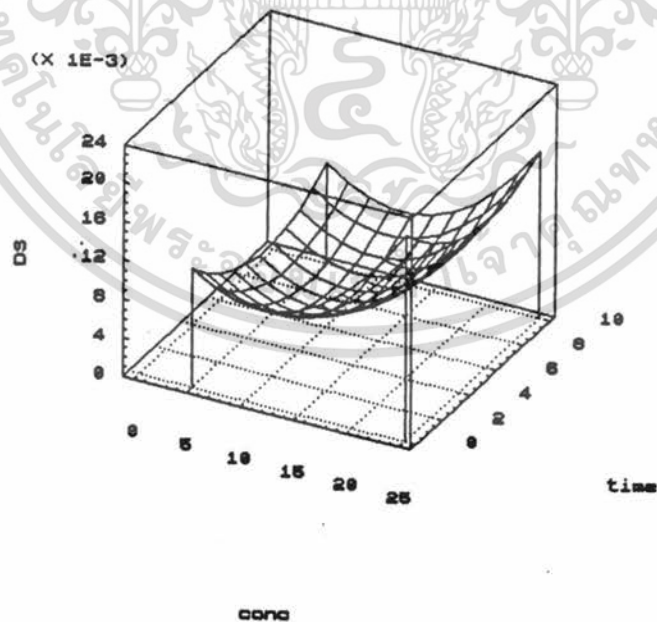
ตารางที่ 8 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว

ความเข้มข้น	เวลา	% BP	% DS	% FTS	%mc หลังอบ
10	5	0.0756	0.004812	11.5	7.1331
10	6	0.0741	0.004695	1.2	6.7007
10	7	0.0776	0.004968	12.5	6.0123
15	5	0.0790	0.005078	1.2	8.0787
15	6	0.0868	0.005687	17.5	6.6570
15	7	0.0805	0.005195	15.0	6.4378
20	5	0.13113	0.009150	2.2	7.0232
20	6	0.1199	0.008273	17.5	6.5451
20	7	0.1303	0.009085	12.0	5.3531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

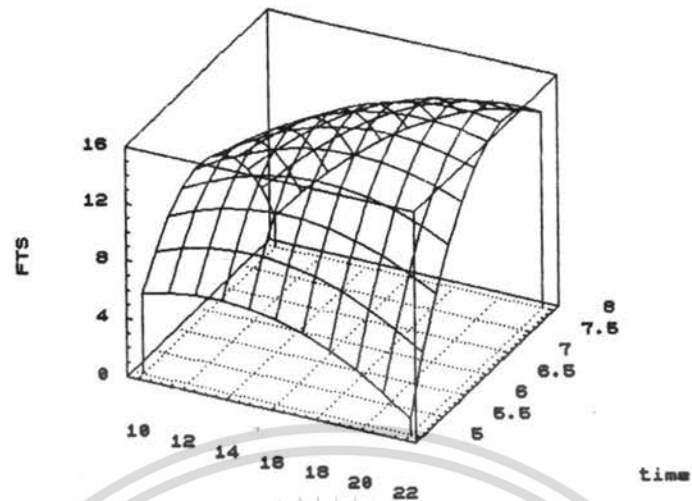


รูปที่ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Bound Phosphorus ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว

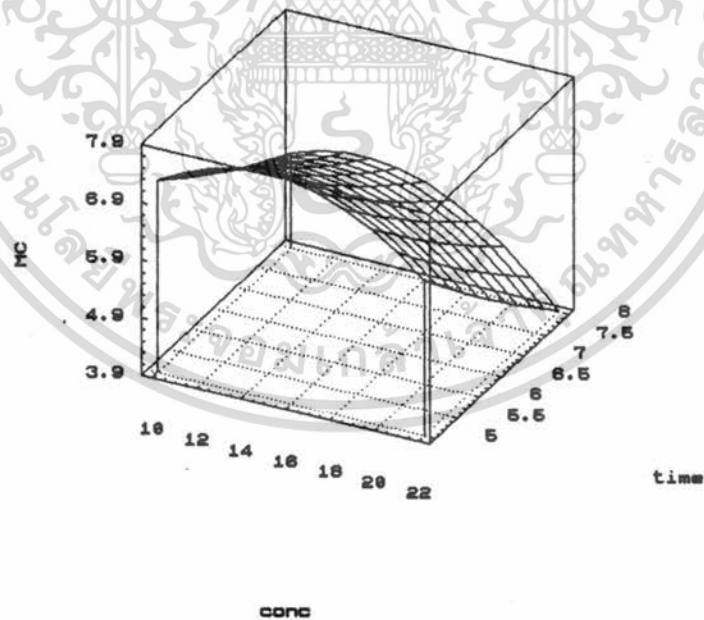


รูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % DS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % FTS ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว



รูปที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นหลังการอบ ความเข้มข้น และเวลา ของ Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การผลิตสแตร์ชฟอสเฟตโดยใช้ไมโครเวฟ เพื่อลดเวลา และขั้นตอนการผลิต โดยอาศัยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟมีความเป็นไปได้ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของสแตร์ชฟอสเฟต คือ เวลาในการให้ความร้อน และ ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตดังนี้

6.1 สแตร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

(Starch Phosphate Monoester : TMP)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 สามารถสรุปได้ว่า

6.1.1. เมื่อเวลาในการอบไมโครเวฟเพิ่มขึ้น TMP จะมีความชื้นลดลง และปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟกับความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต จะแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังการอบไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.1.2. เมื่อเวลาในการอบไมโครเวฟเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตลดลง มีผลให้ %DS (Degree of Substitute) เพิ่มขึ้นด้วย และปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตกับเวลาที่ใช้ในการอบไมโครเวฟจะแปรผันตรงกับ %DS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.1.3. เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตลดลงและค่า %DS เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ %FTS (Freeze-thaw Stability) เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ความชื้นของแป้งหลังจากผ่านการอบไมโครเวฟลดลง จะมีผลทำให้ %FTS (Freeze-thaw Stability) เพิ่มขึ้น และเวลาในการอบไมโครเวฟ แปรผันโดยตรงกับ %FTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลข้างต้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ ๑ ผลของเวลาในการอบไมโครเวฟ และ ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตที่มีต่อ ความชื้น %BP ,%DS และ %FTS ของ TMP

ปัจจัย	% MC	%BP	%DS	%FTS
เวลาในการอบไมโครเวฟ	-	+	+	+
ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต	ns +	-	-	+
ผลรวมของเวลาในการอบและความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟต	-	+	+	ns +

- หมายถึง แปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- + หมายถึง แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- ns หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างไรก็ตามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

6.2 สตาร์ทฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

(Starch Phosphate Monoester : GMP)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 สามารถสรุปได้ว่า

6.2.1. เวลาในการอบแปรผกผันกับ เปอร์เซนต์ความชื้นของแป้งหลังอบไมโครเวฟ (%MC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.2.2. เปอร์เซนต์ความชื้นหลังผ่านการอบไมโครเวฟแปรผกผันกับ %FTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.2.3. ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต และปัจจัยร่วม ระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟ กับความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต แปรผันโดยตรงกับ %DS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.2.4. %DS , ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต และปัจจัยร่วม ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต กับเวลาในการอบไมโครเวฟ แปรผันโดยตรงกับ %FTS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีผลให้สิทธิของสงวนลิขสิทธิ์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลข้างต้นดังกล่าวแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลของเวลาในการอบไมโครเวฟ และ ความเข้มข้นของสารละลาย ฟอสเฟตที่มีต่อความชื้น, %BP , %DS และ %FTS ของ GMP

ปัจจัย	% MC	%BP	%DS	%FTS
เวลาในการอบไมโครเวฟ	-	ns +	ns +	ns +
ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต	ns -	+	+	+
ผลรวมของเวลาในการอบและความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟต	ns -	+	+	+

- หมายถึง แปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- + หมายถึง แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- ns หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างไรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

6.3 สตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเตอร์ที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

(Starch Phosphate Diester : TDP)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 สามารถสรุปได้ว่า

