

#### บทที่ 4

#### ผลการทดลอง

#### คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบ

ได้วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวได้แก่ ปริมาณอะไมโลสและปริมาณโปรตีน แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของข้าวเปลือก

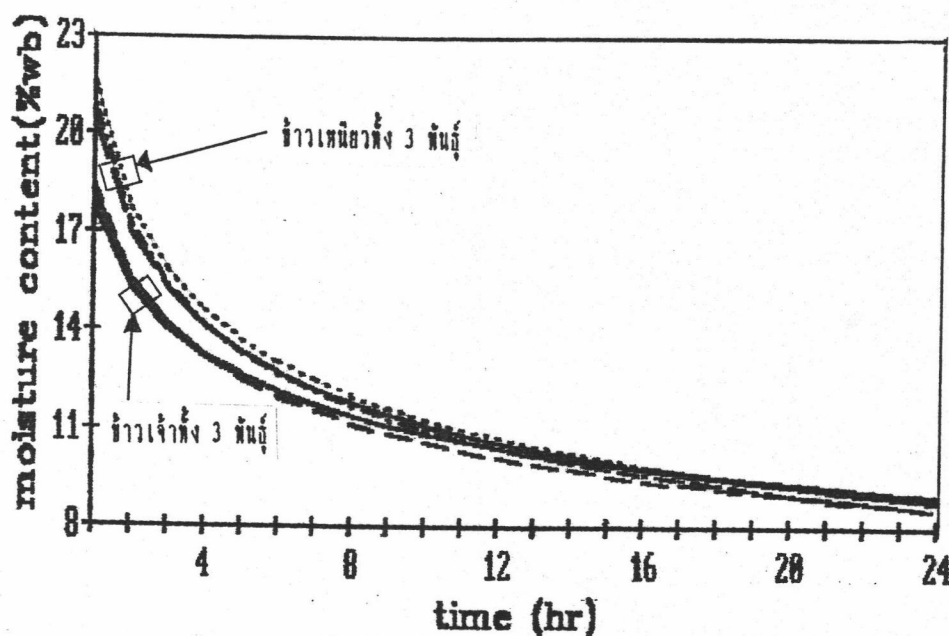
ประเภท	พันธุ์	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง	
		อะไมโลส	โปรตีน
ข้าวเหนียว	กข 6	2.60±0.02	5.83±0.00
	เหนียวสันป่าคอง	2.73±0.02	5.70±0.01
	กข 10	2.80±0.02	6.43±0.00
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	18.85±0.01	6.66±0.00
	สูง นางมล เอส-4	28.20±0.01	7.50±0.01
	กข 11	29.05±0.01	9.16±0.00

## ผลของสภาวะในกระบวนการผลิตต่อคุณภาพการพองตัวของข้าว

### 1. คัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง

#### 1.1 สร้าง drying curve

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของข้าวทั้ง 6 พันธุ์ พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบ power ตามสมการ  $Y=a_0 X^{a_1}$  ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกพันธุ์ต่าง ๆ และเวลาทำแห้ง

### 1.2 คัดเลือกพันธุ์ข้าวที่เหมาะสมในการผลิตข้าวพอง

1.2.1 การตรวจสอบสมบัติทางด้าน % yield ของข้าวพอง ปริมาตร การพองตัว อัตราส่วนการพองตัวของเมล็ดข้าว bulk density และความแข็งของข้าว พองที่ผลิตได้จากการใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบ ให้ผลตามลำดับดังนี้



## 1. % yield ของข้าวพอง

จากการตรวจสอบ % yield ของข้าวพอง ได้ผลดังตาราง

ที่ 4

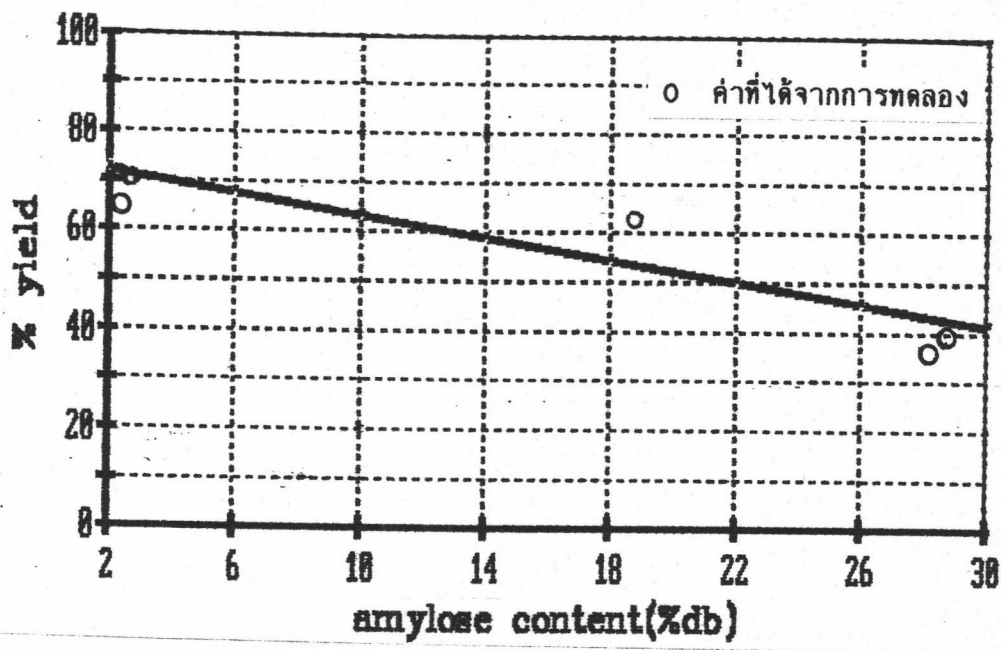
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย % yield ของข้าวพองที่ได้

ประเภท	พันธุ์	% yield
ข้าวเหนียว	กข 6	71.93 ± 1.67 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าคอง	65.97 ± 2.84 <sup>ab</sup>
	กข 10	71.95 ± 2.59 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	64.03 ± 0.88 <sup>b</sup>
	สูง นางมล เอส-4	37.81 ± 5.96 <sup>c</sup>
	กข 11	40.79 ± 2.96 <sup>c</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

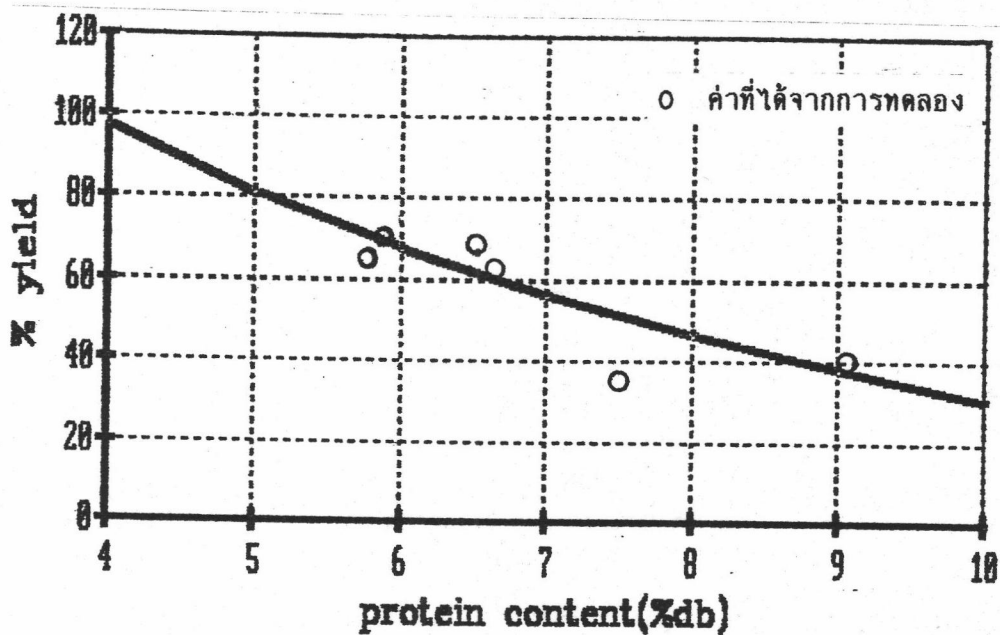
จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าว กข 6 เหนียวสันป่าคองและข้าว กข 10 มี % yield ของข้าวพองสูง รองลงมาคือข้าว ขาวมะลิ 105 กข 11 และข้าว นางมล เอส-4 ตามลำดับ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % yield ของข้าวพองและ ปริมาณอะไมโลส พบว่า % yield ของข้าวพองที่ได้ มีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กันแบบ เส้นตรงตามสมการ  $y = 74.27 - 1.11X$  ( $R^2 = 0.86$ ) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง % yield ของข้าวทองและปริมาณอะไมโลส

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง % yield ของข้าวทองกับ ปริมาณโปรตีน พบว่า มีความสัมพันธ์กันในทางลบกับปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กันแบบ logarithmic ตามสมการ  $y = 199.92 - 73.72 \ln X$  ( $R^2 = 0.72$ ) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง % yield ของข้าวทองและปริมาณโปรตีน

## 2. อัตราส่วนการฟองตัวของ เมล็ดข้าว

จากการตรวจสอบ. อัตราส่วนการฟองตัวของ เมล็ดข้าว

ให้ผลดังตารางที่ 5

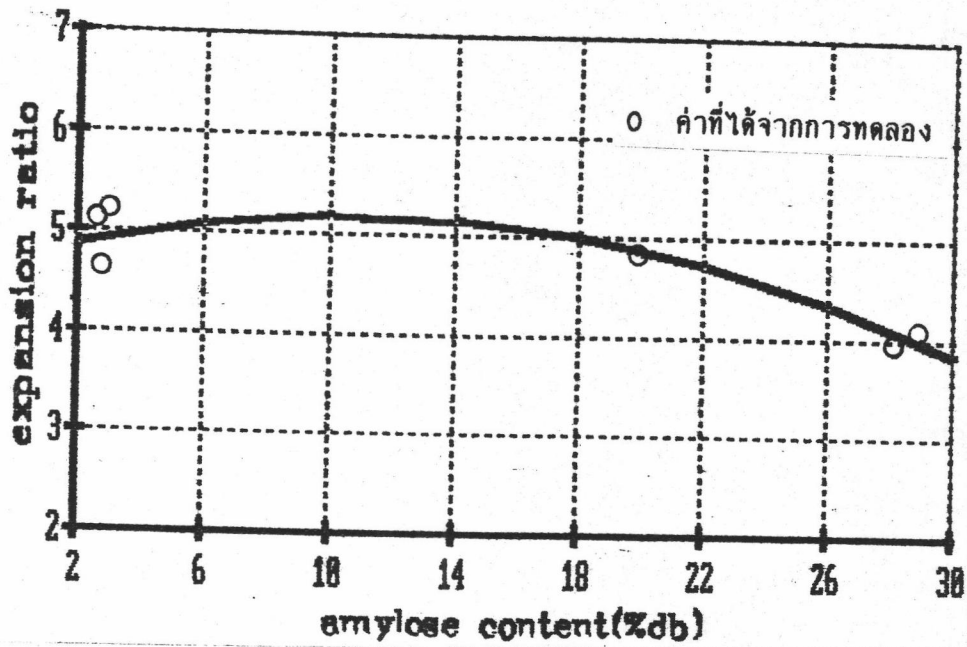
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนการฟองตัวของ เมล็ดข้าว

ประเภท	พันธุ์	อัตราส่วนการฟองตัว (เท่า)
ข้าวเหนียว	กข 6	5.04 ± 0.20 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	4.66 ± 0.23 <sup>b</sup>
	กข 10	5.19 ± 0.22 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	4.97 ± 0.17 <sup>ab</sup>
	สูง นางมลเอส-4	3.99 ± 0.13 <sup>c</sup>
	กข 11	4.04 ± 0.06 <sup>c</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า ข้าว กข 6 กข 10 และขาวมะลิ 105 ให้อัตราส่วนการฟองตัวของเมล็ดข้าวที่สูง รองลงมาคือข้าวเหนียวสันป่าตอง ส่วนข้าว นางมลเอส-4 และ กข 11 มีอัตราส่วนการฟองตัวของเมล็ดข้าวที่ต่ำ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการฟองตัวของเมล็ดข้าวและปริมาณอะไมโลส พบว่า อัตราส่วนการฟองตัวของเมล็ดข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กับแบบพาราโบลา ตามสมการ  $y = 4.71 + 0.09X - 0.01X^2$  ( $R^2 = 0.91$ ) ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการพองตัวของ เมล็ดข้าวและปริมาณอะไมโลส

### 3. ปริมาณการพองตัว

จากการตรวจสอบปริมาณการพองตัวของข้าวพองที่ได้ ๖

ผลดังตารางที่ 6

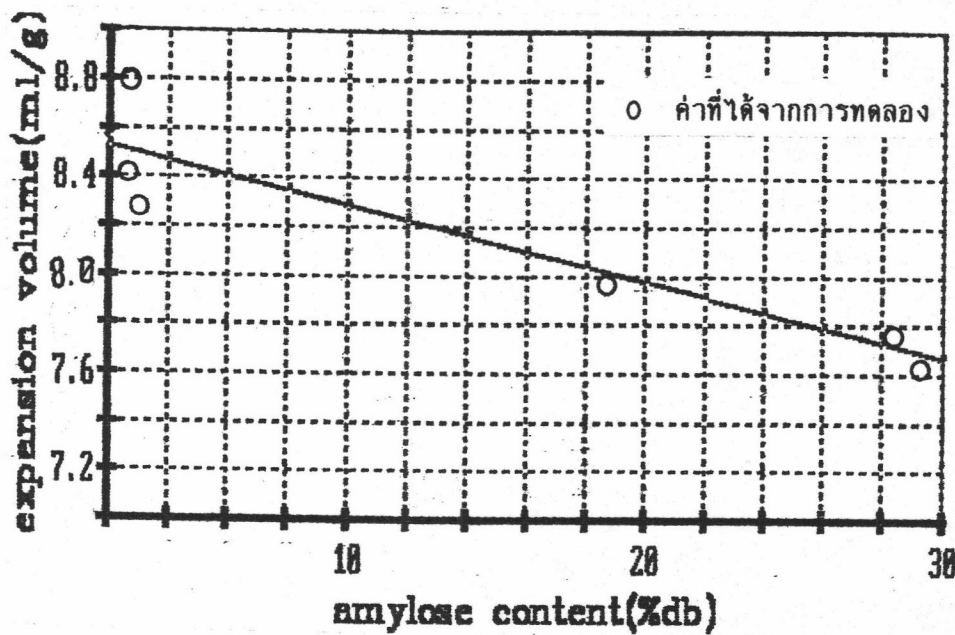
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยปริมาณการพองตัวของข้าวพองที่ได้

