บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ คือ MDCMชนิดไม่ล้าง MDCM ชนิดล้าง และปลายข้าวเจ้า สมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และ ไขมัน ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 (ภาคผนวก ค.1)

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของ MDCMชนิดไม่ล้าง และล้าง

ชนิด MDCM	ค่าเฉลี่ย* ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
MDCM ไม่ล้าง	$62.59^{b} \pm 0.06$	$14.58^{a} \pm 0.83$	$46.23^{a} \pm 1.21$
MDCM ล้าง	$79.41^{a} \pm 0.15$	$9.84^{b} \pm 0.97$	$5.41^{b} \pm 1.75$

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของปลายข้าวเจ้า

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น (%)	11.82 ± 0.02
โปรตีน (%)	8.45 ± 0.96
ไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.48 ± 0.74

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า MDCM ชนิดไม่ล้าง และล้าง มีค่าเฉลี่ยความชื้น โปรตีน และไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

4.2.1 เปรียบเทียบสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ MDCMชนิดไม่ล้าง และ MDCM ชนิดล้าง

ศึกษาสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ MDCM มาทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตร โดยใช้ MDCMชนิดไม่ล้างและล้าง ทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้า 10%

สูตรที่ 1 คือ สูตรที่ใช้ MDCM ชนิดไม่ล้าง ทดแทนปริมาณข้าวเจ้า 10%

สูตรที่ 2 คือ สูตรที่ใช้ MDCM ชนิดล้าง ทดแทนปริมาณข้าวเจ้า 10%

- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ สมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และไขมัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 (ภาคผนวก ค.2)
- วัดค่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 (ภาคผนวก ค.3)
- ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 (ภาคผนวก ค.4)

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงเฉลี่ยค่าองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชื้น ns (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)
สูตรที่ 1	1.92 ± 0.03	13.97[a] ± 0.75	1.71[a] ± 0.84
สูตรที่ 2	1.90 ± 0.07	11.51[b] ± 0.62	1.42[b] ± 0.42

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ในสูตรที่ 1 และ 2 ให้ค่าความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันของทั้ง 2 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติ($p\leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความหนาแน่นปรากฏ ns (g/cm^3)	อัตราการพองตัว ns	แรงตัดขาด ns (g/cm^2)
สูตรที่ 1	0.072 ± 0.85	4.29 ± 1.21	1.95 ± 0.69
สูตรที่ 2	0.064 ± 0.71	4.33 ± 1.32	1.86 ± 0.75

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าทั้ง 2 สูตร ให้ค่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ ns	เนื้อสัมผัส ns
สูตรที่ 1	$4.72^b \pm 0.14$	$1.15^b \pm 0.13$	8.46 ± 0.14	8.44 ± 0.26
สูตรที่ 2	$6.25^a \pm 0.22$	$6.47^a \pm 0.27$	8.62 ± .011	8.21 ± 0.22

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าสูตรทั้งสองได้คะแนนด้านสี และกลิ่นแตกต่างกันยย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสทั้ง 2 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่าผลิตภัณฑ์มีรสชาติจืด ซึ่งคงมีสาเหตุมาจากวัตถุดิบหลักที่ใช้คือปลายข้าวเจ้าที่ไม่มีรสชาติ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารว่างมักจะเป็นข้าวโพด หรือมันชนิดต่างๆ ซึ่งจะมีรสหวานในตัวเล็กน้อย ในการทดลองขั้นต่อไปผู้วิจัยจึงทดลองเติมน้ำตาลลงไปในสูตร โดยใช้น้ำตาลที่ 2 และ 4% เพื่อปรับปรุงรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น

4.2.2 หาปริมาณ MDCM ที่เหมาะสมที่ใช้ได้ในผลิตภัณฑ์

แปรปริมาณ MDCM ชนิดล้าง มาทดแทนปริมาณปลายข้าวเจ้าในสูตร โดยใช้ MDCM ปริมาณ 5% , 10% , 15% และ 20% และแปรปริมาณน้ำตาลในสูตร 2% และ 4% ได้สูตร 8 สูตร (แสดงในตารางที่ 3.1)

- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ สมบัติที่วิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น โปรตีน และไขมัน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 (ภาคผนวก ค.5-ค.7)
- วัดค่าลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 (ภาคผนวก ค.8-ค.10)
- ทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝนจำนวน 15 คน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.8(ภาคผนวก ค.11-ค.15)

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชื้น ^{ns} (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%โดยน้ำหนักแห้ง)
1	1.91 ± 0.32	11.05^{b} ± 0.27	1.34^{b} ± 0.81
2	1.90 ± 0.23	11.02^{b} ± 0.34	1.32^{b} ± 0.27
3	1.93 ± 0.25	11.32^{b} ± 0.61	1.45^{ab} ± 1.02
4	1.92 ± 0.24	11.36^{b} ± .051	1.48^{ab} ± 0.62
5	1.92 ± 0.17	12.58^{ab} ± 0.47	1.57^{a} ± 0.64
6	1.96 ± 0.18	12.61^{ab} ± 0.62	1.54^{a} ± 0.47
7	1.95 ± 0.09	14.08^{a} ± 0.19	1.59^{a} ± 0.73
8	1.94 ± 0.12	13.94^{a} ± 0.31	1.65^{a} ± 0.96