6.3.1. เวลาในการอบไมโครเวฟ และปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟ กับความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตแปรผกผันกับความชื้นของแป้งภายหลังการอบไมโครเวฟ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3.2. เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต และปัจจัยร่วม ระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟกับความเข้มข้นเพิ่มขึ้น %FTSจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3.3. เมื่อความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต และปัจจัยร่วม ระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟ กับ ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต เพิ่มขึ้น %BP เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลของเวลาในการอบไมโครเวฟ และ ความเข้มข้นของสารละลาย ฟอสเฟตที่มีต่อความชื้น, %BP, %DS และ %FTS ของ TDP

ปัจจัย	% MC	%BP	%DS	%FTS
เวลาในการอบไมโครเวฟ	-	ns +	ns +	ns +
ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต	ns -	+	+	+
ผลรวมของเวลาในการอบและความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟต	-	+	+	+

- หมายถึง แปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- + หมายถึง แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- ns หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างไร้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

6.4 สตาร์ชฟอสเฟตไดเอสเทอร์ที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

(Starch Phosphate Diester : GDP)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 สามารถสรุปได้ว่า

6.4.1. เวลาในการอบไมโครเวฟแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.4.2. ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ %DS เพิ่มขึ้น และเมื่อปัจจัยร่วมระหว่างเวลาในการอบไมโครเวฟ กับความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตแปรผันโดยตรงกับ %DS อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.4.3. เมื่อเวลาในการอบไมโครเวฟ และปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตกับเวลาในการอบไมโครเวฟเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ %FTS เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลข้างต้นแสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลของเวลาในการอบไมโครเวฟ และ ความเข้มข้นของสารละลาย
ฟอสเฟตที่มีต่อความชื้น, %BP, %DS และ %FTS ของ GDP

ปัจจัย	% MC	%BP	%DS	%FTS
เวลาในการอบไมโครเวฟ	-	+	+	+
ความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟต	ns -	+	+	ns +
ผลรวมของเวลาในการอบและความ เข้มข้นสารละลายฟอสเฟต	ns -	+	+	+

- หมายถึง แปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- + หมายถึง แปรผันตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05
- ns หมายถึง มีความสัมพันธ์กันอย่างไรก็ตามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

หมายเหตุ ค่า FTS ถ้าเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีความคงทนต่อการแช่แข็ง และการละลาย
ต่ำ ดังนั้น แป้งที่ได้จากการทดลองนี้มีคุณสมบัติไม่เหมาะสมต่อการใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ ต้องมี
การแช่แข็ง และการละลาย

ข้อเสนอแนะ

สูตรฟอสเฟตที่ผลิตด้วยไมโครเวฟน่าจะทำการตรวจสอบคุณสมบัติด้านอื่น ๆ
เพิ่มเช่นความคงทนต่อแรงเฉือน (shear stability) ดัชนีการดูดซึมน้ำ (water absorption
index) ภายหลังจากให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอาจจะทดลองผลิตสูตรฟอสเฟตจาก
วัตถุดิบอื่นๆ เช่นแป้งเผือก แป้งข้าวเจ้า ซึ่งน่าจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ. การใช้ Modified Starch ในอุตสาหกรรม. ข่าวกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 29(110): 10.
- กรมศุลกากร. 2534. รายงานสถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย 2534-2537. กระทรวงการคลัง.
- การเกษตรและอุตสาหกรรม. แป้งแปรรูป: การเพิ่มมูลค่าของแป้งมันสำปะหลัง. สรุปข่าวธุรกิจ. 21(2): 3-6.
- กัมขิมาลย์ จินดาประเสริฐ ปริญญา อวเจนพงษ์ และ สิริรุ่ง นกสินธุ์โสภณ. 2535. ผลของไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของ แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. กระบวนการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- จำเริญ อัจฉราภักดิ์. 2537. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการแปรสภาพทางกายภาพและทางเคมีแบบเชื่อมข้าม (Cross-linking) ร่วมกับวิธีอะซิทิเลชัน (Acetylation) และพรีเจลลิตไนเซชัน (Pregelatinization). วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พัชรินทร์ โมทนิยชาติ, พิชินี สุจริตพงศ์ และ สิรินทร ปิ่นเวหา. 2533. ความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซีเตรทด้วยไมโครเวฟ. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- พิณทิพย์ บุญย้อย และวันเพ็ญ เพชรสน. 2537. ผลของไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก. ปัญหาพิเศษระดับปริญญาตรี. หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- มาลัย. การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร. วิทยาศาสตร์การอาหาร. 15(3): 32-40.
- วรรณมา ตั้งเจริญชัย. 2534. เคมีอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.
- วรรณพร ศิริโรจน์, วรรณมา ตูลยรัญ และพัชรีย์ ปานกุล. 2529. การปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังโดยการแปรสภาพทางเคมี. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์. 11(2): 151-159.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. การปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งดิบ. วารสารเกษตรศาสตร์. 25 (3): 318-325.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Alexander, R.J. 1974. Art of Manufacturing Modified Amylaceous Materials with Condensed Phosphates and Urea. Patent 3,843,377.
- Fennema, O. R. 1985. Food Chemistry. 2nd ed. Marcel Dekker Inc., New York.
- Gallawa, J. C. 1989. The Complete Microwave Oven Service Handbook. Prentice-Hall, Inc., USA.
- Kerr, R. W. and Cleveland, C. 1957. Process of preparation of distarch phosphate and the resulting product. 2,801,242 .
- Kerr, R. W. and Cleveland, C. 1959. Orthophosphate esters of starch. 2,884,413.
- Luallen, T. E. 1994. The Used of Starches in Frozen Food Formation. Food Technology. 48(5): 39.
- Narkruga, W. 1990. Hestellung von Starkederivatendurch Heissextrusion. Dissertationarbeit der Universitat fur Bodenkultur, Wien.
- Neukom, H. 1959. Phosphate Modified starchs and Preparation. Patent 2,884,412.
- Salay, E. and Ciacco, F. C. Production and Properties of Starch Phosphate Produced by the Extrusion Process. Starch/starke. 42(1): 15-17.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลสถิติทางการค้าระหว่างประเทศของประเทศไทย

1. สินค้านำเข้าจำแนกตามชนิดและประเทศที่ผลิต

ตารางภาคผนวกที่ 1 การนำเข้าเด็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรอื่นๆ ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2534

ประเทศที่ผลิต*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
NATHERLAND	9,674	393,950	487,999	13,533,478
JAPAN			238,317	8,757,478
AUSTRALIA			173,755	3,226,684
TAIWAN			150,700	2,671,896
NEW ZEALAND			81,200	1,062,353
FRANCE	7,000	126,735	56,020	4,671,354
GERMANY,E	1	209	29,280	1,915,893
U.S.A.	1,000	91,800	28,192	1,066,209
HUNGARY	2,000	249,900	6,000	732,178
U. KINGDOM			5,807	525,369

* ประเทศที่ผลิตที่มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ตารางภาคผนวกที่ 2 การนำเข้ากาวในรูปของสตาร์ช เด็กซ์ตรินหรือแป้งคัดแปรอื่น ๆ ในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2534

ประเทศที่ผลิต*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
JAPAN	1,238	1,263,330	46,681	10,518,966
GERMANNY,E	2,000	184,979	26,139	2,726,650
TAIWAN	246	43,102	23,004	2,129,789
U.S.A.	202	29,399	3,583	514,593

ตารางภาคผนวกที่ 2 (ต่อ)

ประเทศที่ผลิต*	ธันวาคม พ.ศ. 2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ. 2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
HONG KONG	68	9,392	1,526	802,584
SWITZERLAND	14	9,945	1,476	232,207
BELGIUM	2	1,102	1,275	198,492
FRANCE			911	401,397
KOREA,REP	440	51,505	810	95,447
SINGAPORE	41	20,761	461	511,517

* ประเทศที่ผลิตที่มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ตารางภาคผนวกที่ 3 การนำเข้าเค็กซ์ตรินและแป้งคัดแปรอื่นๆ ในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2537

ประเทศที่ผลิต*	มิถุนายน พ.ศ.2537		ม.ค.-มิ.ย. พ.ศ.2537	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
NETHERLAND	89,625	2,443,450	1,220,700	19,777,837
U.S.A.	40	16,361	61,413	1,389,941
NEWZEALAND			40,000	535,612
FRANCE	10,000	194,502	33,500	1,960,186
GERMANY,E	6	166,092	21,575	1,363,300
TAIWAN	3,005	216,731	17,000	1,442,850
JAPAN	1,950		11,642	689,930
CHINA,PE			10,000	185,744
HUNGARY		70,880	3,006	444,113
SINGAPORE			567	19,121