ประเภท	พันธุ์	ปริมาณการพองตัว (ml/g)
ข้าวเหนียว	กข 6	8.46 ± 0.14 <sup>b</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	8.27 ± 0.16 <sup>b</sup>
	กข 10	8.82 ± 0.16 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	7.97 ± 0.10 <sup>c</sup>
	สูง นางมล เอส-4	7.79 ± 0.04 <sup>c</sup>
	กข 11	7.65 ± 0.04 <sup>c</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า ข้าว กข 10 ให้ข้าว  
พองที่มีปริมาณการพองตัวที่สูง รองลงมาคือ ข้าว กข 6 และ เหมียวสันป่าดอง ส่วนข้าว  
ขาวมะลิ 105 นางมวลเอส-4 และ กข 11 ให้ปริมาณการพองตัวต่ำ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการพองตัวและปริมาณ  
อะไมโลส พบว่า ปริมาณการพองตัวมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทาง  
สถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กับแบบเส้นตรงตามสมการ  $y = 8.60 - 0.03X$  ( $R^2 = 0.83$ )  
ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการพองตัวของข้าวพองและปริมาณอะไมโลส

#### 4. Bulk density

จากการตรวจสอบ bulk density ของข้าวพองที่ได้ ให้

ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ย bulk density ของข้าวพองที่ได้

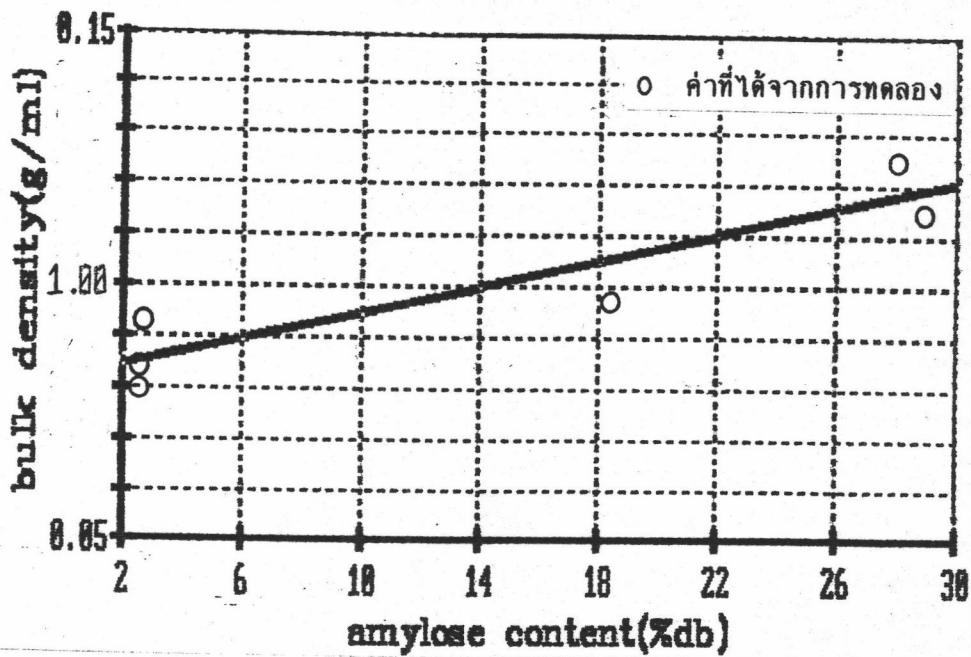
ประเภท	พันธุ์	bulk density (g/ml)
ข้าวเหนียว	กข 6	0.081 $\pm$ 3.61x10 <sup>-3</sup> a
	เหนียวสันป่าตอง	0.095 $\pm$ 5.03x10 <sup>-3</sup> bc
	กข 10	0.084 $\pm$ 3.21x10 <sup>-3</sup> a
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	0.095 $\pm$ 4.95x10 <sup>-3</sup> b
	สูง นางมลเอส-4	0.128 $\pm$ 1.00x10 <sup>-2</sup> d
	กข 11	0.117 $\pm$ 3.61x10 <sup>-2</sup> c

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะเห็นว่าข้าวพองที่ได้จากข้าว กข 6 และ กข 10 มี bulk density ต่ำ ส่วนข้าว ขาวมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง กข 11 และข้าว นางมลเอส-4 มี bulk density สูงขึ้นตามลำดับ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง bulk density และปริมาณอะไมโลส พบว่า bulk density มีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงตามสมการ  $y = 0.082 + 0.001X$  ( $R^2 = 0.81$ )  
 ดังรูปที่ 12





รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง bulk density ของข้าวทองและปริมาณอะไมโลส

#### 5. ความแข็ง (hardness)

จากการตรวจสอบความแข็งของข้าวทองที่ได้ ให้ผลดัง

ตารางที่ 8

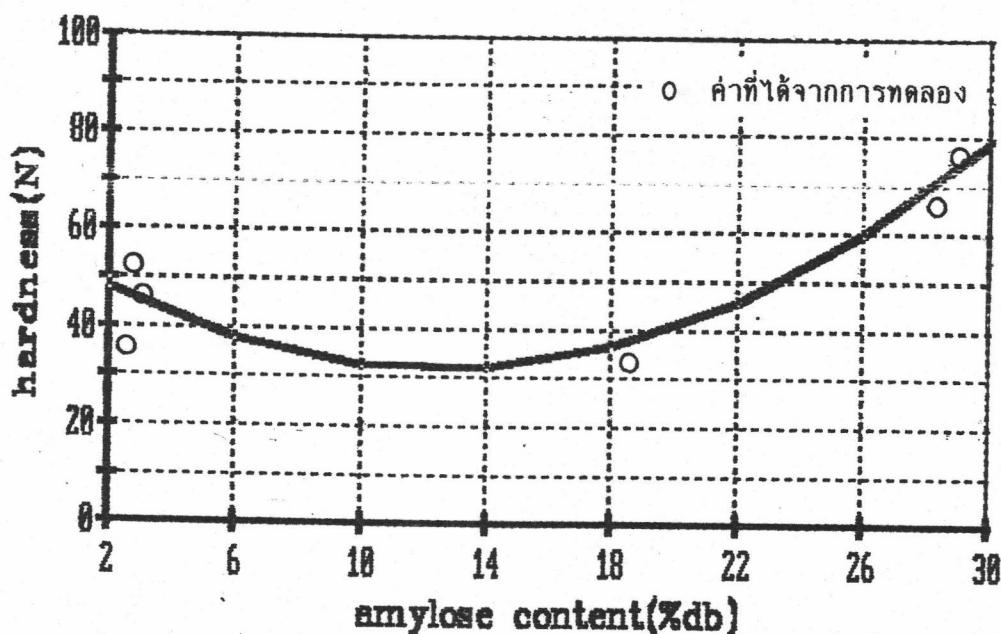
ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวทองที่ได้

ประเภท	พันธุ์	ความแข็ง (นิวตัน)
ข้าวเหนียว	กข 6	34.45 ± 1.71 <sup>c</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	53.99 ± 2.00 <sup>b</sup>
	กข 10	48.94 ± 5.58 <sup>c</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	37.98 ± 2.33 <sup>c</sup>
	สูง นางมลเอส-4	68.73 ± 6.25 <sup>a</sup>
	กข 11	74.85 ± 2.13 <sup>a</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งของข้าวพอง พบว่า ข้าว นางมดเอส-4 และ กข 11 ให้ข้าวพองที่มีความแข็งสูง รองลงมาคือข้าวเหนียวสันป่าตอง ส่วนข้าว กข 10 ขาวมะลิ 105 และ กข 6 จะให้ข้าวพองที่มีความแข็งต่ำลงมา ตามลำดับ

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับปริมาณอะไมโลส พบว่า ความแข็งของข้าวพองมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีความสัมพันธ์กันแบบพาราโบลา ตามสมการ  $y = 54.73 - 3.73x + 0.15x^2$  ( $R^2 = 0.84$ ) ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของข้าวพองกับปริมาณอะไมโลส

### 1.2.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน สี ลักษณะการพอง กลิ่น รสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวพองที่ผลิตได้ ได้ผลตามลำดับ ดังนี้

#### 1. สี

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสีของข้าวพอง แสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 คะแนนเฉลี่ยทางด้านสีของข้าวพอง (คะแนนสีผิว 10, สีเนื้อข้าว 5)

ประเภท	พันธุ์	สีผิว	สีเนื้อข้าว
ข้าวเหนียว	กข 6	6.38±2.67 <sup>ab</sup>	3.94±0.77 <sup>bc</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	6.50±2.72 <sup>ab</sup>	4.13±0.99 <sup>abc</sup>
	กข 10	8.13±1.13 <sup>a</sup>	4.75±0.46 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	7.88±0.35 <sup>a</sup>	4.38±0.74 <sup>ab</sup>
	สูง นางมล เอส-4	4.38±1.59 <sup>c</sup>	3.63±1.06 <sup>c</sup>
	กข 11	5.25±0.71 <sup>bc</sup>	3.63±1.30 <sup>c</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านสีผิวของข้าวพอง พบว่าข้าวพองมีสีผิว เป็นสีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อยถึงน้ำตาลมาก โดยข้าว กข 10 และขาวมะลิ 105 มีผิวสีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อย (คะแนน 7-8) ในขณะที่ข้าว นางมล เอส-4 มีคะแนนสีผิวต่ำ (คะแนน 3-4) มีผิวสีเหลืองออกน้ำตาลมาก

ส่วนผลการตรวจสอบด้านสีเนื้อข้าว พบว่า ข้าวทุกพันธุ์มีสีเนื้อข้าวเป็นสีขาว (คะแนน 3-5)

## 2. ลักษณะการพอง

ผลการประเมินคุณลักษณะทางด้าน ลักษณะการพองของข้าวพอง แสดงได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะการพองของข้าวพอง (คะแนนเต็ม 30)

ประเภท	พันธุ์	ลักษณะการพอง
ข้าวเหนียว	กข 6	22.50±3.38 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	23.00±3.51 <sup>a</sup>
	กข 10	18.75±4.40 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	20.75±6.86 <sup>a</sup>
	สูง นางมลเอส-4	3.88±3.27 <sup>b</sup>
	กข 11	2.87±2.42 <sup>b</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านลักษณะการพองของข้าวพอง พบว่า ข้าว กข 6 เหนียวสันป่าตอง กข 10 และขาวมะลิ 105 ให้ข้าวพองที่มีลักษณะการพองที่ดีสามารถพองได้เต็มที่ในลักษณะยังคงรูป เมล็ดข้าว และในลักษณะแตก 2 ซีกปนบ้าง (คะแนน 19-26) ในขณะที่ข้าว นางมลเอส-4 และ กข 11 จะพองได้ไม่เต็มที่ (คะแนน 1-6)

### 3. กลิ่น

ผลการประเมินคุณลักษณะทางด้านกลิ่นของข้าวพองแสดงได้

ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 คะแนนเฉลี่ยทางด้านกลิ่นของข้าวพอง (คะแนนเต็ม 5)

ประเภท	พันธุ์	กลิ่น
ข้าวเหนียว	กข 6	3.75 ± 0.71 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	3.88 ± 0.92 <sup>a</sup>
	กข 10	3.63 ± 0.74 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	4.13 ± 0.99 <sup>a</sup>
	สูง นางมล เอส-4	3.50 ± 1.07 <sup>a</sup>
	กข 11	2.38 ± 0.92 <sup>b</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางด้านกลิ่นของข้าวพองพบว่า ข้าวทุกพันธุ์ให้ข้าวพองที่มีกลิ่นปกติของข้าว (คะแนน 4-5) ยกเว้นข้าว กข 11 ที่ให้ข้าวพองที่มีกลิ่นไหม้ (คะแนน 1-2)

## 4. รสชาติ

ผลการประเมินคุณลักษณะของข้าวพองทางด้านรสชาติแสดง

ได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คะแนนเฉลี่ยทางด้านรสชาติของข้าวพอง (คะแนนเต็ม 20)

ประเภท	พันธุ์	รสชาติ
ข้าวเหนียว	กข 6	15.50 ± 1.69 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าดอง	15.63 ± 1.60 <sup>a</sup>
	กข 10	14.13 ± 2.17 <sup>a</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	16.50 ± 1.51 <sup>a</sup>
	สูง นางมลเอส-4	11.13 ± 4.42 <sup>b</sup>
	กข 11	9.88 ± 3.76 <sup>b</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวพอง ทางด้านรสชาติ พบว่า ข้าวพองที่ได้จากข้าว กข 6 เหนียวสันป่าดอง กข 10 ขาวมะลิ 105 และนางมลเอส-4 มีรสชาติปกติของข้าว ส่วนข้าว กข 11 ให้ข้าวพองที่มีรสขมเล็กน้อย

## 5. ลักษณะเนื้อสัมผัส (คะแนนเต็ม 30)

ผลการประเมินคุณลักษณะของข้าวพองทางด้านลักษณะเนื้อ

สัมผัส แสดงได้ดังตารางที่ 13



ตารางที่ 13 คะแนนเฉลี่ยทางด้านลักษณะ เนื้อสัมผัสของข้าวทอง

ประเภท	พันธุ์	ลักษณะ เนื้อสัมผัส
ข้าวเหนียว	กข 6	20.25 ± 8.53 <sup>abcd</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	24.13 ± 4.70 <sup>ab</sup>
	กข 10	16.88 ± 5.79 <sup>cd</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	25.63 ± 2.67 <sup>a</sup>
	สูง นางมล เอส-4	19.25 ± 5.34 <sup>bcd</sup>
	กข 11	15.88 ± 3.27 <sup>d</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านลักษณะ เนื้อสัมผัสของข้าวทอง พบว่า ข้าวทองที่ได้จากข้าว เหนียวสันป่าตองและขาวมะลิ 105 มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่กรอบ (คะแนน 23-30) ส่วนข้าว กข 6 นางมล เอส-4 กข 10 และกข 11 จะให้ข้าวทองที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง (คะแนน 15-22)

#### 6. คะแนนรวม

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว เมื่อนำคะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะต่าง ๆ มารวมกันจะให้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 คะแนนเฉลี่ยรวมของการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวพอง  
(คะแนนเต็ม 100)