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผลิตขึ้นทุกสูตรมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในด้านปริมาณโปรตีนและไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	อัตราการพองตัว	แรงตัดขาด (g/cm^2)
1	$0.044^{c} \pm 0.23$	$5.12^{a} \pm 0.45$	$1.81^{b} \pm 0.21$
2	$0.045^{c} \pm 0.29$	$5.05^{a} \pm 0.31$	$1.86^{b} \pm 0.45$
3	$0.052^{bc} \pm 0.14$	$4.95^{ab} \pm 0.22$	$1.89^{b} \pm 0.32$
4	$0.058^{b} \pm 0.32$	$4.89^{ab} \pm 0.31$	$1.90^{b} \pm 0.64$
5	$0.066^{b} \pm 0.31$	$4.71^{b} \pm 0.21$	$1.92^{b} \pm 0.25$
6	$0.065^{b} \pm 0.19$	$4.65^{b} \pm 0.32$	$1.93^{b} \pm 0.41$
7	$0.094^{a} \pm 0.12$	$3.45^{c} \pm 0.33$	$2.75^{a} \pm 0.34$
8	$0.096^{a} \pm 0.23$	$3.52^{c} \pm 0.24$	$2.95^{a} \pm 0.92$

a , b , c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าการผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้ปลายข้าวเจ้า MDCM และน้ำตาล ในปริมาณที่แตกต่างกันจะให้ค่าความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

สูตร	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี	กลิ่น ns	รสชาติ ns	ลักษณะปรากฏ ns	เนื้อสัมผัส ns
1	$6.35^{c} \pm 0.42$	5.23 ± 0.26	6.25 ± 0.14	8.59 ± 0.41	8.63 ± 0.05
2	$6.25^{c} \pm 0.25$	5.14 ± 0.32	6.28 ± 0.48	8.67 ± 0.25	8.57 ± 0.24
3	$6.81^{b} \pm 0.21$	5.31 ± 0.62	6.31 ± 0.61	8.64 ± 0.25	8.71 ± 0.26
4	$6.51^{c} \pm 0.42$	5.24 ± 0.35	6.34 ± 0.74	8.54 ± 0.04	8.64 ± 0.54
5	$7.20^{ab} \pm 0.21$	5.26 ± 0.84	6.54 ± 0.62	$8.43 \pm .0.31$	8.77 ± 0.36
6	$7.24^{ab} \pm 0.34$	5.22 ± 0.21	6.24 ± 0.28	8.51 ± 0.26	8.65 ± 0.24
7	$7.56^{a} \pm 0.61$	5.15 ± 0.39	6.48 ± 0.69	8.65 ± 0.17	8.75 ± 0.51
8	$7.58^{a} \pm 0.51$	5.12 ± 0.34	6.48 ± 0.41	8.56 ± 0.35	8.64 ± 0.42

a , b , c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างที่ผลิตโดยใช้สูตรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เฉพาะด้านสีเท่านั้น ส่วนด้านกลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมะสมที่ใช้ในการผลิต

จากผลการทดลองที่ได้ในข้อ 4.2.2 เลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ สูตรที่ใช้ปลายข้าวเจ้า 83% MDCM 15% น้ำตาล 2% นำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต โดยศึกษาตัวแปรที่ใช้ในการผลิต 3 ชนิด คือ ความชื้นของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่อง ความเร็วรอบของสกรู และอุณหภูมิของแบร์เรล แปรปัจจัยทั้ง 3 ที่ระดับต่างๆ ดังนี้

- ความชื้น (X_1) ที่ระดับ 14 % , 15 % และ 16 %
- ความเร็วของสกรู (X_2) ที่ระดับ 250 , 300 และ 350 รอบ / นาที
- อุณหภูมิของแบร์เรล (X_3) ที่ระดับ 120 , 130 และ 140 $^{\circ}$C

ทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง (แสดงในตารางที่ 3.2) วัดค่าลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว และแรงตัดขาด ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

สภาวะการผลิต	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	อัตราการพองตัว	แรงตัด (g/cm^2)
1	0.094 ± 0.26	3.04 ± 0.28	1.96 ± 0.18
2	0.120 ± 0.21	3.14 ± 0.27	2.19 ± 0.24
3	0.054 ± 0.31	3.72 ± 0.19	1.00 ± 0.14
4	0.041 ± 0.12	4.15 ± 0.21	0.75 ± 0.28
5	0.032 ± 0.19	4.77 ± 0.28	0.44 ± 0.31
6	0.074 ± 0.27	3.52 ± 0.25	1.61 ± 0.27
7	0.074 ± 0.24	3.38 ± 0.31	1.75 ±0.24
8	0.082 ± 0.26	3.64 ± 0.21	1.80 ± 0.26
9	0.068 ± 0.13	3.74 ± 0.24	1.20 ± 0.22
10	0.028 ± 0.18	4.54 ± 0.18	0.41 ± 0.31
11	0.104 ± 0.31	3.06 ± 0.16	2.37 ± 0.24
12	0.072 ± 0.26	3.57 ± 0.28	1.44 ± 0.25
13	0.047 ± 0.27	4.25 ± 0.18	0.60 ± 0.19
14	0.048 ± 0.13	4.37 ± 0.34	0.62 ± 0.18
15	0.047 ± 0.24	4.28 ± 0.27	0.58 ± 0.15

จากผลการทดลองข้างต้นนำค่าที่ได้มาสร้างสมการความสัมพันธ์ที่ได้ในด้านต่างๆ ได้สมการดังนี้

ความหนาแน่นปรากฏ

$$Y = 0.0006X_1 - 0.0035X_2 + 0.00595X_3 + 0.0034X_1^2 - 0.0068X_1X_3$$

$(R^2 = 0.9517)$ $(p \leq 0.01)$

อัตราการพองตัว

$$Y = 0.5437X_1 + 0.1102X_2 - 0.1119X_3 - 0.0754X_1^2 - 0.0001X_2^2 + 0.0009X_1X_2 + 0.0209X_1X_3 \quad (R^2 = 0.9845)\ (p \leq 0.01)$$

แรงตัดขาด

$$Y = 0.1457X_1 - 0.0341X_2 + 0.0346X_3 + 0.0897X_1^2 - 0.0172X_1X_3 \quad (R^2 = 0.9672)\ (p \leq 0.01)$$

จากสมการที่ได้นำมาสร้างกราฟ contour plot โดยกำหนดให้ความชื้นของวัตถุดิบขณะป้อนเข้าเครื่องคงที่ที่ 14 , 15 และ 16% ได้กราฟต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.9