* ประเทศที่ผลิตที่มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 การนำเข้าข้าวในรูปของสตาร์ช เค้กซ์ตริน หรือแป้งคัดแปรอื่น ๆ ในช่วงเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ.2537

ประเทศที่ผลิต*	มิถุนายน พ.ศ.2537		ม.ค.-มิ.ย. พ.ศ.2537	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
TAIWAN	20,216	1,052,506	49,121	2,810,484
JAPAN	6,669	5,008,047	39,366	36,354,973
INDIA			17,895	1,118,556
SINGAPORE	4,530	678,047	17,760	3,374,692
GERMANY,E	2,270	214,047	12,306	1,112,116
U.S.A.	1,112	922,402	4,826	6,512,694
HONG KONG			2,365	230,061
SWITZERLAND	937	230,501	1,616	359,459
AUSTRALIA	29	8,431	629	52,430
FRANCE			525	217,034

* ประเทศที่ผลิตที่มีปริมาณการนำเข้าสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2537

2. สินค้าส่งออกจำแนกตามชนิดและประเทศที่สั่งซื้อ

ตารางภาคผนวกที่ 5 การส่งออกแป้งข้าวเหนียวในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2534

ประเทศที่สั่งซื้อ*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
JAPAN	1,935,000	25,817,077	18,522,222	247,714,845
INDONESIA	100,000	557,700	18,365,600	135,586,525
MALAYSIA	1,020,506	10,380,318	11,673,731	96,161,409
HONG KONG	1,072,160	11,296,644	5,394,000	52,741,895
CANADA	56,479	821,175	421,748	5,954,022
AUSTRALIA	17,500	255,367	257,103	3,694,180
FRANCE	11,220	156,829	204,798	2,640,626
U.S.A.	134,639	2,288,857	1,861,888	26,729,428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในวงราชการเพื่อประโยชน์และอยู่ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 (ต่อ)

ประเทศที่สั่งซื้อ*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
SINGAPORE	224,500	2,579,336	1,671,920	17,200,004
KOREA,REP			456,810	10,576,151

* ประเทศที่สั่งซื้อที่มีปริมาณการส่งออกสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ตารางภาคผนวกที่ 6 การส่งออกแบริ่งมันสำปะหลังในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2534

ประเทศที่สั่งซื้อ*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
JAPAN	5,587,550	51,367,051	112,354,245	607,789,944
TAIWAN	5,190,100	28,406,152	64,175,020	377,214,122
U.S.A.	526,948	3,889,337	17,221,622	118,186,743
SINGAPORE	1,518,000	8,371,331	17,113,730	99,503,676
HONG KONG	927,304	5,204,546	12,798,320	74,653,697
U.S.S.R.	584,288	3,802,707	5,614,000	34,893,713
FRANCE	310,970	2,003,162	3,972,012	25,749,395
MALAYSIA	542,062	3,594,995	3,712,820	23,450,390
NETHERLAND			2,714,824	17,653,667
BANGLADES			1,921,000	11,102,207

* ประเทศที่สั่งซื้อที่มีปริมาณการส่งออกสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ตารางภาคผนวกที่ 7 การส่งออกสตาร์ชมันสำปะหลังในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2534

ประเทศที่สั่งซื้อ*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
TAIWAN	16,852,916	97,614,765	207,270,115	1,229,233,363
JAPAN	699,000	4,488,736	21,683,037	142,223,526

เอกสารนี้เป็นการสงวนไว้ใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่ควรนำออกนอกระบบราชการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 7 (ต่อ)

ประเทศที่สั่งซื้อ*	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
SINGAPORE	496,500	2,748,295	12,814,200	82,385,277
HONG KONG	808,000	5,132,778	12,632,824	85,977,656
MALAYSIA	741,300	4,436,795	10,988,428	66,182,258
INDONESIA	4,500,000	23,550,150	9,200,000	46,285,930
AUSTRALIA	440,520	2,491,393	4,229,105	27,647,810
U. KINGDOM	147,422	1,028,272	3,650,214	25,064,280
PHILIPIN	111,000	633,116	3,174,000	12,174,532
U.S.A.	84,307	896,073	1,867,943	17,332,155

* ประเทศที่สั่งซื้อที่มีปริมาณการส่งออกสูงสุด

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ตารางภาคผนวกที่ 8 การส่งออกสตาร์ชข้าวเหนียวในช่วงเดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2534

ประเทศที่สั่งซื้อ	ธันวาคม พ.ศ.2534		ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ.2534	
	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)	ปริมาณ (กก.)	ค่า C.I.F. (บาท)
U. KINGDOM	1634	22,435	1,634	22,435

ที่มา : ข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศไทย กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง พ.ศ.2534

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

1. การหาความชื้น (Moisture Content)

วิธีการ (AOAC 1995)

- 1.1. เตรียมตัวอย่างโดยบด ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 20 (เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม.) ผสมกันให้ทั่ว
- 1.2. เตรียม dish และฝาที่เย็นและทราบน้ำหนักแล้ว (โดยอบที่ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$)
- 1.3. ใสตัวอย่าง 2 กรัม (น้ำหนักที่แน่นอน)
- 1.4. เปิดฝา อบพร้อมฝา ในตู้อบ 1 ชม. (เริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง 130°C)
- 1.5. ปิดฝาขณะอยู่ในตู้อบ ทำให้เย็นใน desiccator
- 1.6. ชั่งน้ำหนัก คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไปในการอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

2. การหาปริมาณไขมัน

วิธีการ (AOAC 1995)

- 2.1. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว 5-10 กรัมใส่ใน thimble
- 2.2. ปิดด้านบนของตัวอย่างด้วยสำลีหรือกระดาษกรอง
- 2.3. ใส thimble ลงใน extraction tube ที่ด้านบนต่อกับ condensor ด้านล่างต่อกับขวดกันกลม
- 2.4. ใส petroleum ether 150 ml. ลงในขวดกันกลม ต่อเครื่อง soxlet ทั้งหมด
- 2.5. ปรับระดับความร้อนของ heating mantle สกัด 2 ชม.
- 2.6. นำสารละลายที่ได้ไประเหย ether ออกด้วย vacuum rotary evaporator
- 2.7. นำส่วนไขมันไปอบที่ 100°C 30 นาที ทำให้เย็นใน desiccator
- 2.8. ชั่งน้ำหนักไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักไขมัน} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

3. การหาปริมาณเด้า

วิธีการ (AOAC 1995)

- 3.1. ชั่งตัวอย่าง 2-3 กรัม ใส่ใน crucible (ที่เผาในเตาเผา ทำให้เย็นใน desiccator และ ชั่งน้ำหนักแล้ว)
 - 3.2. เوابน hot plate จนเป็นสีเทา ไม่มีควัน
 - 3.3. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่ 550°C จนเด้าเป็นสีขาว หรือมีน้ำหนักคงที่
 - 3.4. ทำให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก
- $$\% \text{ เด้า} = (\text{น้ำหนักเด้าที่ได้} \times 100) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง}$$

4. การหาปริมาณอะไมโลส

วิธีการ (Juliano, 1971)

- 4.1. นำแป้งมาสกัดไขมันใน soxhlet ด้วย 95% ethanol เป็นเวลา 16 ชม. แล้วนำแป้งที่ได้มาแผ่เป็นชั้นบางๆ ในถาด ทำให้มีความชื้นสมดุลและคงที่
- 4.2. ชั่งแป้งที่แห้งสนิท 0.1 g. ใส่ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 ml.
- 4.3. ค่อยๆ เติม 95% ethanol 1 ml. เติม 1 N. NaOH 9 ml.
- 4.4. ทิ้งไว้ 15-24 ชม. แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น
- 4.5. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพเทไอโอะไมโลส
 - ชั่งโพเทไอโอะไมโลส 0.0400 g. แล้วใส่ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 ml.
 - เติม 95% ethanol 1 ml. เขย่าเบาๆ สัปดาห์ให้แป้งเกาะตามผนังขวด
 - เติม 1 N. NaOH 9.2 ml.
 - ทิ้งไว้ 15-24 ชม. แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น
- 4.6 การเตรียมสารละลาย Blank
 - เติม 0.09 N. NaOH 5 ml. ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 ml.
 - เติม 1 N. CH₃COOH 1 ml.
 - เติมสารละลาย I₂ 2 ml.
 - ปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น แล้วทิ้งไว้ 15-20 นาที

4.7. การทำกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทไตอะไมโลส

-ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพเทไตอะไมโลส ลงในขวดแก้วปริมาตร 100 ml. 5 ใบ โดยปิเปตลงใบละ 1,2,3,4 และ 5 ml.ตามลำดับ (เทียบเท่ากับ 8,16,24,32 และ 40% amylose ของแป้ง)

-เติมน้ำกลั่น 50 ml.