ประเภท	พันธุ์	คะแนนรวม
ข้าวเหนียว	กข 6	76.06 ± 5.98 <sup>a</sup>
	เหนียวสันป่าตอง	79.25 ± 6.61 <sup>a</sup>
	กข 10	64.13 ± 11.42 <sup>b</sup>
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	79.38 ± 8.93 <sup>a</sup>
	สูง นางมลเอส-4	45.75 ± 10.90 <sup>c</sup>
	กข 11	39.88 ± 7.42 <sup>c</sup>

a, b, ... ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากคะแนนรวมที่ได้จะเห็นว่า ข้าวพองที่ผลิตจากข้าว กข 6 เหนียวสันป่าตอง และข้าวขาวมะลิ 105 มีคะแนนเฉลี่ยรวมสูงอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ข้าว นางมลเอส-4 และกข 11 มีคะแนนเฉลี่ยรวมต่ำกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งทางด้านคุณภาพการพองตัวของข้าว และการประเมินผลทางประสาทสัมผัส จึงเลือกข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 เป็นตัวแทนไปศึกษาข้อต่อไป

## 2. ผลของเกลือ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff ต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวเปลือก

นำข้าวเปลือกที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 1.2 คือพันธุ์ กข 6 มาศึกษาผลของตัวแปรในกระบวนการผลิต ได้แก่ ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ปรับความชื้น ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff ต่อคุณภาพการพองตัวของข้าวซึ่งได้แก่ % yield ปริมาณการพองตัว ความแข็งและ bulk density ของข้าวพองที่ได้ และผลการวิเคราะห์ความแปร

ปรวนของข้อมูลที่ได้แสดงดังตารางที่ 15-16

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยคุณภาพการพองตัวของข้าวพองที่ผลิตได้จากสภาวะต่าง ๆ

เกลือ (%)	ความชื้น (%wb)	อุณหภูมิ (°C)	% yield <sup>a</sup>	ปริมาตรการพองตัว <sup>a</sup> (ml/g)	ความแข็ง <sup>a</sup> (N)	bulk density <sup>a</sup> (g/ml)
		220	69.66±1.43	8.22±0.1	34.55± 0.33	0.075±0.001
	10	250	68.90±0.37	8.01±0.2	53.63± 1.63	0.077±0.001
		280	68.76±0.54	7.75±0.2	57.19± 1.12	0.080±0.001
		220	69.68±1.30	8.80±0.1	31.02±12.19	0.069±0.000
	13	250	71.81±0.18	8.96±0.1	35.99±14.62	0.069±0.001
		280	71.10±0.76	8.29±0.2	45.58±11.65	0.074±0.001
0		220	65.81±1.06	7.49±0.1	44.78± 7.95	0.075±0.001
	16	250	68.41±1.38	7.36±0.1	38.68± 5.15	0.078±0.002
		280	68.87±1.56	7.21±0.1	48.82±12.19	0.081±0.001
		220	64.61±2.41	6.34±0.2	37.19± 7.02	0.082±0.002
	19	250	68.96±1.96	5.93±0.3	40.18±11.63	0.093±0.001
		280	68.59±0.66	5.42±0.1	54.49± 4.99	0.099±0.006
		220	60.89±0.61	5.70±0.1	40.67± 4.70	0.094±0.001
	10	250	66.23±1.75	6.27±0.1	40.66± 5.89	0.073±0.001
		280	68.30±0.59	6.07±0.4	40.30± 2.46	0.081±0.000
		220	62.99±1.08	7.61±0.4	36.34± 0.61	0.069±0.008
	13	250	70.23±1.20	8.15±0.4	37.34± 3.25	0.073±0.001
		280	71.49±1.27	7.82±0.2	47.74± 0.42	0.081±0.001
2		220	66.91±0.26	7.48±0.2	33.92± 0.51	0.076±0.001
	16	250	70.66±0.35	7.45±0.3	51.57± 1.27	0.079±0.001
		280	72.28±1.79	7.25±0.3	52.34± 2.09	0.083±0.001
		220	64.50±1.00	6.51±0.2	42.82± 0.83	0.081±0.001
	19	250	71.42±0.88	6.28±0.1	50.06± 0.48	0.093±0.001
		280	72.81± 1.23	5.71±0.2	58.68± 1.75	0.107±0.005

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

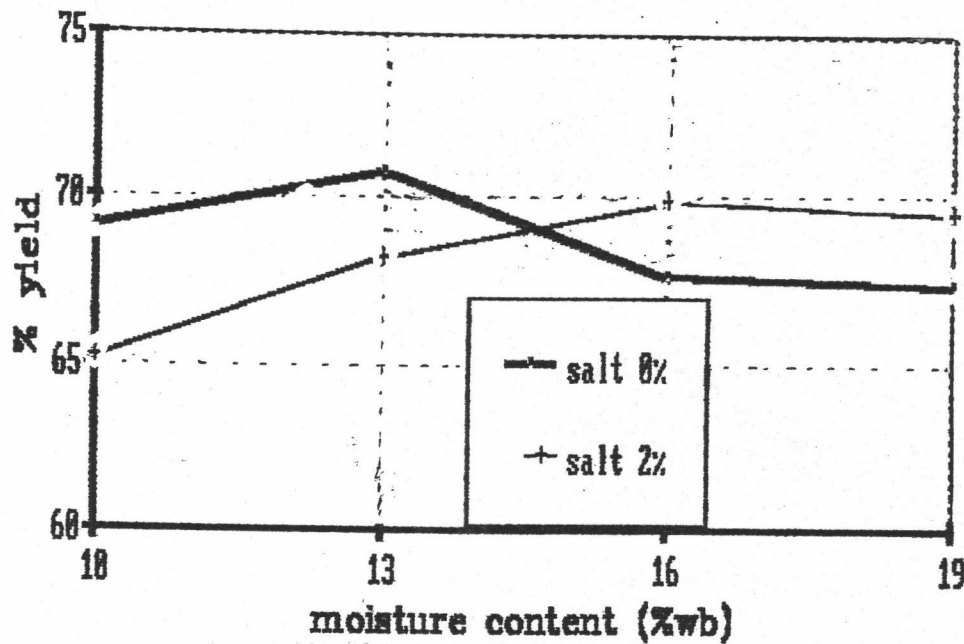
ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพการฟองตัวของข้าวฟองที่ผลิตได้จากสภาวะต่าง ๆ

SOV	D.F.	F			
		% yield	ปริมาตรการฟองตัว	ความแข็ง	bulk density
A (เกลือ)	1	5.40*	113.13*	0.14	32.34*
B (ความชื้น)	3	8.46*	253.79*	3.73*	126.00*
C (อุณหภูมิ)	2	68.62*	15.69*	14.69*	54.70*
AB	3	21.52*	76.77*	2.52	27.16*
AC	2	21.54*	5.32*	0.66	0.23
BC	6	1.75	4.27*	0.49	12.02*
error	24				

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 2.1 % yield

จากค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 15-16 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 14-15



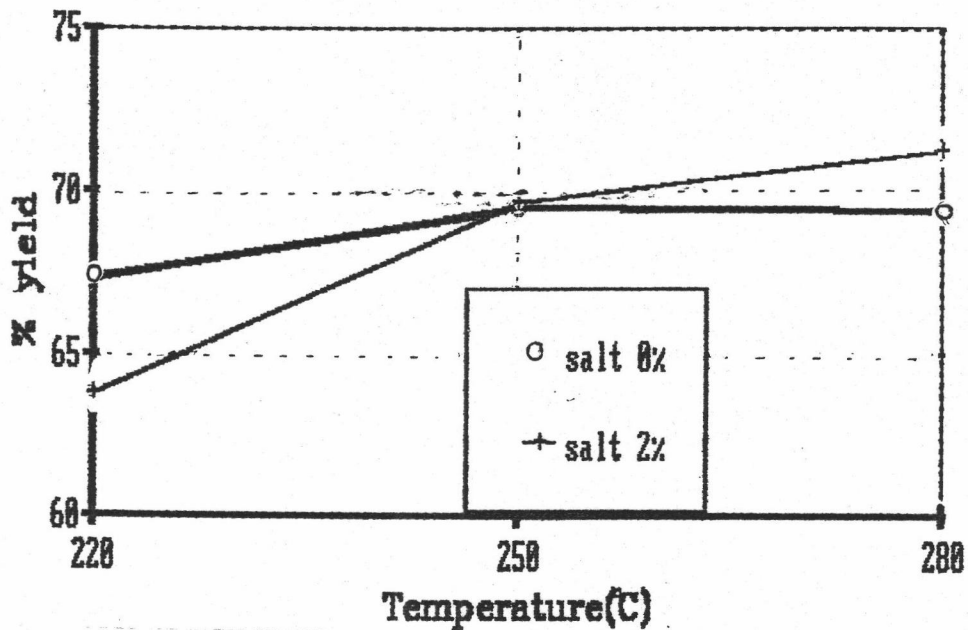
รูปที่ 14 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ % yield ของข้าวพอง

#### ผลของเกลือ

จากรูปที่ 14 จะเห็นว่าที่ระดับความชื้น 10 และ 13 % การปรับความชื้นด้วยน้ำจะให้ % yield สูงกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ แต่เมื่อความชื้นเพิ่มเป็น 16 และ 19 % การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือกลับให้ % yield ที่สูงกว่า

#### ผลของความชื้น

จากรูป พบว่า เมื่อความชื้นเพิ่มจาก 10 เป็น 13% มีผลให้ % yield ของข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้ง 2 วิธีเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 16 และ 19 % เป็นผลให้ % yield ที่ได้จากการปรับความชื้นด้วยน้ำลดลง ในขณะที่การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือให้ % yield ของข้าวพองเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 15 อิทธิพลร่วมของเกลือและอุณหภูมิต่อ % yield ของข้าวพอง

#### ผลของเกลือ

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 220°C การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือจะให้ % yield ของข้าวพองต่ำกว่าเมื่อปรับความชื้นด้วยน้ำ ในขณะที่ที่ระดับอุณหภูมิ 280°C การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือกลับให้ % yield ของข้าวพองที่สูงกว่า ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 250°C % yield ที่ได้ให้ผลไม่แตกต่างกัน

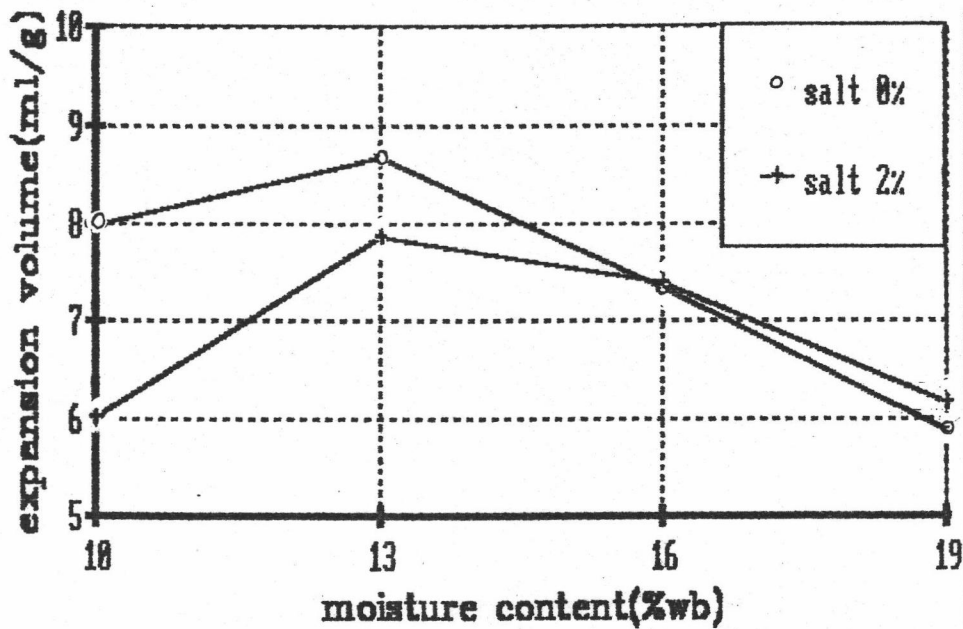
#### ผลของอุณหภูมิ

จากรูปเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิในการ puff สูงขึ้น % yield ของข้าวพองที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



## 2.2 ปริมาณการพองตัว

จากผลการตรวจสอบปริมาณการพองตัวและการวิเคราะห์ความแปรปรวน  
 ดังแสดงในตารางที่ 15-16 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 16-18



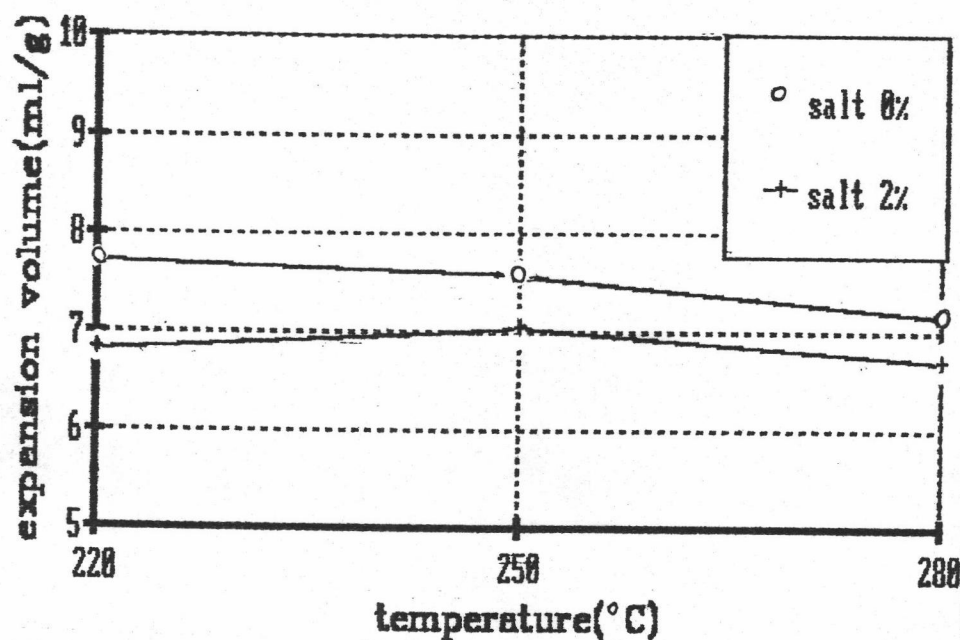
รูปที่ 16 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อปริมาณการพองตัวของข้าวพอง

### ผลของเกลือ

จากรูปที่ 16 จะเห็นว่าที่ระดับความชื้น 10 และ 13 % การปรับความชื้นด้วยน้ำจะให้ข้าวพองที่มีปริมาณการพองตัวสูงกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ส่วนที่ระดับความชื้น 16 % การปรับความชื้นทั้งสองวิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่การปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือ จะให้ข้าวพองที่มีปริมาณการพองตัวที่สูงกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ระดับความชื้น 19 %

### ผลของความชื้น

จากรูปที่ 16 จะเห็นว่าปริมาณการพองตัวของข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้งสองวิธี จะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มจาก 10 เป็น 13 % แต่จะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มเป็น 16 และ 19 % ตามลำดับ