จากกราฟที่ได้นำมาซ้อนเพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิต โดยซ้อนกราฟทีละชุดของค่าคายภาพที่วัดได้

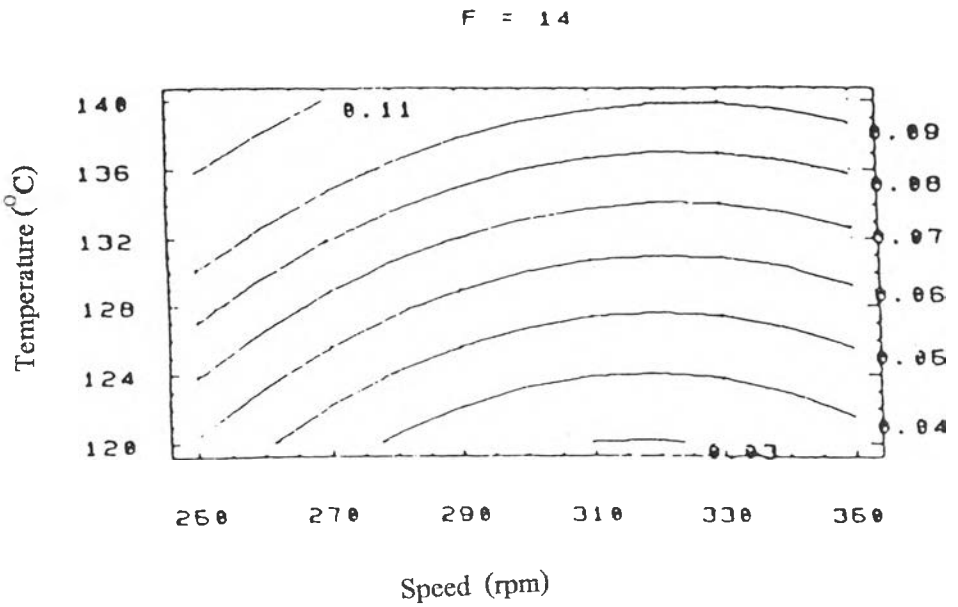
รูปที่ 4.1 – 4.3 ซ้อนกันแล้วเลือกช่วงสภาวะที่ให้ค่าความหนาแน่นปรากฏที่ดีคือ ในช่วง 0.05 - 0.07 g / cm^3

รูปที่ 4.4 – 4.6 ซ้อนกันแล้วเลือกช่วงสภาวะที่ให้ค่าอัตราการพองตัวที่ดีคือในช่วง 3.8 – 4.2

รูปที่ 4.7 – 4.9 ซ้อนกันแล้วเลือกช่วงสภาวะที่ให้ค่าแรงตัดขาดที่ดีคือในช่วง 0.9- 1.2 g /cm^2

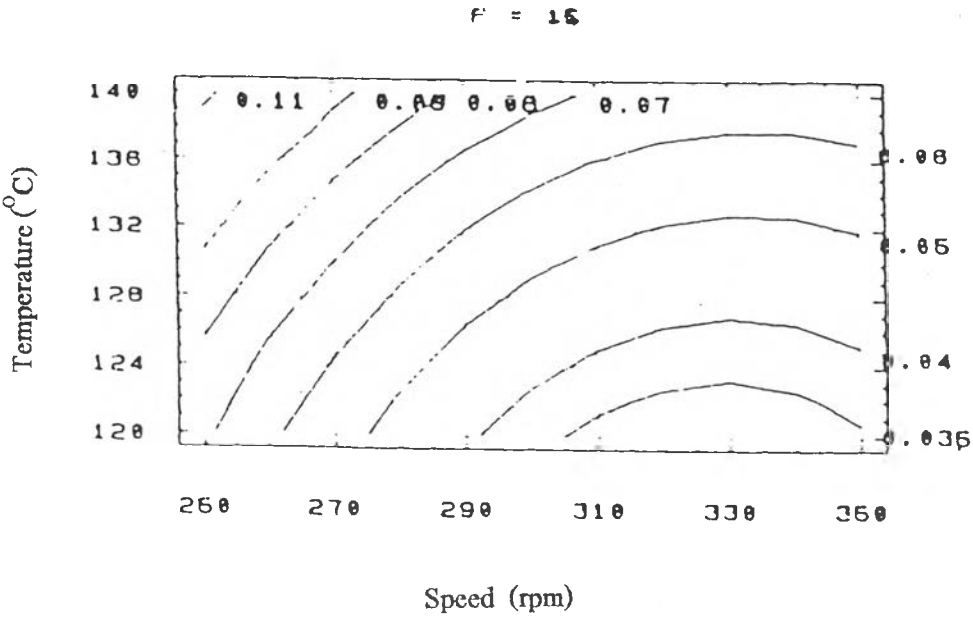
สร้างสเกลใหม่โดยให้แกน x คือความเร็วรอบสกรู (250-350 รอบ / นาที) แกน y คืออุณหภูมิ (120-140 °C) นำช่วงที่เลือกได้จากกราฟทั้ง 3 ชุดมาวาดซ้อนกันอีกครั้งหนึ่ง เลือกสภาวะภายในกรอบที่ซ้อนกันทั้ง 3 เป็นสภาวะการผลิตที่เหมาะสม