-เติม 1 N. CH_3COOH ลงในขวดแก้ว ใบละ 0.2,0.4,0.6,0.8 และ 1 ml.

-เติม I_2 2 ml. ลงในขวดแก้วทั้ง 5 ใบ ปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น

-ทิ้งไว้ 15-20 นาที

-นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 nm. โดยใช้ Blank ปรับค่า ก่อนทำการวัด

-นำค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานโพเทไตอะไมโลสที่วัดได้ มาเขียนกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทไตอะไมโลส

4.8. การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่าง

-ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 ml. ในขวดแก้วปริมาตร 100 ml.

-เติมน้ำกลั่น 50 ml. ลงในขวดแก้ว

-เติม 1 N. CH_3COOH 1 ml. เติม I_2 2 ml. ลงในขวดแก้ว

-ปรับปริมาตรเป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น นำขวดไปเก็บไว้ในที่มืด 20 นาที

-นำสารละลายที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer

ที่ความยาวคลื่น 620 nm. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างที่วัดได้ มาหาปริมาณอะไมโลส จากกราฟมาตรฐานสารละลายโพเทไตอะไมโลส

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ ๑ อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Monoester จากแป้ง
มันสำปะหลังโดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
10	5	63	64	73	58	79	67.4
10	7	111	84	98	79	74	89.2
10	9	71	70	71	63	70	69.0
15	5	70	70	79	65	65	69.8
15	7	83	87	87	93	75	85.0
15	9	84	135	120	131	157	125.4
20	5	80	93	94	78	103	89.6
20	7	70	83	84	80	94	82.2
20	9	87	70	90	92	79	83.6

ตารางภาคผนวกที่ 10 อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Monoester จากแป้ง
ข้าวเหนียวโดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
10	5	87	88	82	84	81	84.4
10	6	84	79	85	70	77	79.0
10	7	92	90	94	93	91	92.0
15	5	79	85	68	75	80	77.4
15	6	77	54	87	69	60	69.4
15	7	135	112	122	105	123	119.4
20	5	102	85	83	79	90	87.8
20	6	99	96	102	96	98	98.2
20	7	72	73	72	94	69	76.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 11 อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Diester จากแป้ง
มันสำปะหลัง โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
10	5	84	79	92	77	68	80.0
10	7	123	90	97	79	85	94.8
10	9	81	83	85	79	71	79.8
15	5	87	84	79	77	108	87.0
15	7	85	82	92	97	87	88.6
15	9	72	84	70	90	69	77.0
20	5	77	79	96	94	85	86.2
20	7	72	92	90	85	75	82.8
20	9	75	88	65	90	110	85.6

ตารางภาคผนวกที่ 12 อุณหภูมิขณะอบของ Starch Phosphate Diester จากแป้ง
ข้าวเหนียว โดยวัดอุณหภูมิในจานอบ 5 ตำแหน่ง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)					อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
10	5	81	74	85	79	97	83.2
10	6	75	62	64	68	62	66.2
10	7	125	67	61	63	79	79
15	5	88	81	85	70	81	81
15	6	108	70	97	60	80	83.6
15	7	88	81	70	85	79	80.6
20	5	79	68	94	92	95	85.6
20	6	80	90	82	117	88	91.4
20	7	106	86	90	110	99	98.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Monoester จากแป้ง
มันสำปะหลัง 3 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	% BP	% DS	% mc หลังอบ
10	5	0.05015	0.003574	9.2811
		0.06982	0.005110	9.3054
		0.06702	0.004892	9.2520
10	7	0.05929	0.004288	7.3201
		0.07333	0.005385	7.2999
		0.09353	0.006963	7.3700
10	9	0.06296	0.004575	6.4351
		0.07253	0.005322	6.5015
		0.08375	0.006199	6.4716
15	5	0.05974	0.004323	9.0570
		0.07998	0.005904	9.0440
		0.08246	0.006098	9.0718
15	7	0.06441	0.004688	7.6512
		0.07084	0.005190	7.6836
		0.09379	0.006983	7.7088
15	9	0.07744	0.005706	6.5934
		0.009078	0.000365	6.6125
		0.10455	0.007824	6.5980
20	5	0.06598	0.004810	9.0742
		0.06200	0.004500	9.0685
		0.07960	0.005875	9.0850
20	7	0.06727	0.004911	7.6281
		0.07188	0.005271	7.6385
		0.08035	0.005933	7.6395
20	9	0.08115	0.005996	6.1141
		0.11517	0.008653	6.1130
		0.06004	0.004346	6.1140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Monoester จากแป้ง
ข้าวเหนียว 3 ซ้ำ

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	% BP	% DS	% mc หลังอบ
10	5	0.08194	0.005307	8.0825
		0.09717	0.006497	8.0701
		0.09279	0.006155	8.0901
10	6	0.08482	0.005532	7.9721
		0.108776	0.007404	7.9693
		0.10557	0.007153	7.9698
10	7	0.08072	0.005212	6.3049
		0.06658	0.004107	6.3056
		0.09910	0.006648	6.3054
15	5	0.07977	0.005138	7.9696
		0.12064	0.008331	7.9697
		0.07686	0.004910	7.9701
15	6	0.08785	0.005769	7.1018
		0.08952	0.005900	7.0930
		0.12561	0.008719	7.1100
15	7	0.11409	0.007819	6.5410
		0.10310	0.006960	6.5351
		0.12027	0.008302	6.5361
20	5	0.10633	0.007213	7.82771
		0.08468	0.005521	7.82507
		0.09411	0.006258	7.8259
20	6	0.11294	0.007729	6.6221
		0.13054	0.009104	6.6228
		0.18029	0.012991	6.6199
20	7	0.17133	0.012291	6.2361
		0.12316	0.008528	6.2393
		0.14776	0.010450	6.2296

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Diester จากแป้ง
มันสำปะหลัง 3 ชั่วโมง

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	% BP	% DS	% mc หลังอบ
10	5	0.04403	0.003096	9.2368
		0.06105	0.004425	9.2366
		0.06395	0.004652	9.2358
10	7	0.03943	0.002736	7.2056
		0.04100	0.002859	7.2060
		0.07474	0.005495	7.2040
10	9	0.03420	0.002328	6.7467
		0.04247	0.002974	6.7211
		0.08080	0.005968	6.7351
15	5	0.05243	0.003752	8.6426
		0.04399	0.003092	8.6355
		0.08393	0.006213	8.6272
15	7	0.05360	0.003843	6.6602
		0.06033	0.004369	6.6542
		0.005277	0.000068	6.6581
15	9	0.005358	0.000074	6.0534
		0.006155	0.000137	6.0542
		0.06612	0.004821	6.0601
20	5	0.06195	0.004496	8.31181
		0.05745	0.004144	8.3206
		0.07178	0.005264	8.3180
20	7	0.05388	0.003865	6.0812
		0.06814	0.004979	6.0805
		0.008926	0.000353	6.0798
20	9	0.085881	0.006365	5.7035
		0.008438	0.000315	5.6968
		0.04443	0.003127	5.7123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ Starch Phosphate Diester จากแป้ง
ข้าวเหนียว 3 ซ้ำ

ความเข้มข้น (%)	เวลา (นาที)	% BP	% DS	% mc หลังอบ
10	5	0.07540	0.004796	7.1339
		0.07081	0.004438	7.1293
		0.08045	0.005191	7.1361
10	6	0.06485	0.003972	6.7102
		0.09713	0.006494	6.6916
		0.06044	0.003628	6.7000
10	7	0.06686	0.004129	6.0125
		0.08717	0.005716	6.0130
		0.07877	0.005060	6.0114
15	5	0.07810	0.005007	8.0761
		0.09876	0.006621	8.0801
		0.06016	0.003606	8.0799
15	6	0.06589	0.004053	6.6710
		0.09913	0.006650	6.6416
		0.09534	0.006354	6.6584
15	7	0.06223	0.003767	6.4421
		-	-	6.4301
		0.09877	0.006622	6.4412
20	5	0.11848	0.008162	7.0256
		0.11804	0.008128	7.0195
		0.15736	0.01120	7.0245
20	6	0.09669	0.006460	6.5513
		0.09488	0.006318	6.5403
		0.16825	0.012050	6.5437
20	7	0.11903	0.008205	5.3542
		0.11038	0.007529	5.3517
		0.16159	0.011530	5.3534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตามคือ % BP

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.000485748	5	0.0000971496	3.72717	.1540
Error	0.0000781957	3	0.0000260652		

ตารางภาคผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ % DS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.00000295269	5	0.000000590538	3.69773	.1554
Error	0.000000479108	3	0.000000159703		

ตารางภาคผนวกที่ 19 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %FTS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	1235.71	5	247.142	21.4584	.0149
Error	34.5518	3	11.5173		

ตารางภาคผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %mc

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	11.4300	5	2.28601	38.0896	.0065
Error	0.180050	3	0.0600166		

2. Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

ตารางภาคผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %BP

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.00401107	5	0.000802213	14.7518	.0253
Error	0.000163142	3	0.0000543806		

ตารางภาคผนวกที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %DS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.0000244816	5	0.00000489632	14.7518	.0253
Error	0.000000995739	3	0.000000331913		

ตารางภาคผนวกที่ 23 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %FTS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	795.078	5	159.016	6.75789	.0733
Error	70.5911	3	23.5304		

ตารางภาคผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %mc

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	4.32614	5	0.865228	4.80466	.1133
Error	0.540243	3	0.180081		

3. Starch Phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %BP

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.000392405	5	0.0000784810	11.2034	.0371
Error	0.0000210153	3	0.00000700509		

ตารางภาคผนวกที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตามคือ %DS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.00000239505	5	0.000000479010	11.2034	.0371
Error	0.000000128267	3	4.27557E-8		

ตารางภาคผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ % FTS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	824.740	5	164.948	1.26559	.4508
Error	391.000	3	130.333		

ตารางภาคผนวกที่ 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %mc

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	12.7457	5	2.54915	378.234	.0002
Error	0.0202188	3	0.00673961		

4. Starch Phosphate Diester จากแป้งข้าวเหนียว

ตารางภาคผนวกที่ 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %BP

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.00471406	5	0.000942812	26.4749	.0110
Error	0.000106835	3	0.0000356115		

ตารางภาคผนวกที่ 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %DS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	0.0000287723	5	0.00000575447	26.4749	.0110
Error	0.000000652067	3	0.000000217356		

ตารางภาคผนวกที่ 31 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %FTS

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	151.387	5	30.2773	0.42386	08118
Error	214.293	3	71.4311	8	

ตารางภาคผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยมีตัวแปรตาม คือ %mc

Source	Sum of squares	DF	Mean squares	F-Ratio	P-value
Model	4.20625	5	0.841250	7.13040	.0684
Error	0.353942	3	0.117981		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์สมการถดถอย

1. Starch Phosphate Monoester จากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 33 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %BP กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.004804	0.058884	0.0816	0.9401
X	0.008439	0.004705	1.7938	0.1707
Y	-0.001501	0.013244	-0.1134	0.9169
X ²	-0.000295	0.000144	-2.0397	0.1341
Y ²	0.00022	0.000903	0.2442	0.8228
XY	-0.000138	0.000255	0.5396	0.6269

จากตารางสมการคือ $Z = 0.004804 + 0.008439 X - 0.001501 Y - 0.000295 X^2 + 0.00022 Y^2 + 0.000138 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % BP , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 34 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %DS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.000058	0.004609	0.0126	0.9908
X	0.000658	0.000368	1.7879	0.1717
Y	-0.000121	0.001037	-0.1170	0.9143
X ²	-0.000023	0.000011	-2.0348	0.1347
Y ²	0.000018	0.000071	0.2477	0.8203
XY	0.000011	0.00002	0.5380	0.6279

จากตารางสมการคือ $Z = 0.000058 + 0.000658 X - 0.000121 Y - 0.000023 X^2 + 0.000018 Y^2 + 0.000011 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % DS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 85 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %FTS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	14.876944	39.141754	0.3801	0.7292
X	0.232167	3.127312	0.0742	0.9455
Y	-0.695833	8.803501	-0.0790	0.9420
X ²	0.017733	0.095989	0.1847	0.8652
Y ²	0.798333	0.599929	1.3307	0.2754
XY	-0.2685	0.169686	-1.5823	0.2117

จากตารางสมการคือ $Z = 14.876944 + 0.232167 X - 0.695833 Y + 0.017733 X^2 + 0.798333 Y^2 - 0.2685 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % FTS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 86 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %mc กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	13.664551	2.825539	4.8361	0.0169
X	0.173614	0.225752	0.7690	0.4979
Y	-1.390862	0.635501	-2.1886	0.1164
X ²	-0.005183	0.006929	-0.7480	0.5087
Y ²	0.054442	0.043307	1.2571	0.2977
XY	-0.003803	0.012249	-0.3104	0.7766

จากตารางสมการคือ $Z = 13.664551 + 0.173614 X - 1.390862 Y - 0.005183 X^2 + 0.054442 Y^2 - 0.003803 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % mc , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

2. Starch Phosphate Monoester จากแป้งข้าวเหนียว

ตารางภาคผนวกที่ 87 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %BP กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	-0.054072	0.201625	-0.2682	0.8059
X	-0.02342	0.007687	-3.0466	0.0556
Y	0.092992	0.063615	1.4618	0.2400
X ²	0.000295	0.000209	1.4159	0.2518
Y ²	-0.010667	0.005214	-2.0456	0.1333
XY	0.003045	0.000737	4.1292	0.0258

จากตารางสมการคือ $Z = -0.054072 - 0.02342 X + 0.092992 Y + 0.000295 X^2 - 0.010667 Y^2 - 0.003045 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % BP , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 88 การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง %DS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	-0.005318	0.015752	-0.3376	0.7579
X	-0.00183	0.000601	-3.0466	0.0556
Y	0.007265	0.00497	1.4618	0.2400
X ²	0.000023	0.000016	1.4159	0.2518
Y ²	-0.000833	0.000407	-2.0456	0.1333
XY	0.000238	0.000058	4.1292	0.0258

จากตารางสมการคือ $Z = -0.005318 - 0.00183 X + 0.007265 Y + 0.000023 X^2 - 0.000833 Y^2 - 0.000238 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % DS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 39 การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง %FTS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	-6.444444	132.628274	-0.0486	0.9643
X	-0.186667	5.056646	-0.0369	0.9729
Y	-5.666667	41.84557	-0.1354	0.9009
X ²	0.022667	0.137202	0.1652	0.8793
Y ²	0.866667	3.430042	0.2527	0.8168
XY	0.2	0.485081	0.4123	0.7078

จากตารางสมการคือ $Z = -6.444444 - 0.186667 X - 5.666667 Y + 0.022667 X^2 + 0.866667 Y^2 + 0.2 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % FTS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 40 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %mc กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	10.853322	11.602608	0.9354	0.4186
X	-0.0755	0.442366	-0.1707	0.8753
Y	-0.072683	3.660741	-0.0199	0.9854
X ²	-0.001189	0.012003	-0.0991	0.9273
Y ²	-0.072133	0.300067	-0.2404	0.8255
XY	0.00923	0.042436	0.2175	0.8418

จากตารางสมการคือ $Z = 10.853322 - 0.0755 X - 0.072683 Y - 0.001189 X^2 - 0.072133 Y^2 + 0.00923 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % mc , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

3. Starch phosphate Diester จากแป้งมันสำปะหลัง

ตารางภาคผนวกที่ 41 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %BP กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.103057	0.030526	3.3760	0.0432
X	-0.003342	0.002439	-1.3701	0.2642
Y	-0.009384	0.006866	-1.3668	0.2651
X ²	0.000094	0.000075	1.2494	0.3001
Y ²	0.000383	0.000468	0.8193	0.4726
XY	0.000292	0.000132	2.2027	0.1149