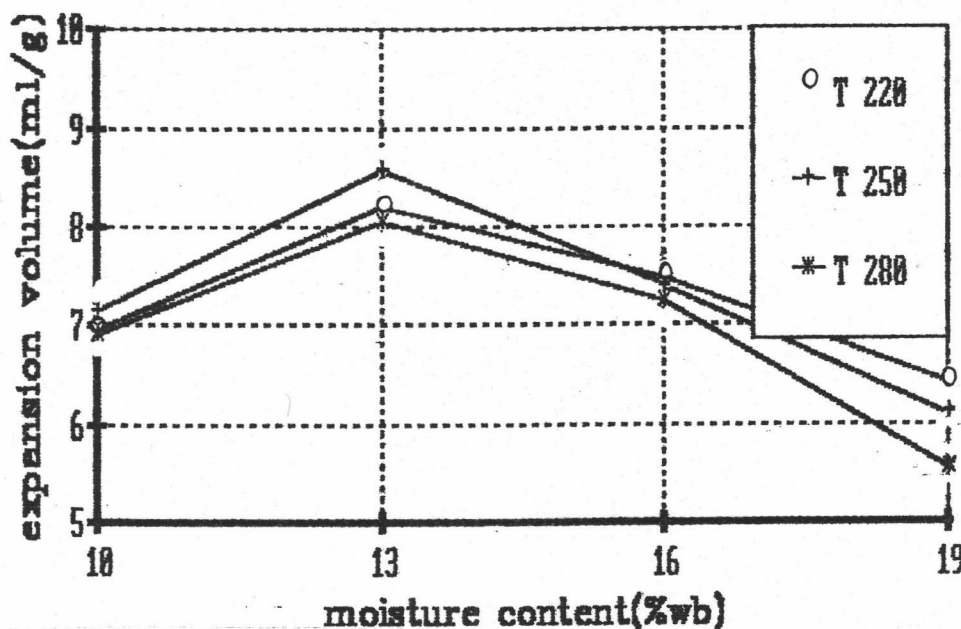
รูปที่ 17 อิทธิพลร่วมของ เกลือและอุณหภูมิต่อปริมาณการพองตัวของข้าว

#### ผลของ เกลือ

จากรูปที่ 17 พบว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำจะให้ข้าวพองที่มีปริมาณการพองตัวสูงกว่าการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลืออย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ที่ทุกระดับอุณหภูมิ

#### ผลของอุณหภูมิ

จากรูป จะเห็นว่าข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นทั้งสองวิธี ให้ผลที่เหมือนกันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงคือ ที่ระดับอุณหภูมิ 220 และ 250°C ปริมาณการพองตัวของข้าวพองที่ได้จะไม่แตกต่างกัน แต่ข้าวพองที่ได้จากระดับอุณหภูมิ 280°C มีปริมาณการพองตัวที่ต่ำกว่าระดับอุณหภูมิอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )



รูปที่ 18 อิทธิพลร่วมของความชื้นและอุณหภูมิต่อปริมาณการพองตัวของข้าว

#### ผลของความชื้น

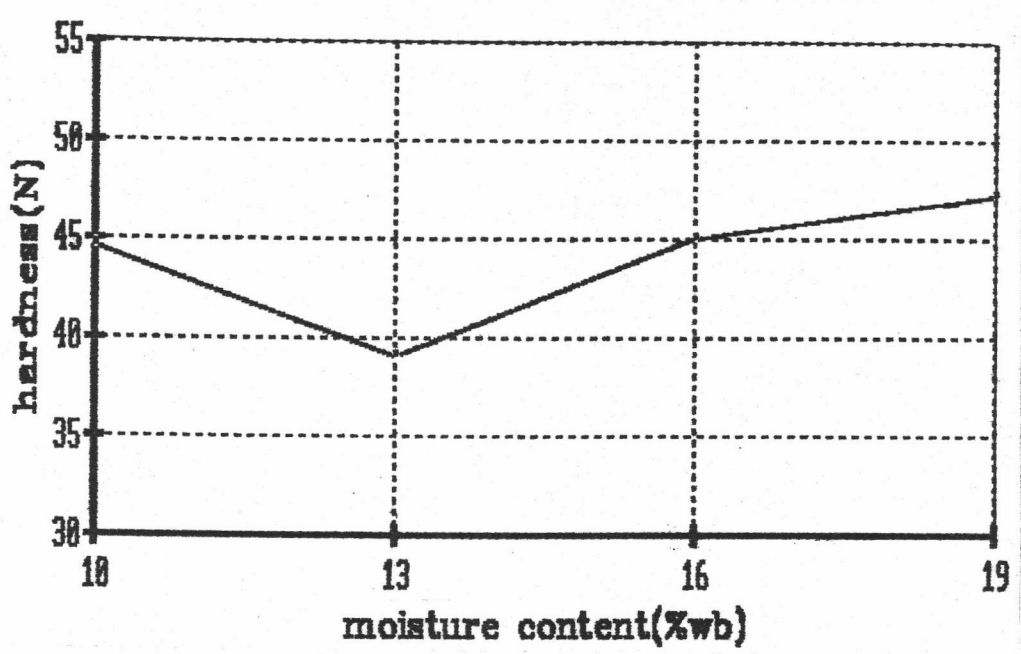
จากรูป จะเห็นว่า ปริมาณการพองตัวของข้าวที่ได้จากอุณหภูมิทั้งสามระดับจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเป็น 13 % แต่จะลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอีกเป็น 16 และ 19 % ตามลำดับ

#### ผลของอุณหภูมิ

ที่ระดับความชื้น 10 และ 16 % ปริมาณการพองตัวของข้าวที่ได้จากอุณหภูมิทั้งสามระดับไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ระดับความชื้น 13 % ข้าวพองจากระดับอุณหภูมิ 250°C มีปริมาณการพองตัวมากกว่าระดับอุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ส่วนที่ระดับความชื้น 19 % ข้าวพองที่ผลิตจากทั้งสามระดับอุณหภูมิมิมีปริมาณการพองตัวที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

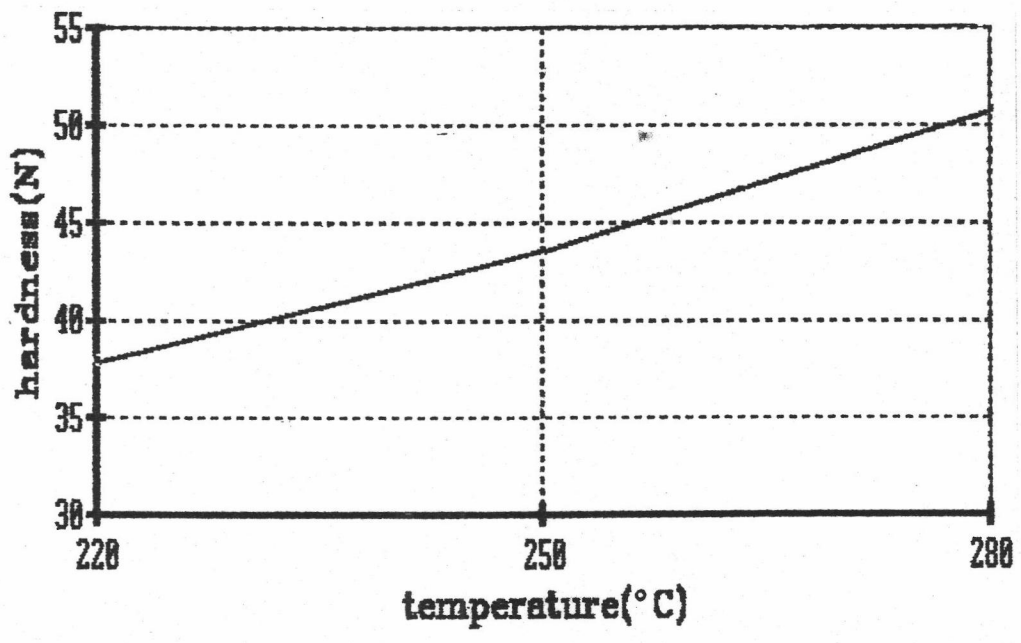
### 2.3 ความแข็ง

จากผลการตรวจสอบความแข็งของข้าวพองและวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในตารางที่ 15-16 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญ แต่อิทธิพลหลักคือความชื้นและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความแข็งของข้าวพองที่ได้ อย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 19-20



รูปที่ 19 อิทธิพลของความชื้นต่อความแข็งของข้าวพอง

จากรูป จะเห็นว่าความแข็งของข้าวพองที่ได้จากระดับความชื้น 10, 16 และ 19 % ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากข้าวพองจากระดับความชื้น 13 % อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

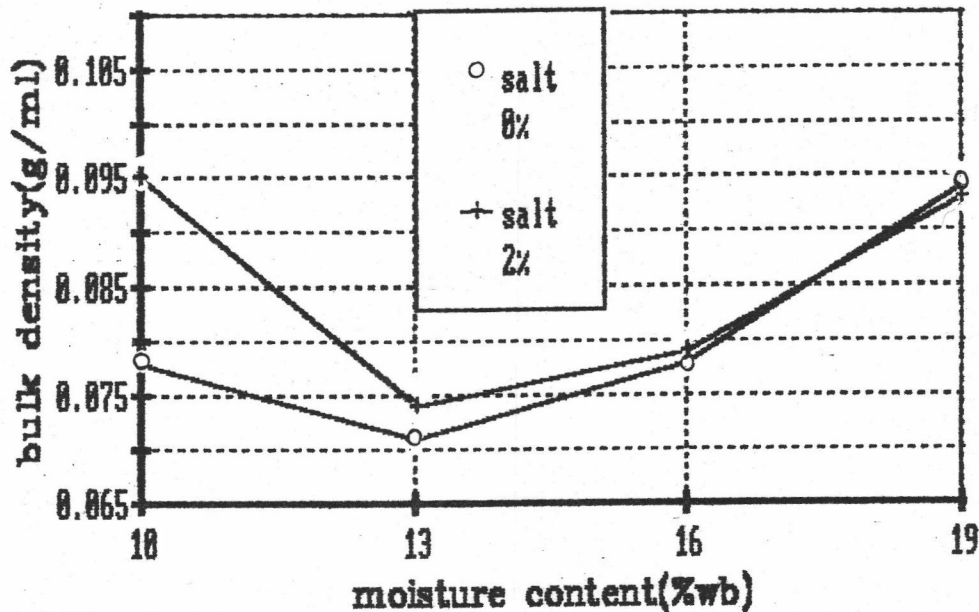


รูปที่ 20 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อความแข็งของข้าวพอง

จากรูปพบว่า ข้าวพองจากทั้งสามระดับอุณหภูมิมิมีความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 2.4 Bulk density

จากการตรวจสอบ bulk density และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้าวพองที่ได้จากสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 15-16 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 21-22



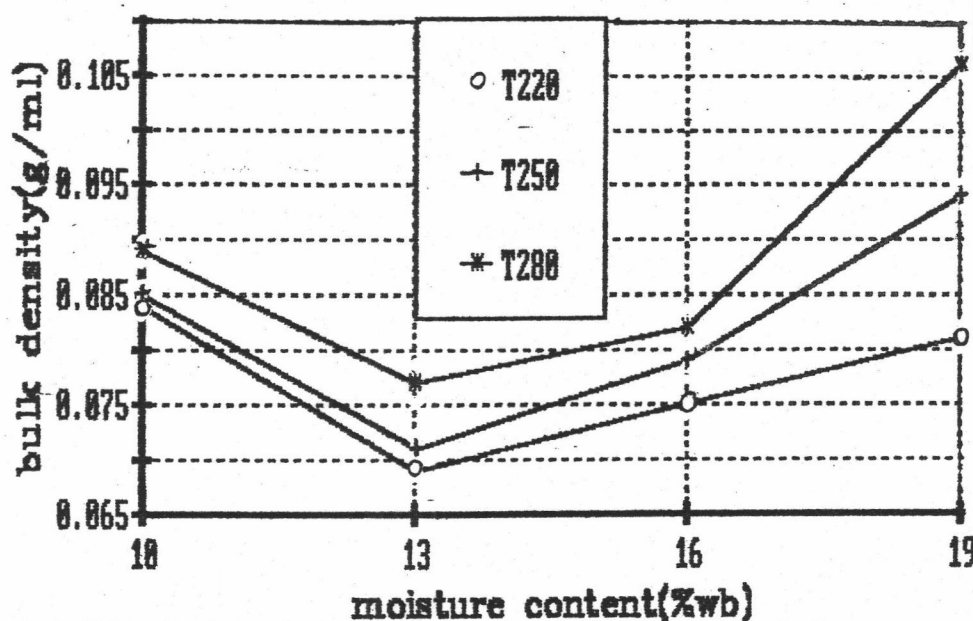
รูปที่ 21 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ bulk density ของข้าวพอง

### ผลของเกลือ

จากรูปที่ 21 ที่ระดับความชื้น 10% ข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นด้วยน้ำเกลือจะมี bulk density สูงกว่าข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระดับความชื้นอื่น การปรับความชื้นทั้งสองวิธีจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

### ผลของความชื้น

จากรูป จะเห็นว่า ข้าวพองจากระดับความชื้น 19% มี bulk density สูงกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่น ส่วนระดับความชื้น 13% จะให้ข้าวพองที่มี bulk density น้อยกว่าระดับความชื้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



รูปที่ 22 อิทธิพลร่วมของความชื้นและอุณหภูมิในการ puff ต่อ bulk density ของข้าวพอง

#### ผลของความชื้น

จากรูป จะเห็นว่า ที่ระดับความชื้น 19% ข้าวพองจากการปรับความชื้นทั้งสองวิธี จะมี bulk density สูงกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระดับความชื้น 13% ข้าวพองมี bulk density ต่ำกว่าระดับความชื้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

#### ผลของอุณหภูมิ

ที่ทุกระดับความชื้น ข้าวพองจากระดับอุณหภูมิ 280°C จะมี bulk density มากกว่าข้าวพองจากระดับความชื้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระดับอุณหภูมิ 220 และ 250°C ให้ข้าวพองที่มี bulk density ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นที่ระดับความชื้น 19% อุณหภูมิทั้งสามระดับจะให้ข้าวพองที่มี bulk density แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

### 3. ศึกษาผลของสภาวะในกระบวนการผลิตต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพอง

#### 3.1 ผลของปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้ง

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ผลิตจากสภาวะตามข้อ 2.2.2 แสดงดังตารางที่ 17 และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติให้ผลดังตารางที่ 18



ตารางที่ 17 ค่าเฉลี่ยของ water-absorption index และ water-solubility index ของแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