I20540218



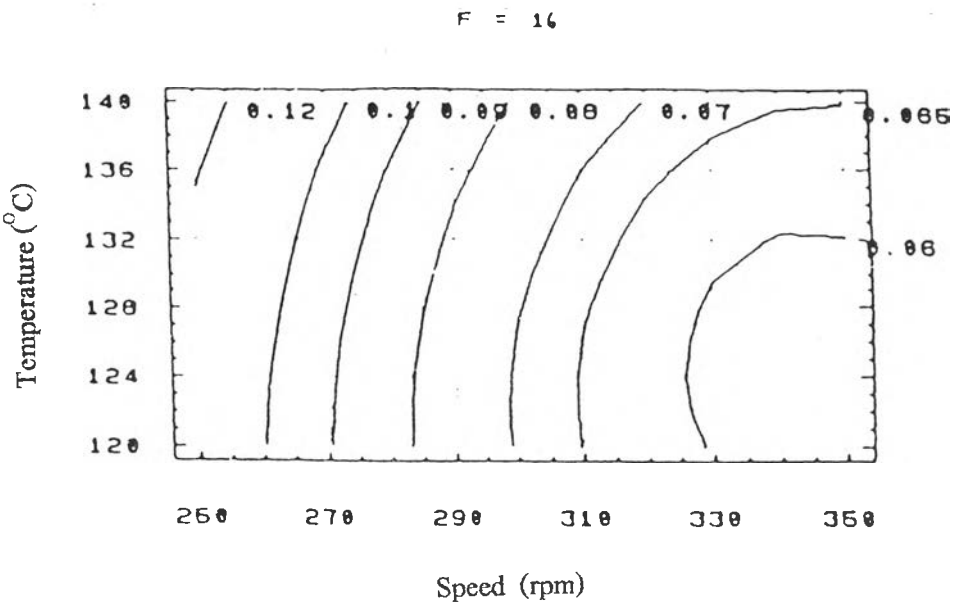
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นปรากฏ เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 14%

จากกราฟพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นปรากฏจะเพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นความหนาแน่นปรากฏจะลดลง



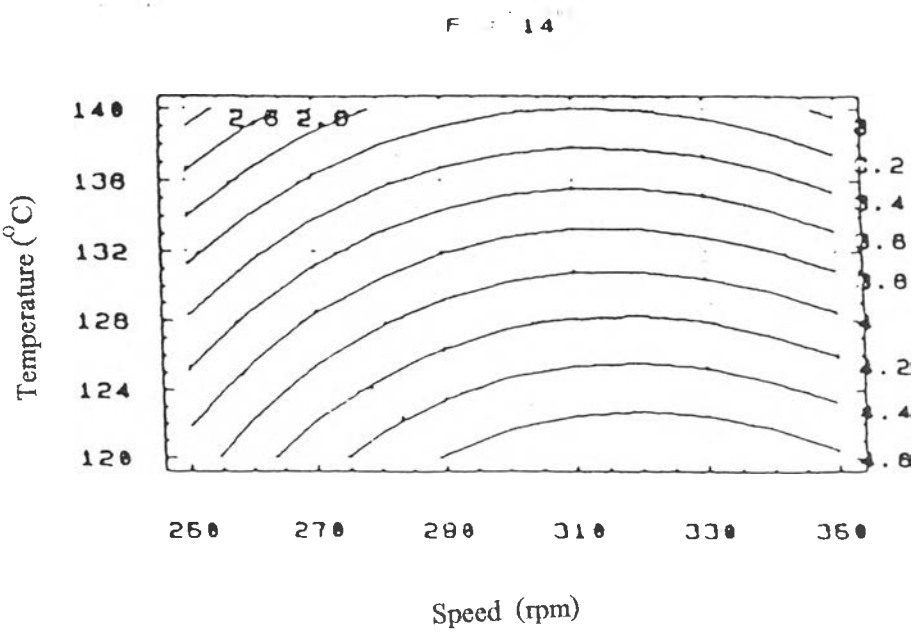
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นปรากฏ เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 15%

จากกราฟเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความหนาแน่นปรากฏจะเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มความเร็วรอบสกรู ความหนาแน่นปรากฏจะลดลง



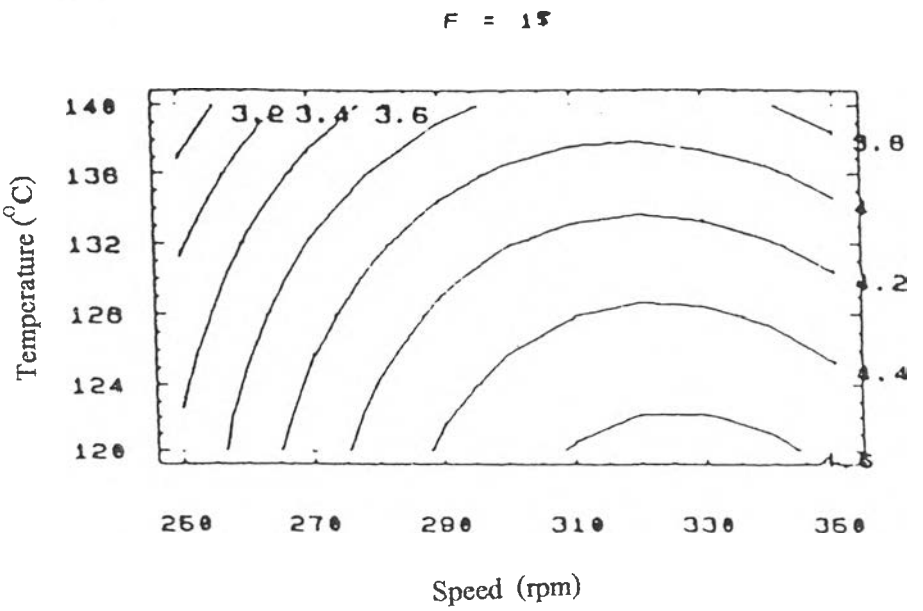
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นปรากฏ เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 16%

จากกราฟเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าความหนาแน่นปรากฏจะลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับผลของการเพิ่มความเร็วรอบสกรู