จากตารางสมการคือ $Z = 0.103057 - 0.003342X - 0.009384 Y + 0.000094 X^2 + 0.000383Y^2 + 0.000292 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ %BP , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 42 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %DS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.007708	0.002385	3.2319	0.0481
X	-0.000261	0.000191	-1.3701	0.2642
Y	-0.000733	0.000536	-1.3668	0.2651
X ²	7.307292E-6	5.848466E-6	1.2494	0.3001
Y ²	0.00003	0.000037	0.8193	0.4726
XY	0.000023	0.00001	2.2027	0.1149

จากตารางสมการคือ $Z = 0.007708 - 0.000261 X - 0.000733 Y + 7.307292E-6 X^2 + 0.00003 Y^2 + 0.000023 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ %DS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 43 การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่าง %FTS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	-75.158333	131.671945	-0.5708	0.6081
X	1.33	10.520205	0.1264	0.9074
Y	25.35	29.614772	0.8560	0.4549
X ²	-0.008	0.322903	-0.0248	0.9818
Y ²	-1.925	2.018147	-0.9538	0.4105
XY	0.15	0.570818	0.2628	0.8097

จากตารางสมการคือ $Z = -75.158333 + 1.33 X + 25.35 Y - 0.008 X^2 - 1.925 Y^2 + 0.000023 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % FTS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 44 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %mc กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	22.983403	0.946853	2402735	0.0002
X	-0.199205	0.075651	-2.6332	0.0781
Y	-3.398175	0.21296	-1509569	0.0005
X ²	0.003883	0.002322	1.6724	0.1930
Y ²	0.199933	0.014513	13.7766	0.0008
XY	-0.002815	0.004105	-0.6858	0.5421

จากตารางสมการคือ $Z = 22.983403 - 0.199205 X - 3.398175 Y + 0.003883 X^2 + 0.199933 Y^2 - 0.002815 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % mc , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

4. แป้งข้าวเหนียวสตาร์ฟอสเฟตไดเอสเทอร์

ตารางภาคผนวกที่ 45 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %BP กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.237513	0.163161	1.4557	0.2415
X	-0.017223	0.006221	-2.7686	0.0697
Y	-0.022493	0.051479	-0.4369	0.6917
X ²	0.000774	0.000169	4.5829	0.0195
Y ²	0.002088	0.00422	0.4949	0.6546
XY	-0.000142	0.000597	-0.2371	0.8278

จากตารางสมการคือ $Z = 0.237513 - 0.017223 X - 0.022493 Y + 0.000774 X^2 + 0.002088 Y^2 - 0.000142 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % BP , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 46 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %DS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	0.017462	0.012747	1.3699	0.2642
X	-0.001346	0.000486	-2.7686	0.0697
Y	-0.001757	0.004022	-0.4369	0.6917
X ²	0.00006	0.000013	4.5829	0.0195
Y ²	0.000163	0.00033	0.4949	0.6546
XY	-0.000011	0.000047	-0.2371	0.8278

จากตารางสมการคือ $Z = 0.017462 - 0.001346 X - 0.001757 Y + 0.00006 X^2 + 0.000163 Y^2 - 0.000011 XY$

โดยค่า Z ,X และ Y คือ % DS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 47 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %FTS กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	-98.766667	231.081639	-0.4274	0.6979
X	-0.323333	8.810324	-0.0367	0.9730
Y	33.5	72.908608	0.4595	0.6771
X ²	-0.07	0.23905	-0.2928	0.7887
Y ²	-3	5.976249	-0.5020	0.6502
XY	0.44	0.845169	0.5206	0.6386

จากตารางสมการคือ $Z = -98.766667 - 0.323333 X + 33.5 Y - 0.07 X^2 - 3 Y^2 + 0.44 XY$
โดยค่า Z, X และ Y คือ % FTS , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

ตารางภาคผนวกที่ 48 การวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่าง %mc กับ เวลา และ ความเข้มข้น

independent variable	coefficient	Std. error	t-value	significant level
constant	5.480639	9.391333	0.5836	0.6005
X	-0.849867	0.358058	2.3735	0.0982
Y	-0.791858	2.963061	-0.2672	0.8066
X ²	-0.023863	0.009715	-2.4563	0.0912
Y ²	0.038767	0.242879	0.1596	0.8833
XY	-0.027465	0.034348	-0.7996	0.4824

จากตารางสมการคือ $Z = 5.480639 + 0.849867 X - 0.791858 Y - 0.023863 X^2$
 $+ 0.038767 Y^2 - 0.027465 XY$

โดยค่า Z, X และ Y คือ % mc , เวลา และ ความเข้มข้น ตามลำดับ

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation)

ตารางภาคผนวกที่ 49 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์
จากแป้งมันสำปะหลัง

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
conc	1.0000 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.2926 (9) .4448	.2887 (9) .4512	.2824 (9) .4616	-.3833 (9) .3086	.2445 (9) .5261	-.0306 (9) .9378	.9954 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.7476 (9) .0206
time	.0000 (9) 1.0000	1.0000 (9) .0000	.7531 (9) .0191	.7537 (9) .0190	.4765 (9) .1947	.8870 (9) .0014	.4201 (9) .2603	-.9859 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.9966 (9) .0000	.6408 (9) .0629
% BP	.2926 (9) .4448	.7531 (9) .0191	1.0000 (9) .0000	1.0000 (9) .0000	.4018 (9) .2837	.5979 (9) .0891	.7428 (9) .0219	-.7529 (9) .0192	.2492 (9) .5178	.7549 (9) .0187	.7216 (9) .0282
% DS	.2887 (9) .4512	.7537 (9) .0190	1.0000 (9) .0000	1.0000 (9) .0000	.4013 (9) .2844	.6001 (9) .0875	.7424 (9) .0220	-.7533 (9) .0191	.2453 (9) .5246	.7555 (9) .0186	.7190 (9) .0290
pH	.2824 (9) .4616	.4765 (9) .1947	.4018 (9) .2837	.4013 (9) .2844	1.0000 (9) .0000	.2600 (9) .4992	-.0665 (9) .8651	-.5262 (9) .1456	.3104 (9) .4163	.4975 (9) .1730	.6182 (9) .0760
% FTS	-.3833 (9) .3086	.8870 (9) .0014	.5979 (9) .0891	.6001 (9) .0875	.2600 (9) .4992	1.0000 (9) .0000	.3767 (9) .0031	-.8583 (9) .0031	-.3798 (9) .3133	.8945 (9) .0011	.2556 (9) .5068
temp	.2445 (9) .5261	.4201 (9) .2603	.7428 (9) .0219	.7424 (9) .0220	-.0665 (9) .8651	.3767 (9) .3176	1.0000 (9) .0000	-.3891 (9) .3006	.2073 (9) .5924	.4155 (9) .2660	.4387 (9) .2375
% MC	-.0306 (9) .9378	-.9859 (9) .0000	-.7529 (9) .0192	-.7533 (9) .0191	-.5262 (9) .1456	-.8583 (9) .0031	-.3891 (9) .3006	1.0000 (9) .0000	-.0356 (9) .9276	-.9751 (9) .0000	-.6585 (9) .0538
conc ²	.9954 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.2492 (9) .5178	.2453 (9) .5246	.3104 (9) .4163	-.3798 (9) .3133	.2073 (9) .5924	-.0356 (9) .9276	1.0000 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.7442 (9) .0215

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 49 (ต่อ)

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
time ²	.0000	.9966	.7549	.7555	.4975	.8945	.4155	-.9751	.0000	1.0000	.6386
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
conc x time	1.0000	.0000	.0187	.0186	.1730	.0011	.2660	.0000	1.0000	.0000	.0641
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
conc x time	.7476	.6408	.7216	.7190	.6182	.2556	.4387	-.6585	.7442	.6386	1.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
conc x time	.0206	.0629	.0282	.0290	.0760	.5068	.2375	.0538	.0215	.0641	.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

ตารางภาคผนวกที่ 50 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสสารฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์จากแป้งข้าวเหนียว

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
conc	1.0000	.0000	.7033	.7033	-.6815	.7049	.0636	-.3098	.9954	.0000	.8879
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
time	.0000	1.0000	.0345	.0345	.0432	.0340	.8709	.4172	.0000	1.0000	.0014
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
% BP	1.0000	.4044	1.0000	1.0000	-.4841	.8070	.1208	-.5504	.7155	.3927	.8609
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
% DS	.0345	.2803	.0000	.0000	.1867	.0086	.7568	.1247	.0302	.2958	.0029
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
pH	1.0000	.4044	1.0000	1.0000	-.4841	.8070	.1208	-.5504	.7155	.3927	.8609
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
% FTS	.0345	.2803	.0000	.0000	.1867	.0086	.7568	.1247	.0302	.2958	.0029
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
pH	-.6815	-.3310	-.4841	-.4841	1.0000	-.5588	-.0114	.4577	-.6536	-.3279	-.7175
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
% FTS	.0432	.3842	.1867	.1867	.0000	.1178	.9768	.2154	.0562	.3889	.0295
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
% FTS	.7049	.6438	.8070	.8070	-.5588	1.0000	.5023	-.8227	.7042	.6451	.9199
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
conc x time	.0340	.0613	.0086	.0086	.1178	.0000	.1682	.0065	.0342	.0606	.0004
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 50 (ต่อ)

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
temp	.0636	.3643	.1208	.1208	-.0114	.5023	1.0000	-.3789	.0553	.3756	.1905
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.8709	.3351	.7568	.7568	.9768	.1682	.0000	.3146	.8876	.3192	.6234
% MC	-.3098	-.8881	-.5504	-.5504	.4577	-.8227	-.3789	1.0000	-.3102	-.8893	-.6643
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.4172	.0014	.1247	.1247	.2154	.0065	.3146	.0000	.4166	.0013	.0510
conc ²	.9954	.0000	.7155	.7155	-.6536	.7042	.0553	-.3102	1.0000	.0000	.8838
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0000	1.0000	.0302	.0302	.0562	.0342	.8876	.4166	.0000	1.0000	.0016
time ²	.0000	.9988	.3927	.3927	-.3279	.6451	.3756	-.8893	.0000	1.0000	.4434
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	.0000	.2958	.2958	.3889	.0606	.3192	.0013	1.0000	.0000	.2319
conc x time	.8879	.4439	.8609	.8609	-.7175	.9199	.1905	-.6643	.8838	.4434	1.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0014	.2313	.0029	.0029	.0295	.0004	.6234	.0510	.0016	.2319	.0000

ตารางภาคผนวกที่ 51 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสสารซฟอสเฟตไดเอสเทอร์จาก
แป้งมันสำปะหลัง

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
conc	1.0000	.0000	.9065	.9065	.6057	.7517	.0000	-.3510	.9954	.0000	.7476
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0000	1.0000	.0007	.0007	.0839	.0195	1.000	.3543	.0000	1.0000	.0206
time	.0000	1.0000	.0855	.0855	-.6588	.0913	-.2879	-.8794	.0000	.9966	.6408
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	.0000	.8268	.8268	.0537	.8152	.4525	.0018	1.0000	.0000	.0629
% BP	.9065	.0855	1.0000	1.0000	.4384	.6170	-.1720	-.3665	.9179	.0940	.7826
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0007	.8268	.0000	.0000	.2379	.0768	.6581	.3320	.0005	.8099	.0629

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 51 (ต่อ)

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
% DS	.9065	.0855	1.0000	1.0000	.4384	.6170	-.1720	-.3665	.9179	.0940	.7826
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0007	.8268	.0000	.0000	.2379	.0768	.6581	.3320	.0005	.8099	.0127
pH	.6057	-.6588	.4384	.4384	1.0000	.4797	.5186	.3230	.6129	-.6707	.0011
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0839	.0537	.2379	.2379	.0000	.1912	.1525	.3966	.0793	.0480	.9977
% FTS	.7517	.0913	.6170	.4797	.4797	1.0000	.4545	-.4375	.7475	.0653	.6355
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0195	.8152	.0768	.1912	.1912	.0000	.2191	.2389	.0206	.8674	.0659
temp	.0000	-.2879	-.1720	-.1720	.5186	.4545	1.0000	.0952	.0059	-.3335	-.1868
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.000	.4525	.6581	.6581	.1525	.2191	.0000	.8076	.9880	.3805	.6304
% MC	-.3510	-.8794	-.3665	-.3665	.3230	-.4375	.0952	1.0000	-.3457	-.8504	-.8287
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.3543	.0018	.3320	.3320	.3966	.2389	.8076	.0000	.3621	.0037	.0058
conc ²	.9954	.0000	.9179	.9179	.6129	.7475	.0059	-.3457	1.0000	.0000	.7442
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0000	1.0000	.0005	.0005	.0793	.0206	.9880	.3621	.0000	1.0000	.0215
time ²	.0000	.9966	.0940	.0940	-.6707	.0653	-.3335	-.8504	.0000	1.0000	.6386
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	1.0000	.0000	.8099	.8099	.0480	.8674	.3805	.0037	1.0000	.0000	.0641
conc x time	.7476	.6408	.7826	.7826	.0011	.6355	-.1868	-.8287	.7442	.6386	1.0000
	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
	.0206	.0629	.0127	.0127	.9977	.0659	.6304	.0058	.0215	.0641	.0009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 52 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสสารฟอสเฟตโคเอสเทอร์จากแป้งข้าวเหนียว

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
conc	1.0000 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.9057 (9) .0008	.9057 (9) .0008	.8232 (9) .0064	.1388 (9) .7218	.7696 (9) .0153	-.1768 (9) .6491	.9954 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.8879 (9) .0014
time	.0000 (9) 1.0000	1.0000 (9) .0000	.0157 (9) .9680	.0157 (9) .9680	-.4391 (9) .2371	.5252 (9) .1465	.1315 (9) .7358	-.8473 (9) .0039	.0000 (9) 1.0000	.9988 (9) .0000	.4439 (9) .2313
% BP	.9057 (9) .0008	.0157 (9) .9680	1.0000 (9) .0000	1.0000 (9) .0000	.8348 (9) .0051	.0705 (9) .8569	.7648 (9) .0164	-.3648 (9) .3344	.9392 (9) .0002	.0177 (9) .9639	.8086 (9) .0083
% DS	.9057 (9) .0008	.0157 (9) .9680	1.0000 (9) .0000	1.0000 (9) .0000	.8348 (9) .0051	.0705 (9) .8569	.7648 (9) .0164	-.3648 (9) .3344	.9392 (9) .0002	.0177 (9) .9639	.8086 (9) .0083
pH	.8232 (9) .0064	-.4391 (9) .2371	.8348 (9) .0051	.8348 (9) .0051	1.0000 (9) .0000	-.1673 (9) .6670	.6064 (9) .0834	.1579 (9) .6850	.8468 (9) .0040	-.4325 (9) .2450	.5306 (9) .1417
% FTS	.1388 (9) .7218	.5252 (9) .1465	.0705 (9) .8569	.0705 (9) .8569	-.1673 (9) .6670	1.0000 (9) .0000	.4660 (9) .2061	-.5190 (9) .1522	.1257 (9) .7472	.5139 (9) .1570	.3842 (9) .3074
temp	.7696 (9) .0153	.1315 (9) .7358	.7648 (9) .0164	.7648 (9) .0164	.6064 (9) .0834	.4660 (9) .2061	1.0000 (9) .0000	-.3808 (9) .3119	.7780 (9) .0136	.1429 (9) .7138	.7825 (9) .0127
% MC	-.1768 (9) .6491	-.8473 (9) .0039	-.3648 (9) .3344	-.3648 (9) .3344	.1579 (9) .6850	-.5190 (9) .1522	-.3808 (9) .3119	1.0000 (9) .0000	-.2138 (9) .5807	-.8450 (9) .0041	-.5486 (9) .1261
conc ²	.9954 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.9392 (9) .0002	.9392 (9) .0002	.8468 (9) .0040	.1257 (9) .7472	.7780 (9) .0136	-.2138 (9) .5807	1.0000 (9) .0000	.0000 (9) 1.0000	.8838 (9) .0016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 52 (ต่อ)