ประเภท	พันธุ์	WAI <sup>a</sup>		WSI <sup>a</sup>	
		แป้งดิบ	แป้งข้าวพอง	แป้งดิบ	แป้งข้าวพอง
ข้าวเหนียว	กข 6	3.19±0.06	12.29±0.08	11.90±0.03	11.93±0.30
	เหนียวสันป่าตอง	3.41±0.04	12.49±0.08	10.05±0.16	9.48±0.64
	กข 10	3.29±0.02	12.66±0.28	15.41±0.04	8.02±0.44
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	ขาวมะลิ 105	3.98±0.05	9.96±0.03	6.85±0.08	4.31±0.08
	สูง นางมลิเอส-4	3.89±0.14	9.46±0.28	3.97±0.20	3.19±0.09
	กข 11	4.75±0.11	10.00±0.41	6.43±0.28	3.04±0.21

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

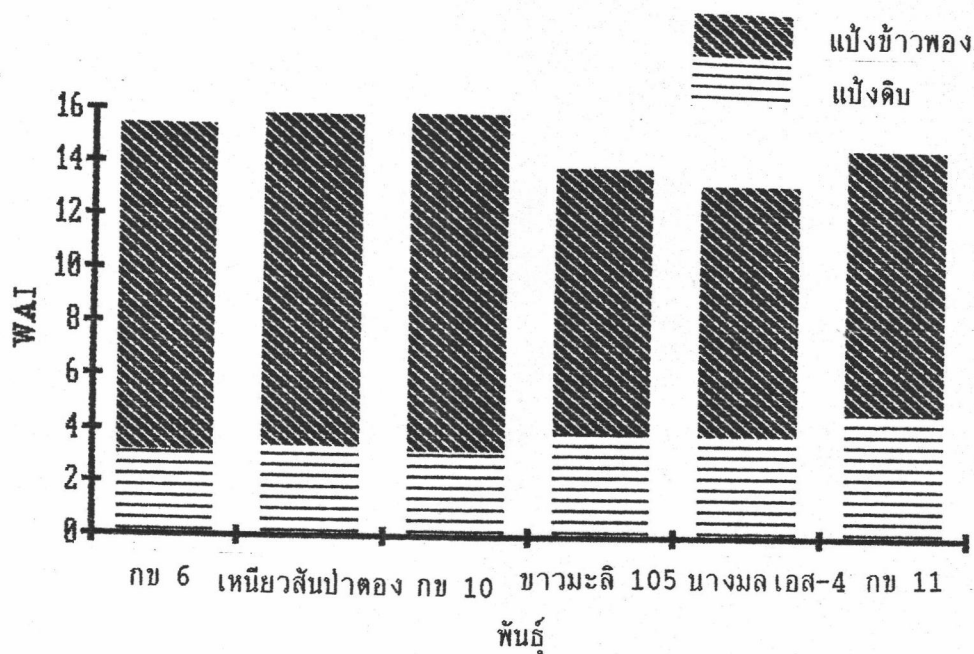
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ water-absorption index และ water-solubility index ของแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

SOV	D.F.	F	
		WAI	WSI
A (ปริมาณอะไมโลส)	5	32.47*	746.10*
B (ชนิดของแป้ง)	1	9182.31*	442.56*
AB	5	110.57*	87.38*
error	12		

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

### 3.1.1 Water-absorption index (WAI)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 18 จะเห็นว่า ปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อ WAI ของแป้ง ผลของอิทธิพลร่วมแสดงได้ ดังรูปที่ 23



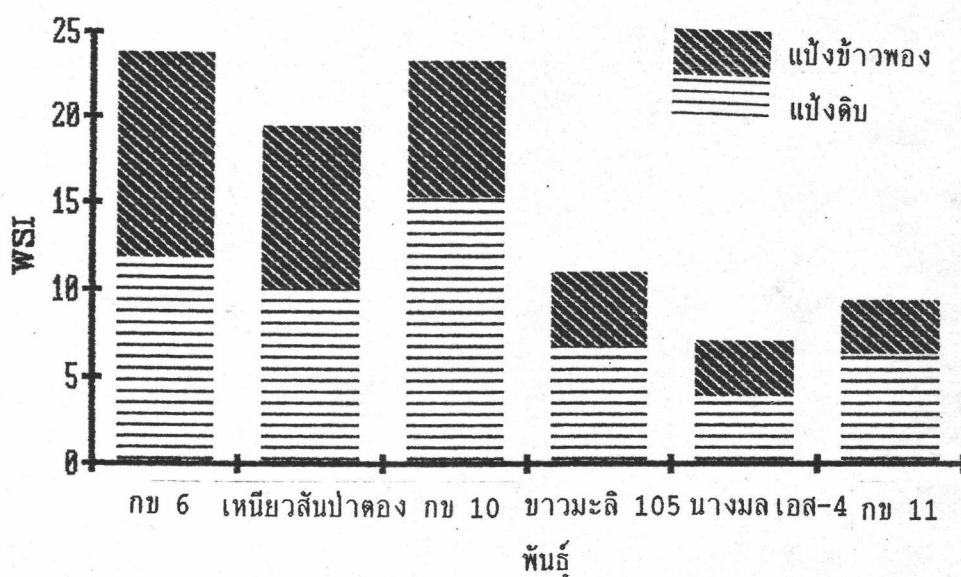
รูปที่ 23 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้งต่อ WAI ของแป้ง

จากรูปจะเห็นว่าแป้งข้าวพองมี WAI สูงกว่าแป้งดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ที่ทุกระดับของปริมาณอะไมโลส โดยมีค่าอยู่ในช่วง 9-13 % ในแป้งข้าวพอง และ 3-5 % ในแป้งดิบ

ส่วนผลของปริมาณอะไมโลส พบว่า ในแป้งดิบข้าวเหนียวมีค่า WAI ต่ำกว่าข้าวเจ้า ในขณะที่แป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเหนียวให้ WAI ที่สูงกว่าข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

### 3.1.2 Water-solubility index (WSI)

จากผลการตรวจสอบค่า WAI ของแป้งและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 17-18 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้งมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 24

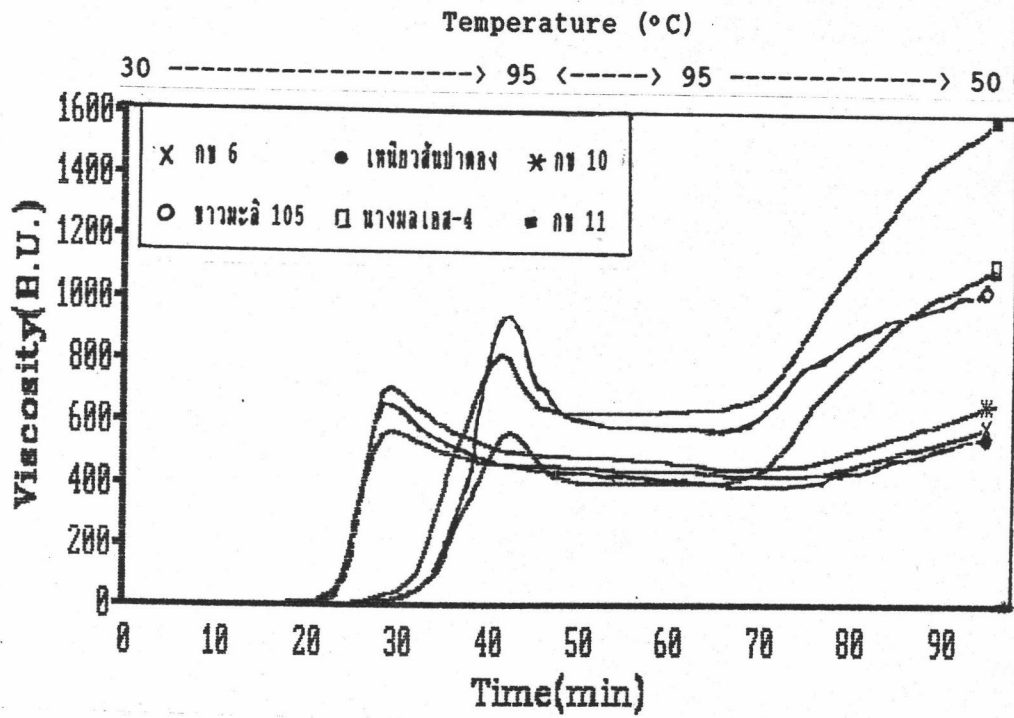


รูปที่ 24 อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณอะไมโลสและชนิดของแป้งต่อ WSI ของแป้ง

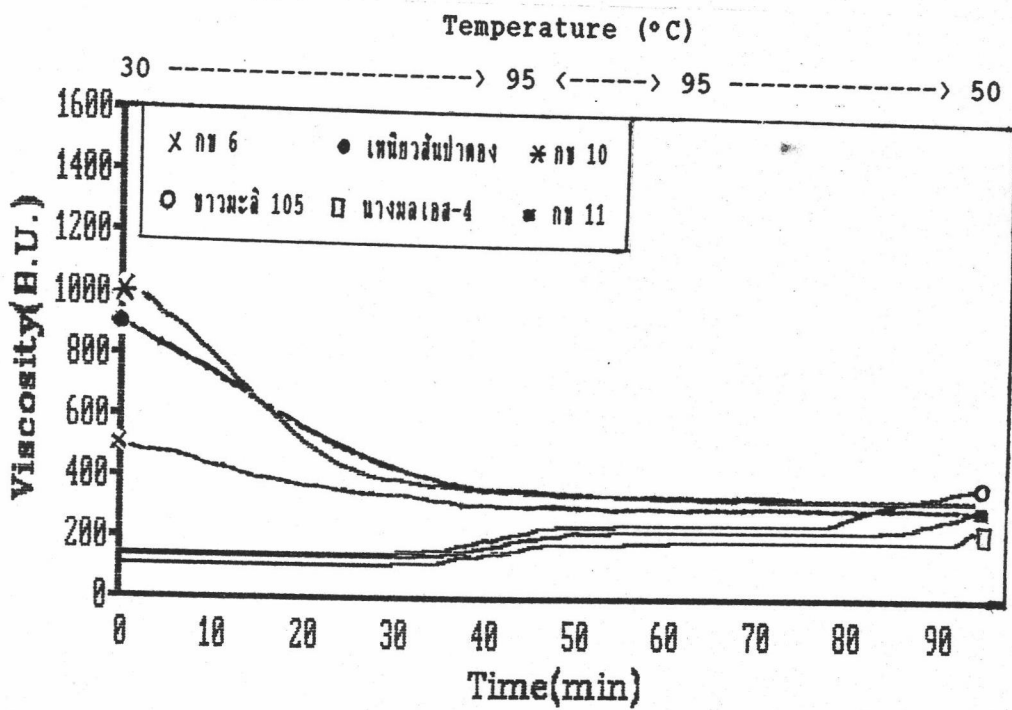
จากรูปที่ 24 จะเห็นว่า ทั้งแป้งดิบและแป้งข้าวพองของข้าวเหนียวมี WSI สูงกว่าข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่แป้งข้าวพองมี WSI ต่ำกว่าแป้งดิบที่ทุกระดับของปริมาณอะไมโลส

### 3.1.3 Brabender Visco-amylograph

จากการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งดิบและแป้งข้าวพองใน heating-cooling cycle ให้ผลดังรูปที่ 25-26



รูปที่ 25 Amylogram ของแป้งดิบจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ



รูปที่ 26 Amylogram ของแป้งข้าวทองที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

จากการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งดิบพันธุ์ต่าง ๆ คือ กย 6 เหนียวสีน้ำตาลแดงและ กย 10 ซึ่งเป็นข้าวเหนียว ส่วนข้าวเจ้าได้แก่ ขวามะลิ 105 นางมลเอส-4 และ กย 11 พบว่า มีลักษณะกราฟที่ต่างกันดังรูปที่ 25 กล่าวคือ ข้าวเหนียวมีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำกว่าข้าวเจ้า โดยข้าวเหนียวมีอุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง <sup>64-65</sup> 64-63°C ส่วนข้าวเจ้ามีอุณหภูมิการเกิดเจลอยู่ในช่วง 75-78°C ความหนืดของ paste เมื่อทำให้เย็นที่ 50°C ของข้าวเหนียวก็ต่ำกว่าข้าวเจ้าด้วย นอกจากนี้ในบรรดาข้าวเจ้าด้วยกันซึ่งแบ่งเป็นข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำและสูงก็มีลักษณะกราฟที่ต่างกันด้วยคือ ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ (ขวามะลิ 105) มีความหนืดของ paste ที่ 50°C ต่ำกว่าข้าวเจ้าอะไมโลสสูง (นางมลเอส-4 และ กย11)

ส่วนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพองจะต่างจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งดิบ ดังรูปที่ 25-26 นอกจากนี้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเจ้าและข้าวเหนียวก็ต่างกันด้วย กล่าวคือความหนืดของ paste ที่ 30°C ของข้าวเหนียวสูงกว่าข้าวเจ้ามาก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของ paste จะลดลงจนถึงจุดหนึ่งแล้วเริ่มคงที่ ในขณะที่ความหนืดของ paste แป้งข้าวเจ้าจะคงที่ในช่วงแรกของการให้ความร้อน แล้วเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจึงคงที่อีก และในช่วงทำให้เย็นความหนืดของ paste มีแนวโน้มสูงขึ้นอีก

### 3.2 ผลของเกลือ ความชื้นของข้าวเปลือกและอุณหภูมิที่ใช้ puff

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ ตามข้อ 2.3 ทางด้าน water-absorption index, water-solubility index และ Brabender Visco-amylograph ได้ผลดังนี้



ตารางที่ 19 ค่า WAI และ WSI ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ

เกลือ (%)	ความชื้น (%wb)	อุณหภูมิ (°C)	WAI* (g of gel/g dry sample)	WSI* (g of solid/g dry sample)
0	10	220	10.04±0.02	20.65±0.03
		250	10.09±0.04	20.96±0.11
		280	10.60±0.04	19.86±0.06
	13	220	9.80±0.08	21.70±0.34
		250	11.02±0.06	22.00±0.05
		280	11.07±0.04	22.62±0.13
	16	220	11.74±0.42	20.54±0.02
		250	12.29±0.08	23.39±0.46
		280	12.09±0.06	25.08±0.22
19	220	11.77±0.01	21.04±0.47	
	250	11.26±0.14	20.13±0.06	
	280	11.17±0.02	19.78±0.31	
2	10	220	11.02±0.02	24.02±0.36
		250	10.66±0.06	23.88±0.10
		280	10.39±0.25	22.55±0.25
	13	220	12.68±0.05	22.55±0.28
		250	12.08±0.76	25.81±0.25
		280	11.61±0.03	25.04±0.02
	16	220	13.80±0.08	24.77±0.47
		250	13.40±0.02	27.12±0.20
		280	12.27±0.08	27.68±0.43
19	220	13.35±0.09	25.42±0.42	
	250	13.19±0.10	28.04±0.21	
	280	13.02±0.08	28.47±0.46	