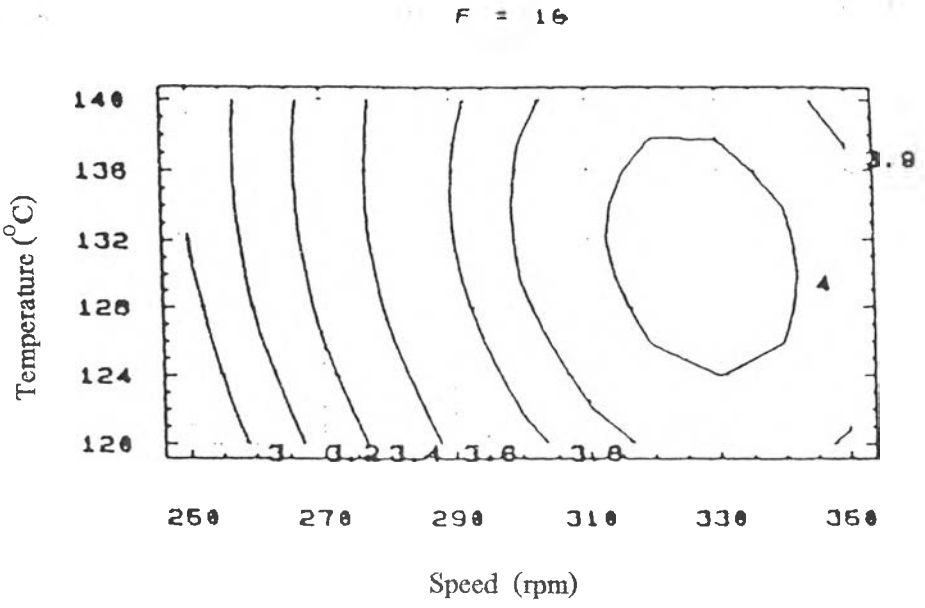
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าอัตราการพองตัว เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 14%

จากกราฟเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการพองตัวจะลดลง แต่ถ้าความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการพองตัวเพิ่มขึ้น



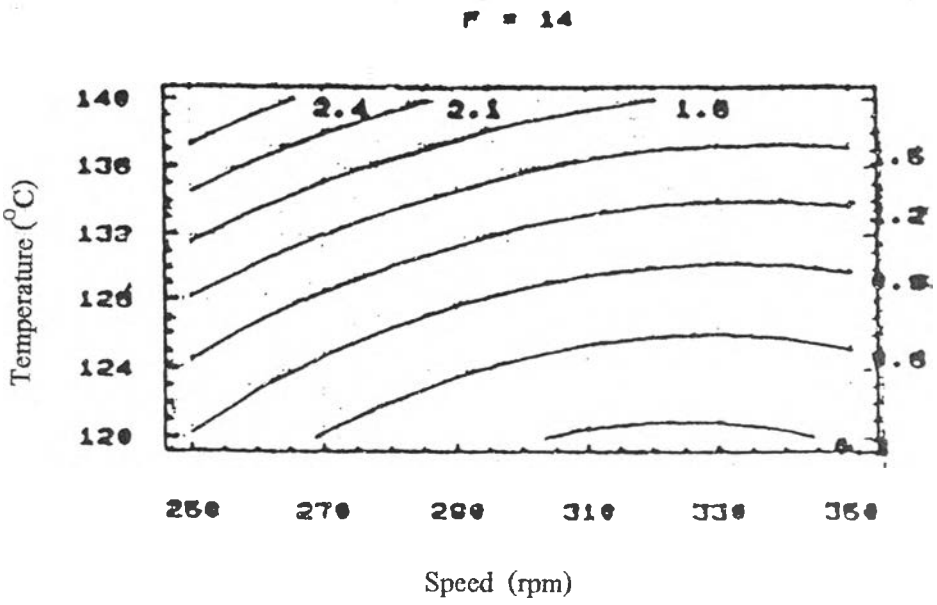
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอัตราการพองตัว เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 15%

จากกราฟเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าอัตราการพองตัวจะลดลง แต่ถ้าความเร็วรอบสกรูเพิ่มขึ้นค่าอัตราการพองตัวจะเพิ่มขึ้น



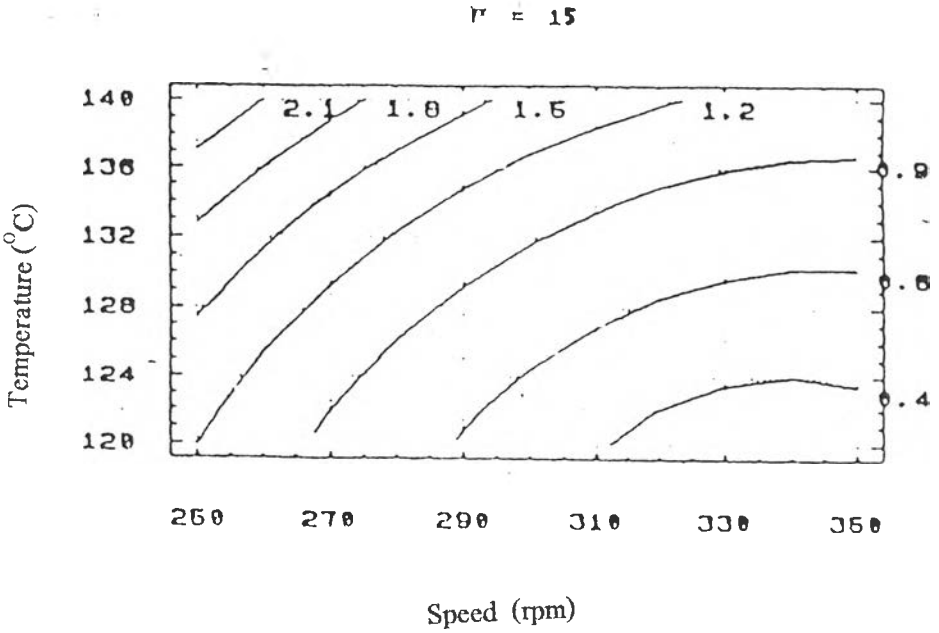
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าอัตราการพองตัว เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 16%

จากกราฟการเพิ่มของอุณหภูมิจะทำให้อัตราการพองตัวไม่เพิ่มมาก เมื่อเทียบกับผลของการเพิ่มความเร็วรอบสกรู



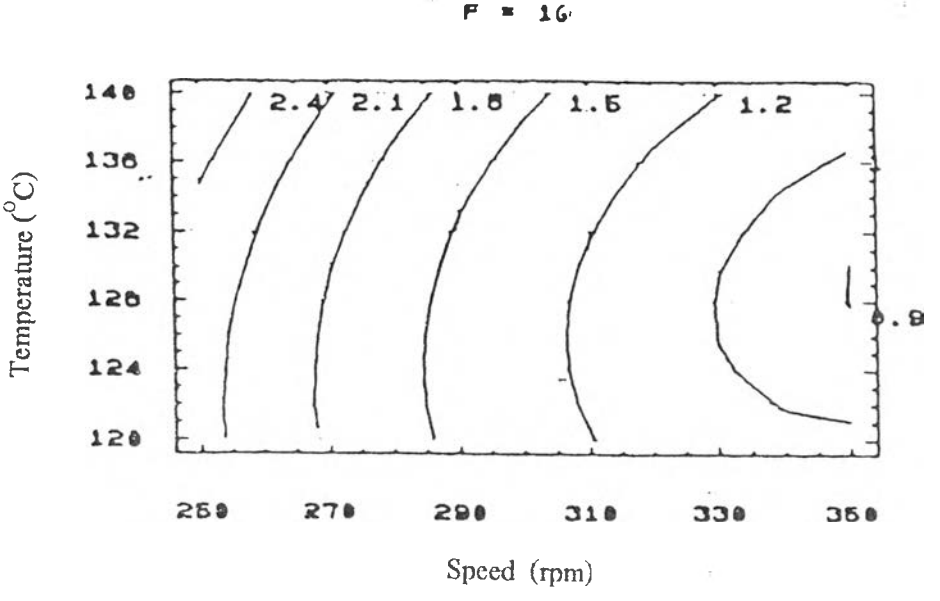
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าแรงตัดขาด เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 14%

จากกราฟเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าแรงตัดจะเพิ่มมากขึ้น และมีผลมากกว่าการเพิ่มความเร็วรอบของสกรู



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าแรงตัดขาด เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 15%

จากกราฟเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและความเร็วรอบสกรูค่าแรงตัดขาดจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าแรงตัดขาด เมื่อกำหนดค่าความชื้นคงที่ที่ 16%

จากกราฟการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ค่าแรงตัดขาดลดลงไม่มากเมื่อเทียบกับผลของการเพิ่มความเร็วรอบสกรู

จากการซ้อนกราฟเลือกสภาวะซึ่งอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมในการผลิตได้ 3 สภาวะคือ

- สภาวะที่ 1 ความชื้นของวัตถุดิบ 15% ความเร็วรอบของสกรู 275 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 125 °C
- สภาวะที่ 2 ความชื้นของวัตถุดิบ 15% ความเร็วรอบของสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 135 °C
- สภาวะที่ 3 ความชื้นของวัตถุดิบ 16% ความเร็วรอบของสกรู 350 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 130 °C

นำตัวอย่างที่ได้จากสภาวะการผลิตทั้ง 3 ไปวัดค่าลักษณะทางกายภาพ คือ ความหนาแน่นปรากฏ อัตราการพองตัว แรงตัด และทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.10 และ 4.11(ภาคผนวก ค.16-ค.17)

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยลักษณะต่างๆทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

สภาวะการผลิต	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความหนาแน่นปรากฏ^{ns} (g / cm^3)	อัตราการพองตัว^{ns}	แรงตัดขาด^{ns} (g / cm^2)
1	0.069 ± 0.23	3.67 ± 0.32	1.18 ± 0.21
2	0.059 ± 0.28	3.73 ± 0.25	0.90 ± 0.14
3	0.070 ± 0.17	3.77 ± 0.29	1.20 ± 0.26

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

สภาวะการผลิต	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี ns	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ ns	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
1	8.22 ±0.25	7.06±0.42^{ab}	8.25±0.14	8.03±0.12^{b}	7.06±0.24^{b}
2	8.31±0.32	7.31±0.48^{a}	8.31±0.30	8.62±0.24^{a}	7.50±0.31^{a}
3	8.25±0.21	6.88±0.21^{b}	8.15±0.22	7.81±0.24^{b}	6.92±0.23^{b}

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนด้านสีและลักษณะปรากฏไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ในด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จาก 3 สภาวะการผลิตที่เลือกไว้ เมื่อศึกษาผลของลักษณะทางกายภาพพบว่าทั้ง 3 สภาวะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าในสภาวะการผลิตที่ 2 ได้คะแนนด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงกว่าสภาวะการผลิตอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะการผลิตที่ 2 คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิ 135 °C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผลิตเพื่อศึกษาในขั้นต่อไป

4.4 ศึกษากลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองในข้อ 4.2.2 สูตรที่เลือกได้คือ สูตรที่ใช้ ปลายข้าวเจ้า 83% MDCM 15% น้ำตาล 2% และสภาวะการผลิตที่ได้จากการทดลองข้อ 4.3 คือ ความชื้นของวัตถุดิบเข้าเครื่อง 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิแบร์เรล 135 °C นำสูตรและสภาวะการผลิตที่ได้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาเคลือบ flavor 6 ชนิด คือ ปลา บาร์ บี คิว ไก่ พิซซ่า paprika และ sweet paprika หา flavor ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบ 50 คน เรียงลำดับความชอบของตัวอย่างทั้ง 6 ชนิด ด้วยวิธี Ranking test ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 (ภาคผนวก ค.18)

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงคะแนนเฉลี่ยของการเรียงลำดับความชอบกลิ่นรสชนิดต่างๆ

ชนิดของ flavor	คะแนน Ranking เฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	คะแนนแปลงเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปลา	$5.32^{a} \pm 0.88$	$0.60^{a} \pm 0.88$
ไก่	$2.20^{c} \pm 1.06$	$-0.89^{c} \pm 1.06$
พิซซ่า	$2.60^{c} \pm 1.23$	$-0.32^{c} \pm 1.23$
บาร์ บี คิว	$2.26^{c} \pm 1.16$	$-0.43^{c} \pm 1.16$
Paprika	$4.20^{b} \pm 1.20$	$0.45^{b} \pm 1.20$
Sweet paprika	$4.42^{b} \pm 1.04$	$0.58^{b} \pm 1.04$

a , b , c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่ากลิ่นรสไก่ บาร์ บี คิว และ พิซซ่า ได้คะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่อยู่ในกลุ่มที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุด จึงนำ 3 กลิ่นรสนี้ไปทดสอบใหม่อีกครั้งหนึ่งโดยใช้ผู้ทดสอบ 50 คน เรียงลำดับความชอบของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ด้วยวิธี Ranking test ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13 (ภาคผนวก ค.19)

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงคะแนนเฉลี่ยของการเรียงลำดับความชอบกลิ่นรสชนิดต่างๆ

ชนิดของ flavor	คะแนน Ranking เฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน	คะแนนแปลงเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน
ไก่	$1.56^{b} \pm 0.80$	$-0.13^{b} \pm 0.80$
พิซซ่า	$2.24^{a} \pm 0.76$	$0.35^{a} \pm 0.76$
บาร์ บี คิว	$2.20^{a} \pm 0.69$	$-0.11^{a} \pm 0.69$

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดสอบพบว่ากลิ่นรสไก่ได้คะแนนสูงสุดและแตกต่างจากกลิ่นรสทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกกลิ่นรสไก่เป็นกลิ่นรสที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์

4.5 <u>ทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์</u>

จากผลการทดลองในข้อ 4.2.2 สูตรที่เลือกได้คือ สูตรที่ใช้ ปลายข้าวเจ้า 83% MDCM 15% น้ำตาล 2% สภาวะการผลิตที่ได้จากการทดลองข้อ 4.3 คือ ความชื้นของวัตถุดิบเข้าเครื่อง 15% ความเร็วรอบสกรู 300 รอบ / นาที และอุณหภูมิแบร์เรล 130 °C และกลิ่นรสไก่ที่เลือกได้จากการทดลองข้อ 4.4 นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบ แล้วทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบอายุระหว่าง 10 – 15 ปี จำนวน 100 คน ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส(*)

คะแนนเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน					
สี	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	การยอมรับรวม
8.45±0.05	7.32 ± 1.02	8.25 ± 0.01	8.64 ± 0.87	8.20± 0.94	8.37 ± 0.36

* คะแนนจาก 9 – point hedonic scale

4.6 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาได้

นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ผลิตได้

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ค่าเฉลี่ย * ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	2.44 ± 0.27
โปรตีน	12.03 ± 0.51
ไขมัน	15.19 ± 0.63
เถ้า	3.09 ± 0.32
คาร์โบไฮเดรต	67.25 ± 0.00

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.7 <u>ศึกษาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา</u>

นำผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาได้มาบรรจุในภาชนะบรรจุ 2 ชนิด คือ ถุงที่ทำจากฟิล์ม OPP / Dry / MCPP และ OPP / MPEP / CPP เก็บที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 25.6°C – 29.4°C และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 68 – 76%

วิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านต่างๆ ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 3 เดือน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.15 , 4.16 และ 4.17 (ภาคผนวก ค.20-ค.23)

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงความชื้น แรงตัดขาด และค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์	ค่าเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ความชื้น (%)		แรงตัดขาด (g / cm^2)		TBA (mg malonaldehyde / kg fat)	
	OPP / Dry / MCPP	OPP/ MPEP/ CPP	OPP / Dry / MCPP	OPP/ MPEP/ CPP	OPP / Dry / MCPP	OPP / MPEP / CPP
0	2.43 ± 0.13^{f}	2.43 ± 0.13^{f}	0.93 ± 0.35^{f}	0.93 ± 0.35^{d}	0.071 ± 0.24^{h}	0.071 ± 0.24^{f}
1	2.50 ± 0.21^{f}	2.47 ± 0.22^{f}	0.95 ± 0.41^{f}	0.95 ± 0.28^{d}	0.077 ± 0.26^{h}	0.072 ± 0.35^{f}
2	2.62 ± 0.15^{ef}	2.59 ± 0.26^{ef}	1.02 ± 0.29^{e}	0.98 ± 0.36^{d}	0.082 ± 0.37^{g}	0.083 ± 0.41^{e}
3	2.71 ± 0.32^{e}	2.62 ± 0.10^{e}	1.09 ± 0.31^{e}	1.03 ± 0.42^{cd}	0.091 ± 0.28^{g}	0.084 ± 0.28^{e}
4	2.76 ± 0.14^{e}	2.65 ± 0.19^{e}	1.12 ± 0.27^{de}	1.07 ± 0.27^{cd}	0.102 ± 0.14^{fg}	0.089 ± 0.36^{e}
5	2.83 ± 0.23^{d}	2.70 ± 0.31^{d}	1.17 ± 0.32^{d}	1.09 ± 0.37^{cd}	0.116 ± 0.38^{f}	0.091 ± 0.42^{e}
6	2.89 ± 0.17^{cd}	2.76 ± 0.25^{c}	1.20 ± 0.24^{d}	1.13 ± 0.51^{c}	0.145 ± 0.29^{e}	0.094 ± 0.28^{c}
7	2.94 ± 0.21^{c}	2.86 ± 0.15^{c}	1.22 ± 0.31^{d}	1.15 ± 0.40^{c}	0.221 ± 0.42^{d}	0.103 ± 0.23^{de}
8	3.08 ± 0.25^{c}	2.91 ± 0.32^{bc}	1.30 ± 0.30^{c}	1.18 ± 0.33^{bc}	0.243 ± 0.15^{c}	0.121 ± 0.24^{d}
9	3.42 ± 0.36^{b}	3.06 ± 0.28^{b}	1.38 ± 0.26^{b}	1.24 ± 0.35^{b}	0.276 ± 0.27^{b}	0.204 ± 0.19^{c}
10	3.71 ± 0.12^{ab}	3.15 ± 0.14^{ab}	1.42 ± 0.47^{ab}	1.27 ± 0.26^{b}	0.298 ± 0.32^{ab}	0.226 ± 0.21^{b}
11	3.79 ± 0.08^{ab}	3.22 ± 0.27^{ab}	1.46 ± 0.29^{a}	1.32 ± 0.23^{a}	0.302 ± 0.31^{a}	0.235 ± 0.25^{ab}
12	3.82 ± 0.24^{a}	3.34 ± 0.21^{a}	1.47 ± 0.34^{a}	1.35 ± 0.41^{a}	0.314 ± 0.27^{a}	0.243 ± 0.32^{a}