ปัจจัย	conc	time	%BP	%DS	pH	%FTS	temp	%MC	conc ²	time ²	conc x time
time ²	.0000 (9) 1.0000	.9988 (9) .0000	.0177 (9) .9639	.0177 (9) .9639	-.4325 (9) .2450	.5139 (9) .1570	.1429 (9) .7138	-.8450 (9) .0041	.0000 (9) 1.0000	1.0000 (9) .0000	.4434 (9) .2319
conc x time	.8879 (9) .0014	.4439 (9) .2313	.8086 (9) .0083	.8086 (9) .0083	.5306 (9) .1417	.3842 (9) .3074	.7825 (9) .0127	-.5486 (9) .1261	.8838 (9) .0016	.4434 (9) .2319	1.0000 (9) .0000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ภาพการทดลอง

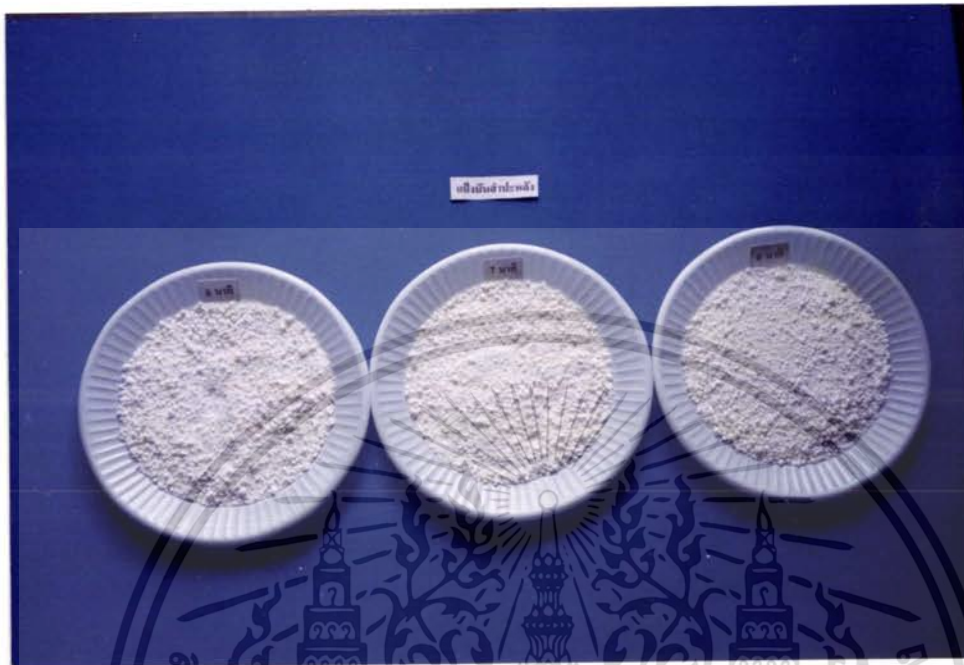


ภาพภาคผนวกที่ 1 แป้งภายหลังผสมกับสารละลายเกลือฟอสเฟต



ภาพภาคผนวกที่ 2 แป้งหลังผสมเมื่อทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

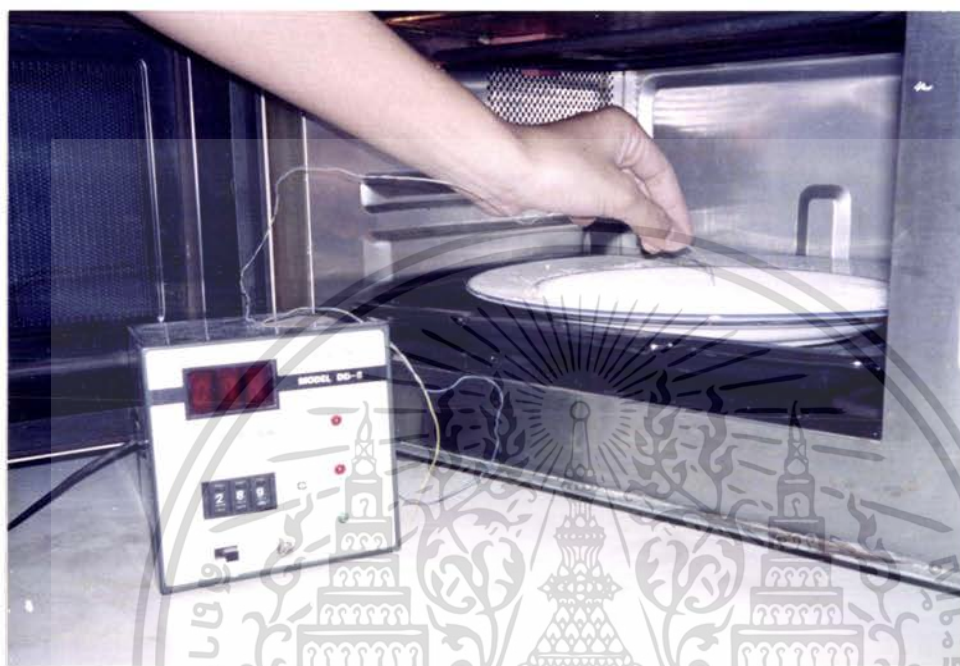
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 8 แป้งมันสำปะหลังภายหลังอบไมโครเวฟที่ 5 7 และ 9 นาที



ภาพภาคผนวกที่ 4 แป้งข้าวเหนียวภายหลังอบไมโครเวฟที่ 5 6 และ 7 นาที
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เชี่ยวชาญได้พิจารณาแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

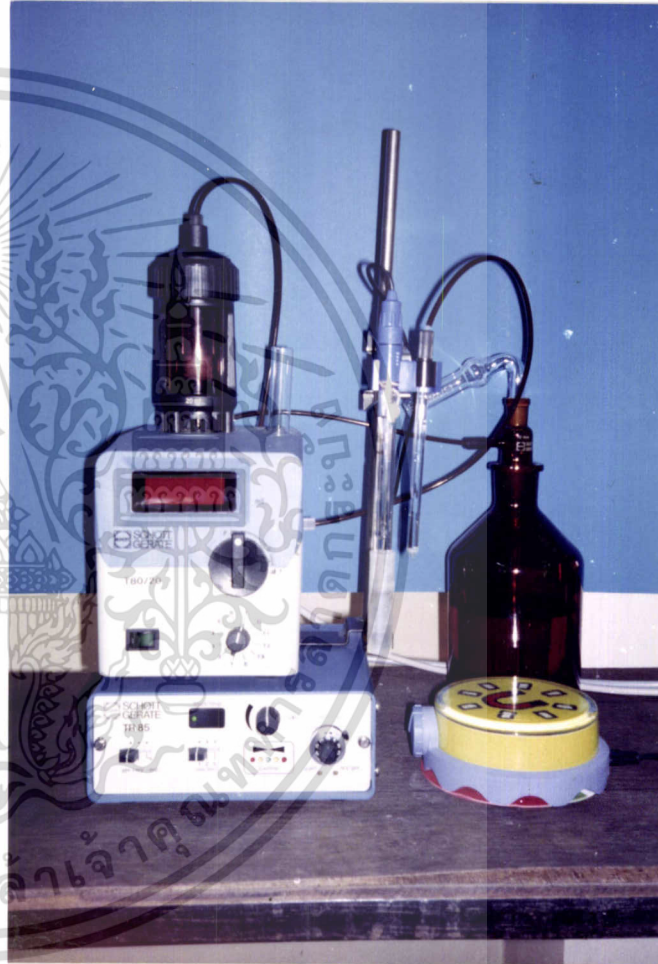


ภาพภาคผนวกที่ 5 การวัดอุณหภูมิขณะอบในเตาอบไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ 6 เครื่องผสมแป้ง



ภาพภาคผนวกที่ 7 เครื่อง Autotitration

ประวัติการศึกษา

นางสาว ภัศรรา มณีศรีรัษฎ์ เกิดวันที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จาก
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.
2539 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน เบญจมราชาลัย ในปี พ.ศ. 2535

นางสาว สิริลักษณ์ เพ็ชรขาว เกิดวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จาก
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.
2539 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน สวนกุหลาบวิทยาลัยนนทบุรี ในปี
พ.ศ. 2535



หนังสือเป็นสมบัติของท่าน
โปรดช่วยกันรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สงวนลิขสิทธิ์ โดย สำนักหอสมุดกลาง โทร. 0 2739 2221 ค้นพบเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้