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



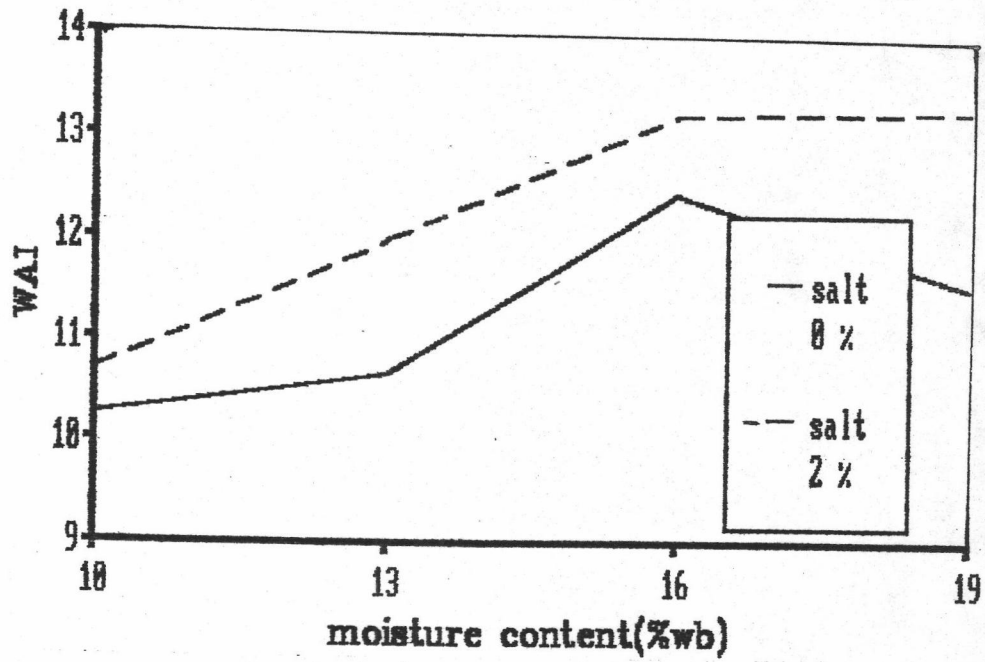
ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า WAI และ WSI ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ

SOV	D.F	F	
		WAI	WSI
A (เกลือ)	1	463.39*	2172.76*
B (ความชื้น)	3	292.51*	182.95*
C (อุณหภูมิ)	2	7.75*	61.94*
AB	3	26.39*	123.50*
AC	2	43.44*	9.02*
BC	6	5.16*	47.73*
error	24		

\* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

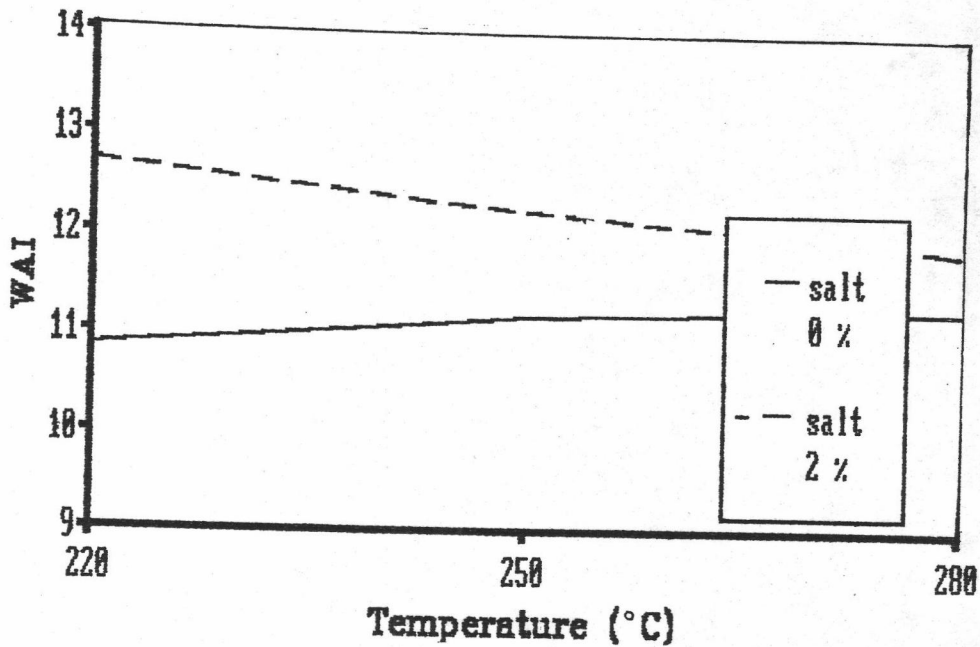
### 3.2.1 Water-absorption index (WAI)

จากข้อมูลและผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 19-20 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญต่อค่า WAI ของแป้งข้าวพองที่ผลิตได้ดังรูปที่ 27-29



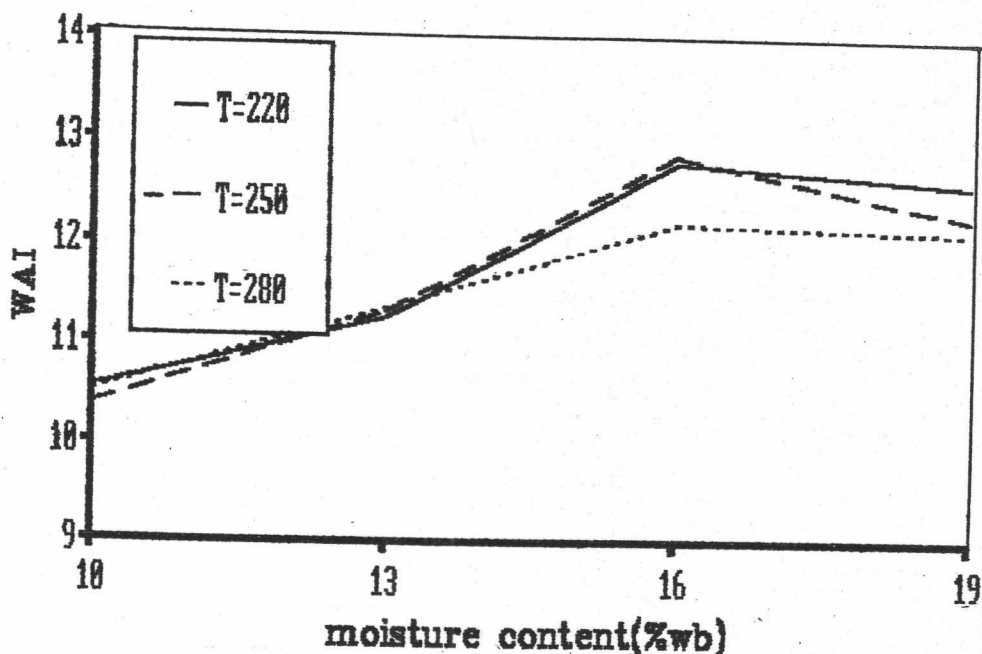
รูปที่ 27 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นที่มีต่อ WAI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 27 จะเห็นว่าเกลือช่วยให้แป้งข้าวพองมีค่า WAI เพิ่มขึ้นที่ทุกระดับความชื้น และเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น จะทำให้แป้งข้าวพองมีค่า WAI สูงขึ้นด้วย ยกเว้นกรณีปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ WAI ของแป้งข้าวพองกลับลดต่ำลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 16 เป็น 19 %



รูปที่ 28 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิที่มีต่อ WAI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 28 พบว่า เกลือช่วยเพิ่ม WAI ของแป้งข้าวพองให้สูงขึ้นที่ทุกระดับอุณหภูมิที่ใช้ puff และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น WAI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีเกลืออยู่ด้วย แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อไม่มีเกลือ

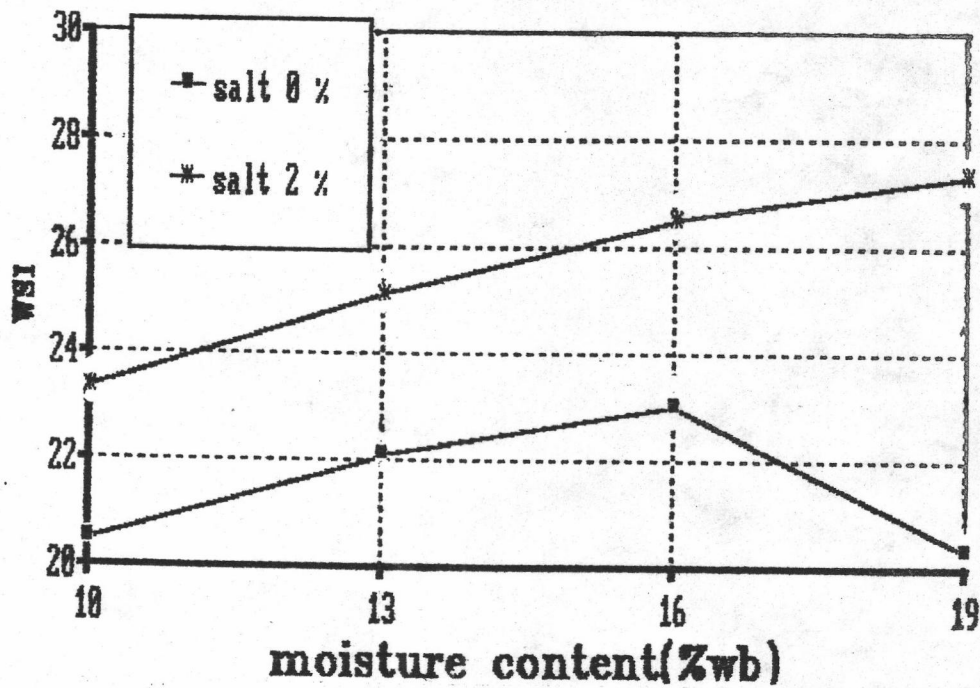


รูปที่ 29 อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิที่มีต่อ WAI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 29 จะเห็นว่าเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 16 % แป้งข้าวพองที่ผลิตได้จะมี WAI สูงขึ้น แต่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นอีกเป็น 19 % ส่วนอุณหภูมินั้นมมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ ดังตารางที่ 20 โดยที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 10 และ 13 % แป้งข้าวพองจะมี WAI ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ระดับความชื้น 16 และ 19 % WAI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff เพิ่มขึ้น

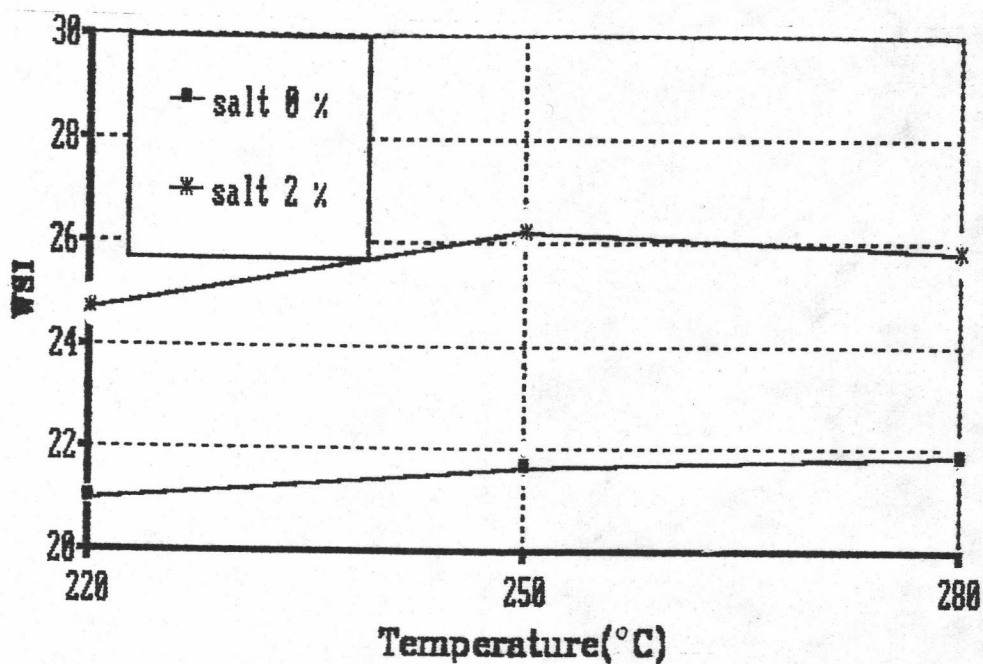
### 3.2.2 Water-solubility index (WSI)

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ 19-20) พบว่า ทุกปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่า WSI ของแป้งข้าวพองโดยเฉพาะเกลือ ส่วนอุณหภูมิมิมีผลน้อยกว่าปัจจัยอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีผลต่อ WSI ของแป้งข้าวพอง ดังรูปที่ 30-32



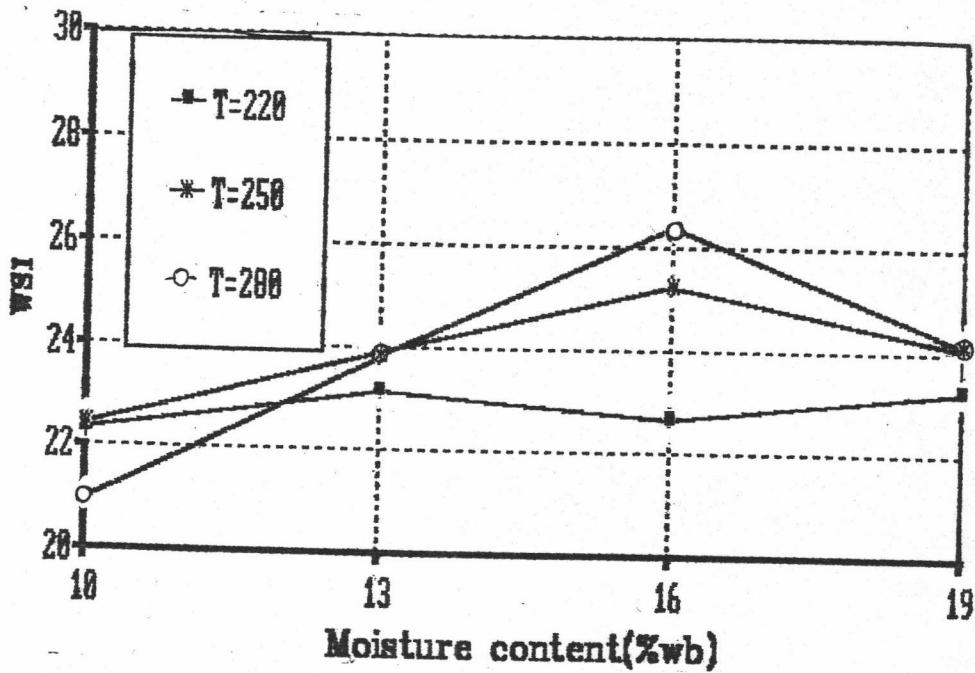
รูปที่ 30 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อ WSI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 30 จะเห็นว่า เกลือช่วยย้ําให้แป้งข้าวพองมี WSI สูงขึ้นที่ทุกระดับความชื้น และเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น แป้งข้าวพองที่ได้จะมี WSI สูงตามไปด้วย ยกเว้นในกรณีปรับความชื้นด้วยน้ำ WSI ของแป้งข้าวพองกลับมีค่าลดลง เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มจาก 16 เป็น 19 %