a , b , ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์ม OPP/ Dry / MCPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	คะแนนเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	สี ns	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ ns	รสชาติ ns	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
0	8.65 ± 0.25	7.52 ± 0.59^{a}	8.35 ± 0.39	8.54 ± 0.36	8.49 ±0.34^{a}	8.56 ±0.42^{a}
1	8.67 ± 0.31	7.48 ± 0.17^{a}	8.41 ± 0.57	8.49 ± 0.15	8.51 ±0.62^{a}	8.62 ±0.51^{a}
2	8.65 ± 0.15	7.59 ± 0.28^{a}	8.36 ± 0.74	8.52 ± 0.37	8.46 ±0.61^{a}	8.61 ±0.48^{a}
3	8.67 ± 0.27	7.32 ± 0.45^{b}	8.37 ± 0.27	8.45 ± 0.18	8.42 ±0.27^{a}	8.54 ±0.61^{a}
4	8.59 ± 0.41	7.38 ± 0.62^{b}	8.35 ± 0.92	8.51 ± 0.68	8.44 ±0.35^{a}	8.23±0.24^{ab}
5	8.69 ± 0.51	7.35 ± 0.29^{b}	8.42 ± 0.51	8.59 ± 0.31	8.51 ±0.74^{a}	8.36±0.62^{ab}
6	8.62 ± 0.14	7.41 ± 0.38^{ab}	8.29 ± 0.22	8.49 ± 0.42	8.46 ±0.41^{a}	8.39±0.41^{ab}
7	8.64 ± 0.53	7.28 ± 0.45^{b}	8.30 ± 0.64	8.58 ± 0.28	7.68 ±0.62^{b}	8.26±0.42^{ab}
8	8.62 ± 0.47	7.27 ± 0.26^{b}	8.34 ± 0.25	8.47 ± 0.56	7.59 ±0.51^{b}	8.01 ±0.57^{b}
9	8.67 ± 0.28	7.21 ± 0.61^{b}	8.36 ± 0.16	8.57 ± 0.21	7.44 ±0.64^{b}	8.12 ±0.14^{b}
10	8.69 ± 0.54	6.95 ± 0.37^{c}	8.37 ± 0.29	8.48 ± 0.25	7.52 ±0.25^{b}	7.85 ±0.42^{c}
11	8.61 ± 0.36	6.86 ± 0.51^{c}	8.25 ± 0.57	8.56 ± 0.32	7.48 ±0.37^{b}	7.76 ±0.35^{c}
12	8.64 ± 0.39	6.94 ± 0.34^{c}	8.37 ± 0.19	8.48 ± 0.24	7.50 ±0.54^{b}	7.64 ±0.28^{c}

a , b , c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดฟิล์ม OPP / MPEP / CPP เป็นเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	คะแนนเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	สี [ns]	กลิ่น	ลักษณะปรากฏ [ns]	รสชาติ [ns]	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
0	8.65 ± 0.25	7.52 ± 0.59^{a}	8.35 ± 0.39	8.54 ± 0.36	8.49 ±0.34^{a}	8.56 ±0.42^{a}
1	8.66 ± 0.32	7.54 ± 0.25^{a}	8.31 ± 0.38	8.59 ± 0.35	8.52 ±0.54^{a}	8.65 ±0.43^{a}
2	8.65 ± 0.26	7.59 ± 0.60^{a}	8.36 ± 0.48	8.52 ± 0.35	8.51 ±0.72^{a}	8.64 ±0.28^{a}
3	8.68 ± 0.21	7.52 ± 0.17^{a}	8.38 ± 0.17	8.55 ± 0.28	8.48 ±0.38^{a}	8.64 ±0.34^{a}
4	8.60 ± 0.34	7.49 ± 0.34^{a}	8.40 ± 0.62	8.54 ± 0.19	8.49 ±0.15^{a}	8.55±0.29^{a}
5	8.62 ± 0.37	7.50 ± 0.45^{a}	8.38 ± 0.11	8.59 ± 0.57	8.52 ±0.38^{a}	8.56±0.26^{a}
6	8.62 ± 0.52	7.41 ± 0.47^{ab}	8.42 ± 0.23	8.53 ± 0.32	8.47 ±0.36^{a}	8.49±0.37^{ab}
7	8.64 ± 0.36	7.39 ± 0.36^{ab}	8.35 ± 0.46	8.55 ± 0.41	8.49 ±0.34^{a}	8.47±0.53^{ab}
8	8.63 ± 0.29	7.37 ± 0.54^{ab}	8.36 ± 0.22	8.52 ± 0.28	8.26±0.41^{ab}	8.45±0.38^{ab}
9	8.68 ± 0.18	7.40 ± 0.27^{ab}	8.34 ± 0.26	8.56 ± 0.12	8.32±0.29^{ab}	8.42±0.57^{ab}
10	8.67 ± 0.32	7.32 ± 0.48^{b}	8.39 ± 0.19	8.58 ± 0.35	7.87 ±0.17^{b}	8.46±0.51^{ab}
11	8.62 ± 0.28	7.33 ± 0.29^{b}	8.35 ± 0.43	8.56 ± 0.42	7.84 ±0.16^{b}	8.36 ±0.26^{b}
12	8.65 ± 0.64	7.30 ± 0.54^{b}	8.37 ± 0.42	8.52 ± 0.16	7.78 ±0.24^{b}	8.34 ±0.17^{b}

a , b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)