รูปที่ 31 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิต่อ WSI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 31 เห็นได้ว่าการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ เกลือมีผลทำให้แป้งข้าว  
 พองที่ได้มี WSI สูงขึ้นกว่าเมื่อไม่มีเกลือที่ทุกระดับอุณหภูมิในการ puff และ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูง  
 ขึ้น WSI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย



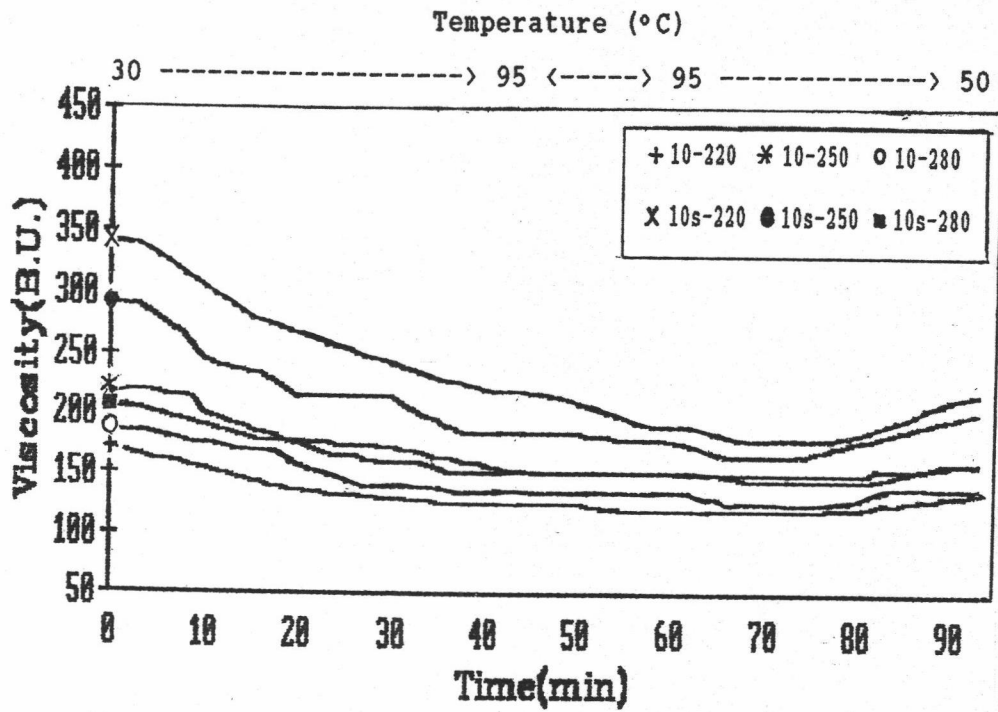
รูปที่ 32 อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิต่อ WSI ของแป้งข้าวพอง

จากรูปที่ 32 จะเห็นว่า เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น แป้งข้าวพองจะมี WSI สูง  
 ตามไปด้วย ยกเว้นเมื่อ puff ที่อุณหภูมิ 250 และ 280°C WSI ของแป้งข้าวพองที่ได้มี  
 แนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 16 เป็น 19 % และ WSI ของแป้งข้าวพองมีแนวโน้มสูง  
 ขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น ยกเว้นในกรณีที่ข้าวเปลือกมีความชื้น 10 % โดยแป้งข้าวพอง  
 จะมี WSI ลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น

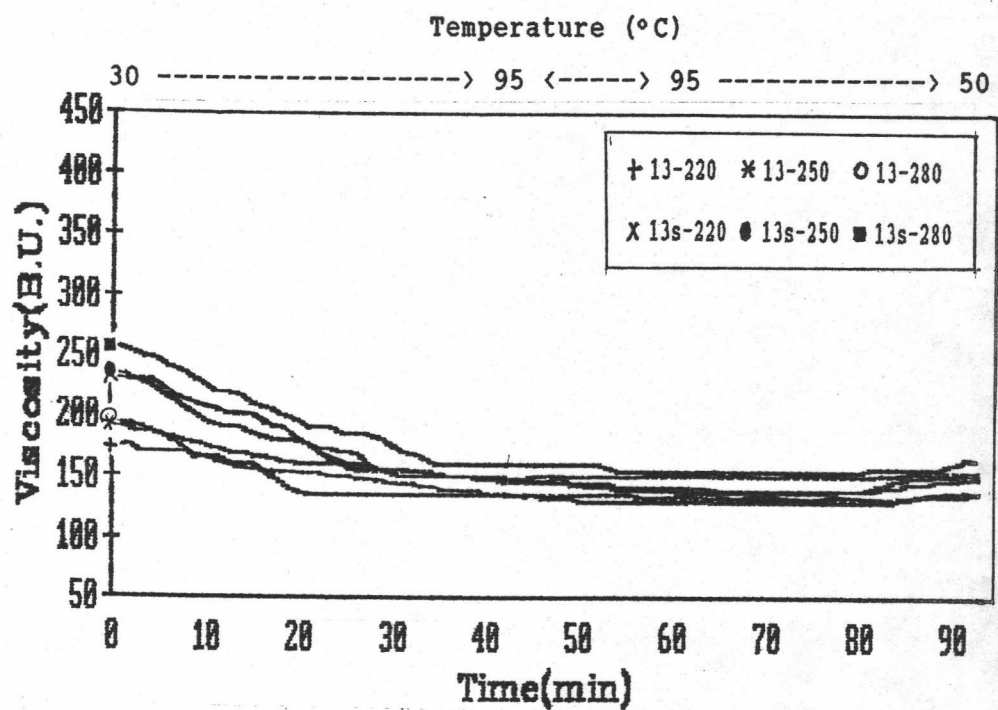


### 3.2.3 Brabender Visco-amylogram

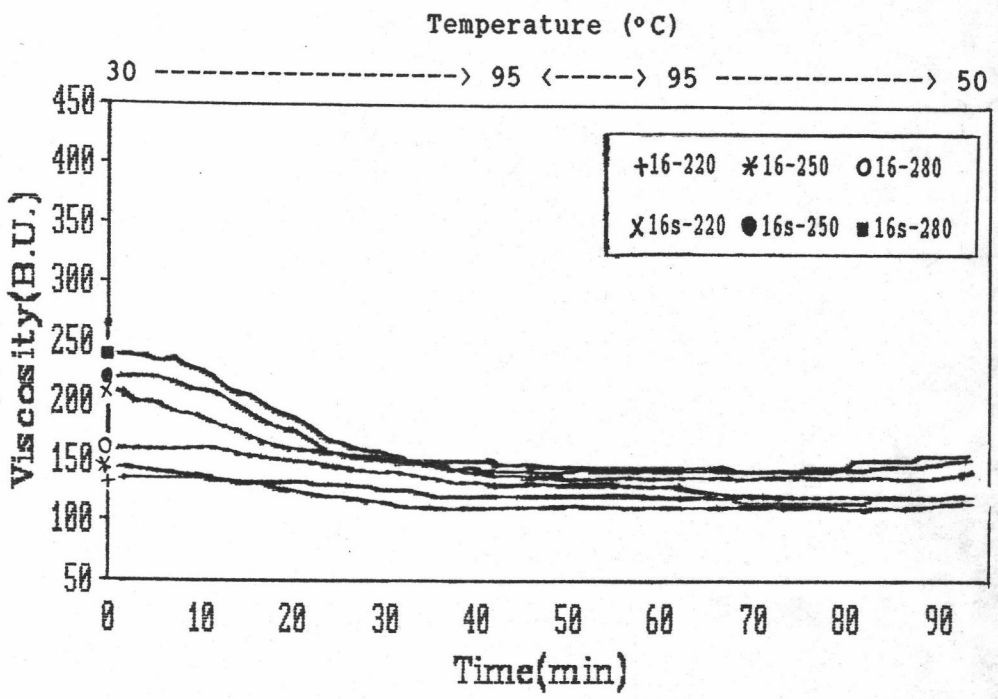
จากการศึกษาารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ใน heating-cooling cycle ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ ให้ผลดังรูปที่ 33-36



รูปที่ 33 Amylogram ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเปลือกความชื้น 10 % โดยการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำและน้ำเกลือ แล้ว puff ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

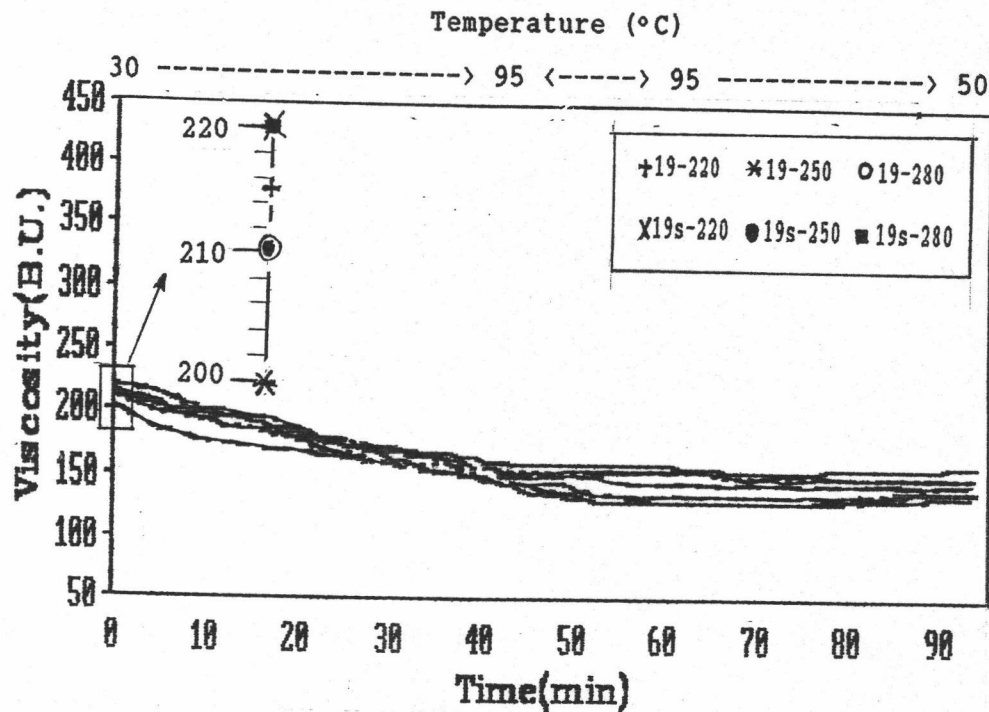


รูปที่ 34 Amylogram ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเปลือกความชื้น 13 % โดยการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำและน้ำเกลือ แล้ว puff ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 35 Amylogram ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเปลือกความชื้น 16 % โดยการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำและน้ำเกลือ แล้ว puff ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ





รูปที่ 36 Amylogram ของแป้งข้าวพองที่ผลิตจากข้าวเปลือกความชื้น 19 % โดยการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำและน้ำเกลือ แล้ว puff ที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ผลิตจากสภาวะต่าง ๆ ตามข้อ 2.3 ใน heating-cooling cycle จะเห็นว่าลักษณะของ Amylogram ที่ได้จะคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 33-36 กล่าวคือ ที่อุณหภูมิ 30°C ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองมีค่าอยู่ในช่วง 135-340 B.U. เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของ paste จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดหนึ่งแล้วเริ่มคงที่และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง cooling สำหรับบางสภาวะที่ำผลิต

เมื่อนำข้อมูลความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่อุณหภูมิ 30 และ 50°C มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติให้ผลดังตารางที่ 21

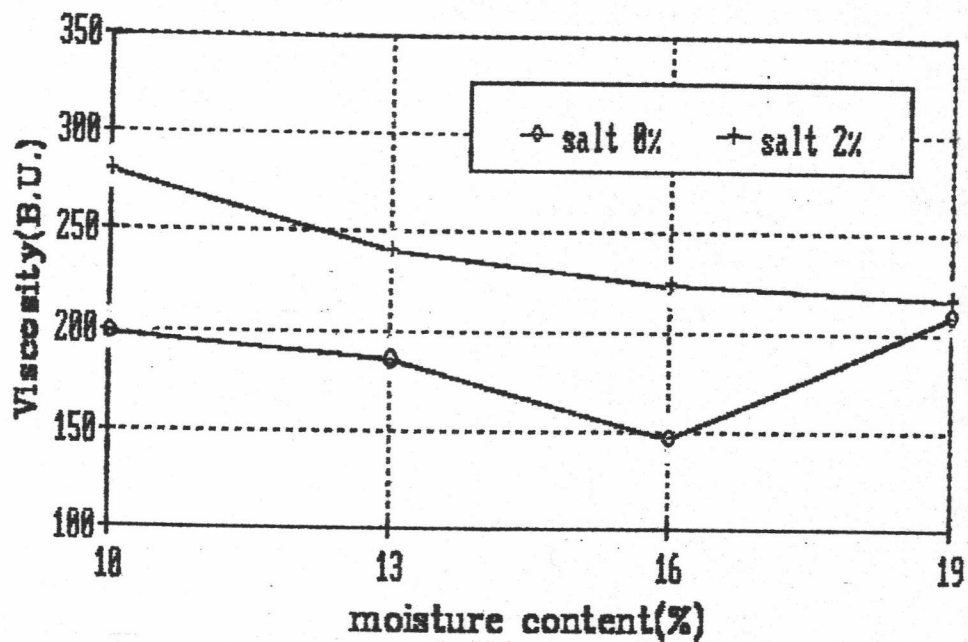
ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดของ paste แบ่งข้าวพอง  
ที่ระดับอุณหภูมิ 30 และ 50°C

SOV	D.F	F	
		ความหนืดของ paste ที่ 30°C	ความหนืดของ paste ที่ 50°C
A (เกลือ)	1	377.47*	162.77*
B (ความชื้น)	3	50.88*	97.74*
C (อุณหภูมิ)	2	0.76	6.99*
AB	3	36.73*	73.95*
AC	2	11.65*	5.62*
BC	6	18.90*	14.29*
error	24		

\* แยกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

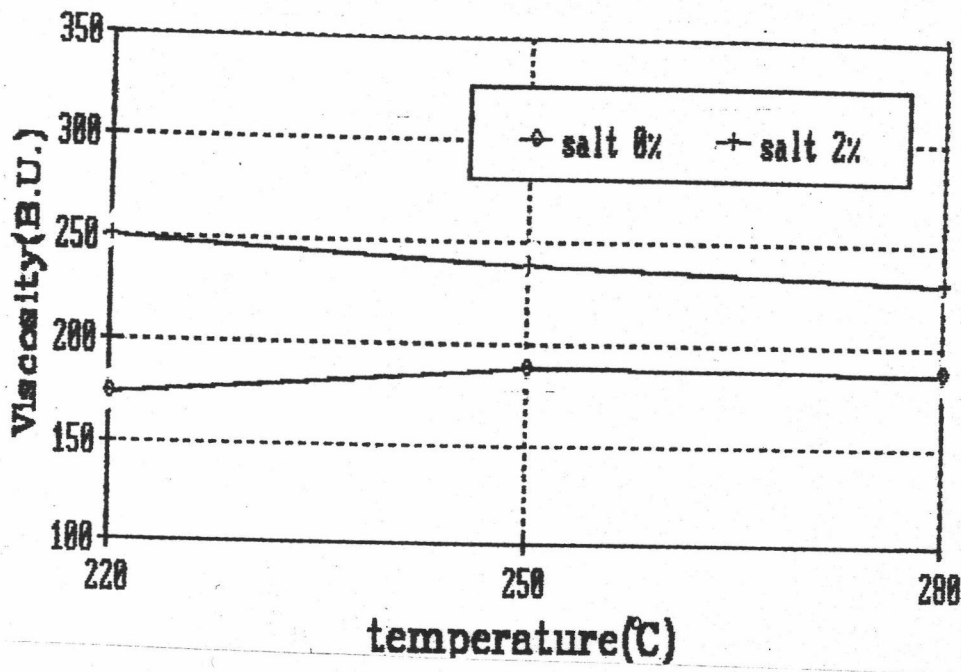
1. ความหนืดของ paste แบ่งข้าวพองที่ 30°C

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังตารางที่ 21 จะเห็นว่า ปัจจัยของเกลือและความชื้นมีนัยสำคัญ ในขณะที่ อุณหภูมิไม่มีผลต่อความหนืดของ paste แบ่งข้าวพอง ส่วนอิทธิพลระหว่างปัจจัยก็มีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 37-39



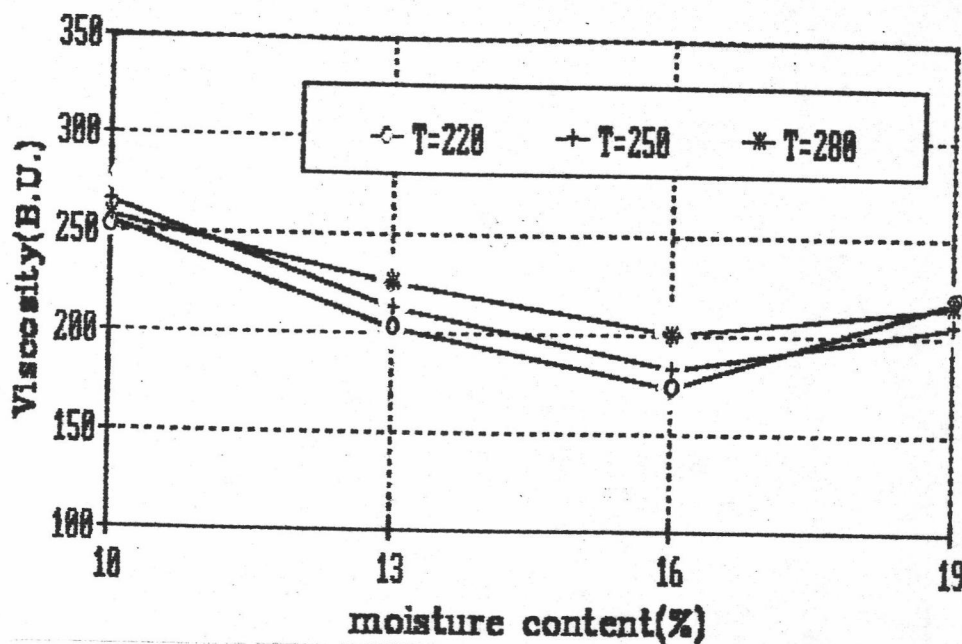
รูปที่ 37 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อความหนืดของ paste  
แป้งข้าวพองที่ 30°C

จากรูปที่ 37 เห็นได้ว่า ที่ทุกระดับความชื้นการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือจะทำให้ paste ที่มีความหนืดสูงกว่าเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ และความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือจะลดลงเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น แต่ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จากการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ จะลดลงเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเป็น 16 % แล้วกลับสูงขึ้นอีก เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้นเป็น 19 %



รูปที่ 38 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 30°C

การปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ เกลือจะทำให้แป้งข้าวพองมีความหนืดของ paste สูงกว่าเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำที่ทุก ๆ ระดับอุณหภูมิในการ puff และความหนืดของ paste แป้งข้าวพองมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น แต่กลับลดลงเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ (ดังรูปที่ 38)



รูปที่ 39 อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพอง ที่ 30°C

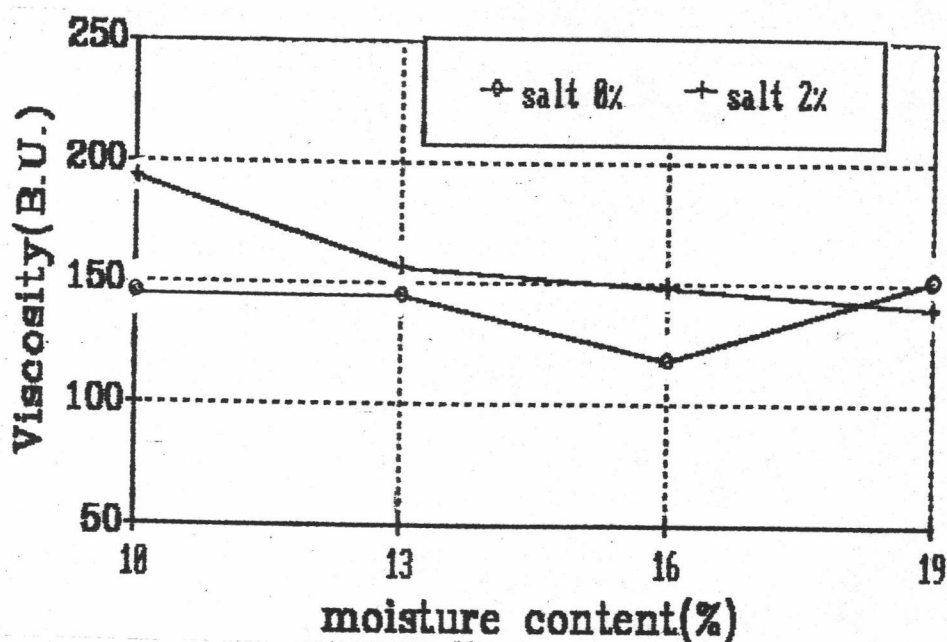
จากรูปที่ 39 เห็นได้ว่า ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ผลิตจากทั้งสามระดับอุณหภูมิในการ puff จะลดลง เมื่อความชื้นของข้าวเปลือกที่ใช่เป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 16 % และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มเป็น 19 % ส่วนผลของอุณหภูมินั้น พบว่า ที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือก 13 และ 16 % ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น ในขณะที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือกเป็น 10 และ 19 % ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จะไม่แตกต่างกัน

จากผลของอิทธิพลร่วม (รูปที่ 37-39) อาจกล่าวได้ว่า เมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือ 2 % จะให้แป้งข้าวพองที่มีความหนืดของ paste ที่ 30°C สูงกว่าการปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำที่ทุก ๆ ระดับความชื้นของข้าวเปลือก และทุกระดับอุณหภูมิที่ใช้ puff โดยความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจะลดลง เมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 16 % แต่กลับมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่มเป็น 19 % และ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ puff สูงขึ้น (220-280°C) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้ก็มีแนวโน้มที่จะสูงตามไปด้วย



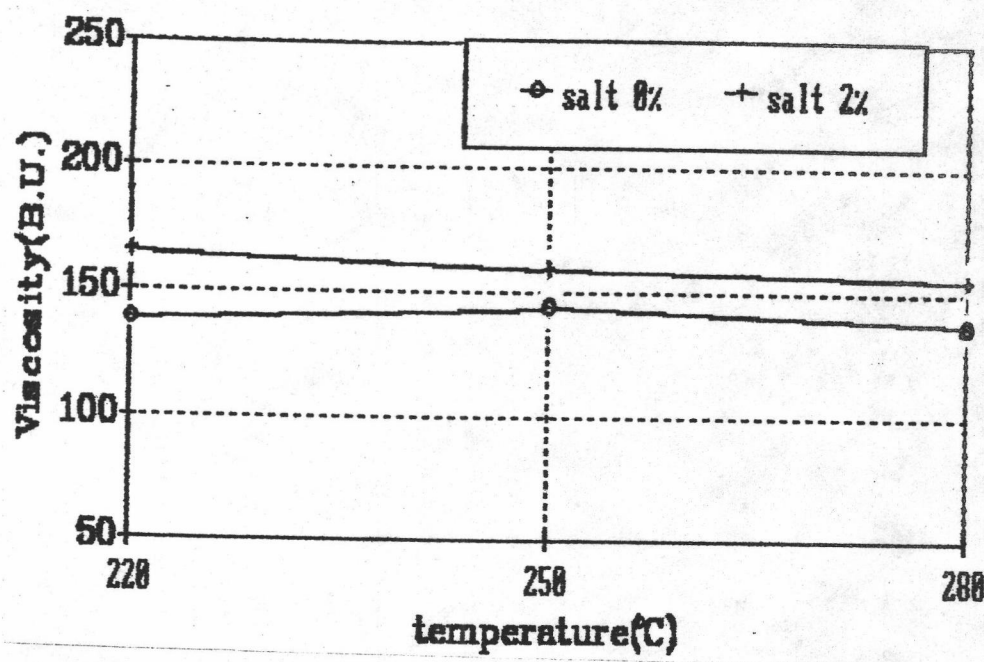
## 2. ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ 50°C

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 21) จะพบว่า ทุกปัจจัยและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลของอิทธิพลร่วมแสดงในรูปที่ 40-42



รูปที่ 40 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและความชื้นต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพอง ที่ 50°C

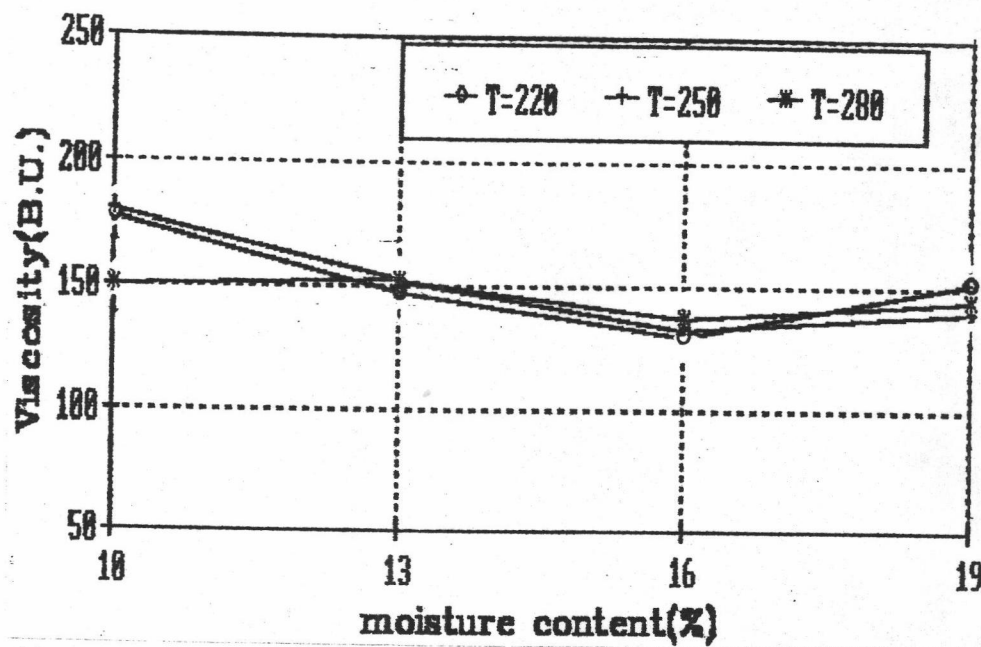
จากรูปที่ 40 จะเห็นว่า เมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำจะให้แป้งข้าวพองที่มีความหนืดของ paste ที่ 50°C ต่ำกว่าเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือ และเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น (10-16 %) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จะลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นของข้าวเปลือกสูงขึ้นเป็น 19 % ในกรณีเมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำ ส่วนในกรณีที่ปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วยน้ำเกลือ ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จะลดลงเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้น



รูปที่ 41 อิทธิพลร่วมระหว่างเกลือและอุณหภูมิต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวทอง ที่ 50°C

จากรูปที่ 41 พบว่า เมื่อปรับความชื้นของข้าวเปลือกด้วย น้ำเกลือจะทำให้แป้งข้าวทองที่มีความหนืดของ paste ที่ 50°C สูงกว่าการปรับความชื้นของข้าว เปลือกด้วยน้ำที่ทุกระดับอุณหภูมิที่ใช้ puff และเมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้น (220-280°C) ความ หนืดของ paste แป้งข้าวทองที่ได้มีแนวโน้มคงที่





รูปที่ 42 อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นและอุณหภูมิต่อความหนืดของ paste แป้งข้าวพอง ที่ 50°C

จากรูปที่ 42 จะเห็นว่า เมื่อความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น (10-16 %) ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองจะลดลง และจะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นเพิ่ม เป็น 19 % ส่วนผลของอุณหภูมิ พบว่าความหนืดของ paste แป้งข้าวพองที่ได้จากแต่ละระดับอุณหภูมิ จะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่ระดับความชื้น 10 % แป้งข้าวพองที่ผลิตได้จากระดับอุณหภูมิ 280°C จะให้ความหนืดของ paste แป้งข้าวพองต่ำกว่าระดับอุณหภูมิ 220 และ 250°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )