

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียวซึ่งเตรียมจากการโม่ด้วยเครื่องโม่หิน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช แสดงดังภาพที่ 4.1 และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี แสดงดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียว

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ² ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โปรตีน	21.20 ± 1.07
	24.31 ¹
ไขมัน	2.86 ± 0.72
เถ้า	3.87 ± 0.02
ความชื้น	12.80 ± 0.17
คาร์โบไฮเดรต ³	59.27 ³

¹ โดยน้ำหนักแห้ง

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

³ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วเขียว พบว่าแป้งถั่วเขียวมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ถึงร้อยละ 59.27 รองลงมาคือ โปรตีนร้อยละ 21.20 ความชื้นร้อยละ 12.80 เถ้าร้อยละ 3.87 และไขมันร้อยละ 2.86 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 แป้งถั่วเขียว ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช

เมื่อนำแป้งถั่วเขียวที่ได้ มาสกัดโปรตีนตามวิธีของ Thompson (1977) ตะกอนโปรตีน ถั่วเขียวที่สกัดได้มีลักษณะดังภาพที่ 4.2 และเมื่อนำตะกอนโปรตีนถั่วเขียวดังกล่าวไปละลายซ้ำ ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยปรับ pH 7.0 ก่อนนำไปทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนถั่วเขียวสกัดผงที่สกัดจากแป้งถั่วเขียว

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ² ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โปรตีน	72.60 ± 1.33
	79.25 ¹
ไขมัน	11.31 ± 0.47
เถ้า	4.70 ± 0.05
ความชื้น	8.39 ± 0.18
คาร์โบไฮเดรต ¹	3.00 ³

¹ โดยน้ำหนักแห้ง

² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

³ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

ลักษณะของตะกอนโปรตีนถั่วเขียวที่สกัดได้ พบว่ามีสีครีมค่อนข้างเหลือง มีความชื้น 80 ± 2 % เมื่อนำไปละลายซ้ำและปรับ pH 7.0 ก่อนนำไปทำแห้งด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง และวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีแสดงผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าโปรตีนถั่วเขียวที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนเป็นองค์ ประกอบร้อยละ 72.60 และมีปริมาณไขมันร้อยละ 11.31 เถ้าร้อยละ 4.70 ความชื้นร้อยละ 8.39 ส่วน ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีอยู่เพียง ร้อยละ 3.00



ภาพที่ 4.2 ตะกอนโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ pH 4.5 (mungbean protein isolate)

4.2. การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวสกัดโดยการย่อยสลายอย่างจำกัดด้วยเอนไซม์โบรมีเลน

4.2.1. ผลของความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดต่อค่ากำลังการเกิดฟอง

จากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดร้อยละ 1-7 (น้ำหนัก/ ปริมาตร) ปรับ pH 7.0 วิเคราะห์ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) ของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้น ร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร

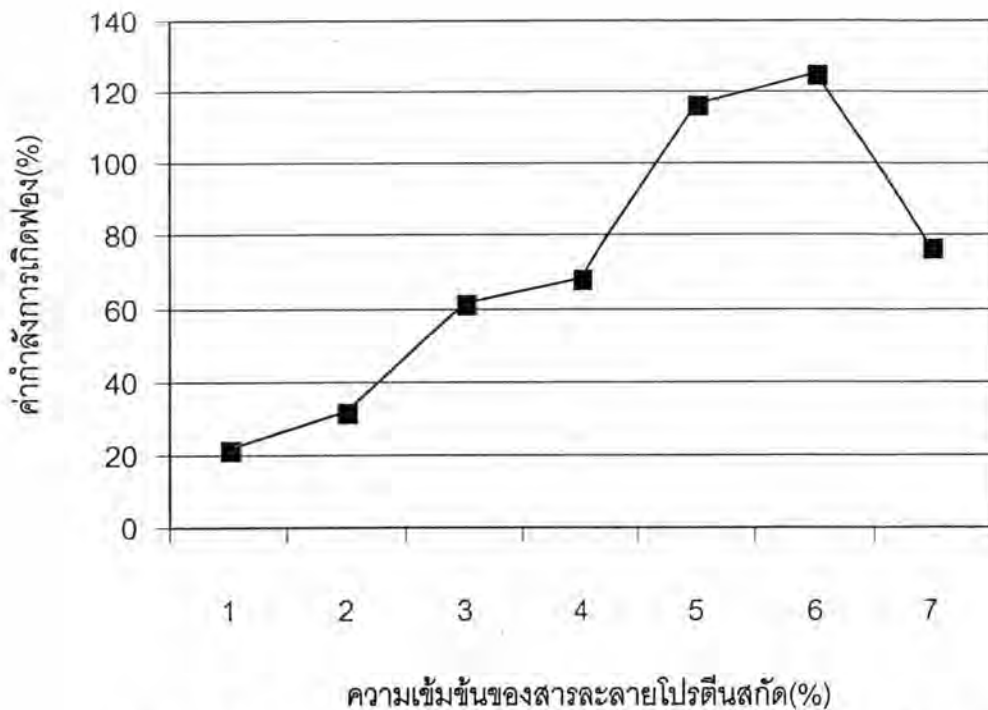
ความเข้มข้นของโปรตีน (ร้อยละ w / v)	ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	21.67 ^a \pm 2.89
2	31.67 ^f \pm 2.89
3	61.67 ^e \pm 2.89
4	68.33 ^d \pm 2.89
5	116.67 ^b \pm 5.77
6	125 ^a \pm 0.00
7	76.67 ^c \pm 2.89

a, b, c...ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่ากำลังการเกิดฟอง (ร้อยละ) ของสารละลายโปรตีน ถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 น้ำหนักต่อปริมาตร

SOV	df	MS
Treatment	6	4552.78*
Error	14	10.71

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.3 ค่ากำลังการเกิดฟองของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1-7 w / v

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดมีอิทธิพลต่อค่ากำลังการเกิดฟอง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.3 และแนวโน้มเส้นกราฟจากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่ากำลังการเกิดฟองเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่เพิ่มขึ้น ในช่วง ร้อยละ 1 – 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นค่ากำลังการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดสูงกว่าร้อยละ 6 โดยค่ากำลังการเกิดฟองมีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จึงเลือกความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ระดับดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสับสเตรทเริ่มต้น

4.2.2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเอนไซม์โบรมีเลนในการย่อยสลายโปรตีน ถั่วเขียวสกัด

ก. ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อแอกติวิตีของโบรมีเลน

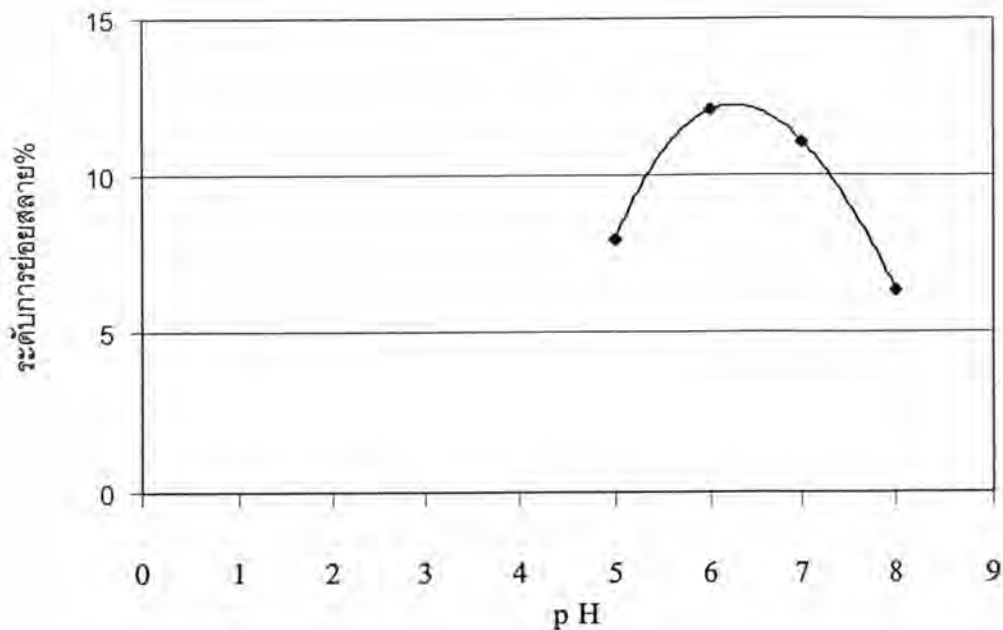
จากการทดลองควบคุมความเข้มข้นของสับสเตรทที่ร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แปรค่า pH 5.0, 6.0, 7.0 และ 8.0 เติมเอนไซม์โบรมีเลนเข้มข้น 0.5 mg/100mg ของโปรตีนสกัด ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรทเท่ากับ 1/200 เท่า ควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที แสดงผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยโบรมีเลนเข้มข้น 0.5 mg/100mg ของโปรตีนสกัด ที่ pH 5, 6, 7 และ 8 อุณหภูมิ 40 °C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

pH	ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5	7.13 ^c \pm 0.12
6	12.06 ^a \pm 0.01
7	11.04 ^b \pm 0.32
8	6.30 ^c \pm 0.54

a,b,c... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงผลในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) กับค่า pH ที่ระดับต่างๆ ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของโบรมีเลนกับ pH

จากภาพที่ 4.4 พบว่าแผนภูมิระหว่างแอกติวิตีของโบรมีเลนกับค่า pH เป็นรูปประฆังคว่ำ โดยพบว่า pH ในช่วง 6.0-6.5 โบรมีเลนมีแอกติวิตีสูงสุด ช่วงดังกล่าวจึงเรียกว่า pH optimum

เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.5 จะพบว่าที่ pH 6.0 โบรมีเลนมีแอกติวิตีสูงสุด ดังนั้นในการวิจัยขั้นต่อไป คือการหา Temperature profile จะกำหนดให้ pH คงที่ที่ 6.0

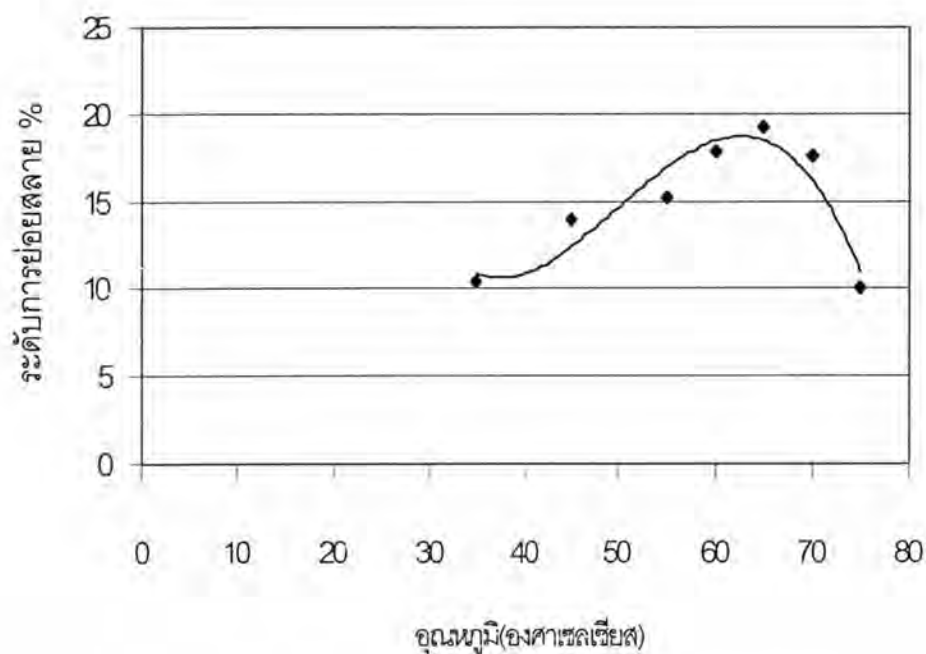
ข. ผลของอุณหภูมิต่อแอกติวิตีของเอนไซม์โบรมีเลน (Temperature profile)

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อแอกติวิตีของเอนไซม์โบรมีเลน โดยกำหนดให้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรท คงที่ 1/200 เท่า โดยเตรียมสารละลายโปรตีนเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร เอนไซม์เข้มข้น 0.5 mg/100mg ของโปรตีนสกัด pH 6.0 แปรอุณหภูมิในการย่อยสลาย ในช่วง 35-75 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ยับยั้งปฏิกิริยา 90 °C นาน 10 นาที ทำให้เย็นและวิเคราะห์หกระดับการย่อยสลาย แสดงผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยโบรมีเลนเข้มข้น 0.5 mg/100mg ของโปรตีน ที่ อุณหภูมิ 35 - 75 °C pH 6.0 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

อุณหภูมิ(°C)	ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
35	10.48 ^e \pm 0.49
45	13.94 ^d \pm 0.04
55	15.41 ^c \pm 0.03
60	17.82 ^b \pm 0.52
65	19.25 ^a \pm 0.42
70	17.59 ^b \pm 0.63
75	10.01 ^e \pm 0.30

a,b,c... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของโบรมีเลนกับอุณหภูมิ

จากในภาพที่ 4.5 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิต่อแอกติวิตีของโบรมีเลน พบว่าโบรมีเลนมีแอกติวิตีสูงสุดในช่วงอุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จึงเลือกสภาวะในการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60 °C เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากกราฟ โบรมีเลนมีแอกติวิตีไม่แตกต่างกับที่อุณหภูมิ 65 °C แต่ในการทดลองการควบคุมอุณหภูมิทำให้คงที่ สามารถทำได้ง่ายกว่าอุณหภูมิสูง เพราะที่อุณหภูมิสูงน้ำจะมีอัตราการระเหยสูงกว่า ทำให้ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ยากกว่า

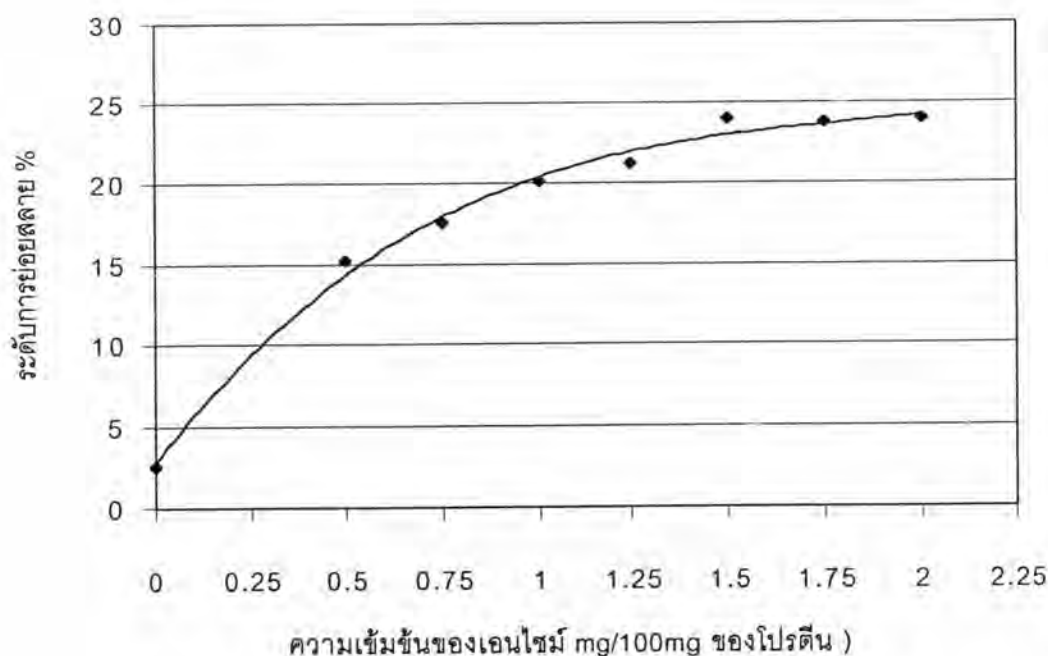
ค. ผลของอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อโปรตีนถั่วเขียวสกัด ต่อแอกติวิตีของโบรมีเลน

จากการทดลองกำหนดให้ปริมาณสับสเตรท (โปรตีนถั่วเขียวสกัด) มากพอและคงที่ตลอดการทดลอง โดยเตรียมโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แปรการเติมเอนไซม์เข้มข้น 0.00-2.00 mg/100mg ของโปรตีนสกัด ควบคุมอุณหภูมิ 60 °C pH 6.0 เวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction time) คงที่ 30 นาที ยับยั้งปฏิกิริยาด้วยความร้อน 90 °C นาน 10 นาที วัดระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) แสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) ของการย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แปรความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.00 - 2.00 mg/100mg ของโปรตีน ที่อุณหภูมิ 60 °C pH 6.0 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที

mg ของเอนไซม์ /100 mg ของโปรตีนสกัด	ระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	2.56 ^a \pm 0.58
0.50	15.14 ^d \pm 0.18
0.75	17.50 ^c \pm 0.30
1.00	20.02 ^b \pm 1.26
1.25	21.16 ^b \pm 0.03
1.50	23.96 ^a \pm 0.20
1.75	23.72 ^a \pm 0.04
2.00	23.98 ^a \pm 0.58

a,b,c... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของโบรมีเลนกับ E/S (w/w)

พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแอกติวิตีของโบรมีเลนกับอัตราส่วนของโบรมีเลนต่อโปรตีน ถ้าวัดเชิงสถิติเป็นลักษณะของกราฟโพลาลอกรั้งเดียว โดยความชันของกราฟ มีแนวโน้มลดลงหรือระดับการย่อยสลายเริ่มคงที่ เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์สูงกว่า 1.25 mg/100mg ของโปรตีน (E/S 1/80 เท่า) ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไป จะกำหนดอัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรทคงที่เท่ากับ 1/80 เท่า

4.2.3 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลายและปริมาณ Nitrogen Solubility ต่อเวลาในการย่อยสลาย

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย และปริมาณ Nitrogen solubility ต่อเวลาในการย่อยสลาย โดยการย่อยสลายสารละลายโปรตีนเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์โบรมีเลนเข้มข้น 1.25 mg/100mg ของโปรตีน (E/S 1/80 เท่า) ที่ pH 6.0 อุณหภูมิ 60 °C แปรเวลาในการย่อยสลายเป็น 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ยับยั้ง

ปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยอุณหภูมิ 90 °C นาน 10 นาที ทำให้เห็น วิเคราะห์ระดับการย่อยสลายและปริมาณ Nitrogen solubility แสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของ Degree of hydrolysis(%) และ Nitrogen solubility(%) ของตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

เวลาในการย่อยสลาย(นาที)	Degree of hydrolysis (%) ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	Nitrogen solubility (%) ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	2.75 ^h ± 0.37	24.43 ^g ± 1.36
2	8.59 ^g ± 0.07	31.28 ^f ± 1.94
5	12.14 ^f ± 0.12	39.28 ^e ± 0.34
10	15.32 ^e ± 0.20	44.66 ^d ± 0.89
15	17.44 ^d ± 0.26	50.69 ^c ± 0.55
20	18.78 ^c ± 0.24	52.56 ^b ± 0.55
25	19.59 ^b ± 0.31	54.81 ^a ± 0.23
30	20.77 ^a ± 1.02	55.72 ^a ± 0.44

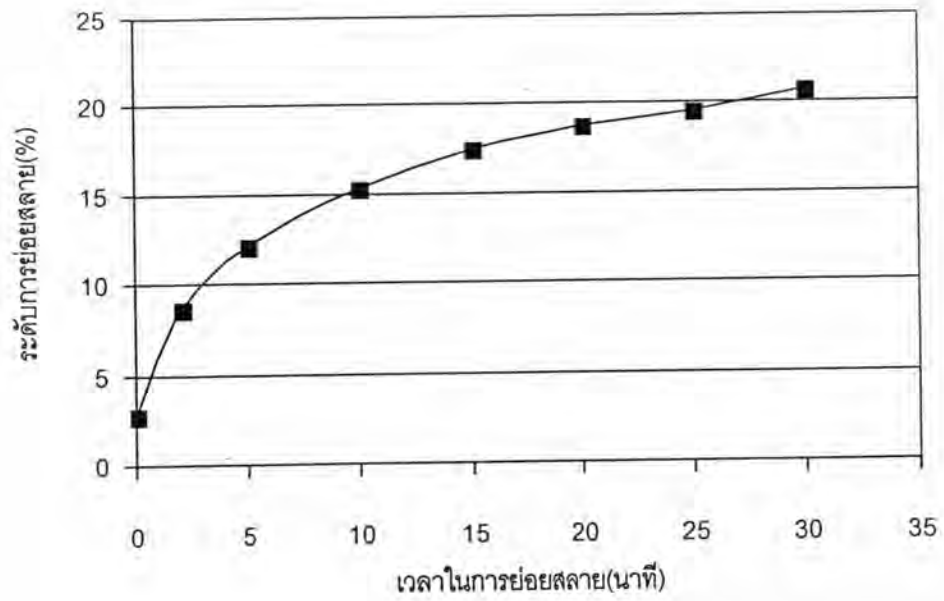
a,b,c... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Degree of hydrolysis(%) และ Nitrogen solubility(%) ของตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 2, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

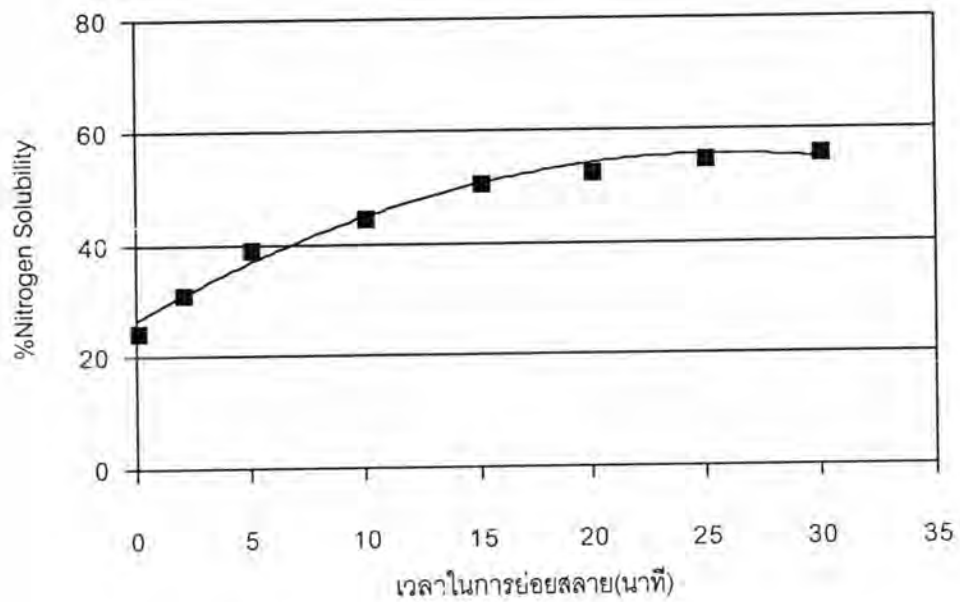
SOV	df	MS	
		%Degree of hydrolysis	%Nitrogen solubility
เวลาในการย่อยสลาย (นาที)	7	116.33*	402.62*
Error	16	0.18	0.92

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำผลการทดลองในตารางที่ 4.8 มาสร้างเป็นกราฟเพื่อดูแนวโน้มของระดับการย่อยสลายและปริมาณ Nitrogen solubility เมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น แสดงผลดังภาพที่ 4.7 และ 4.8



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย (ร้อยละ) กับเวลาย่อยสลาย

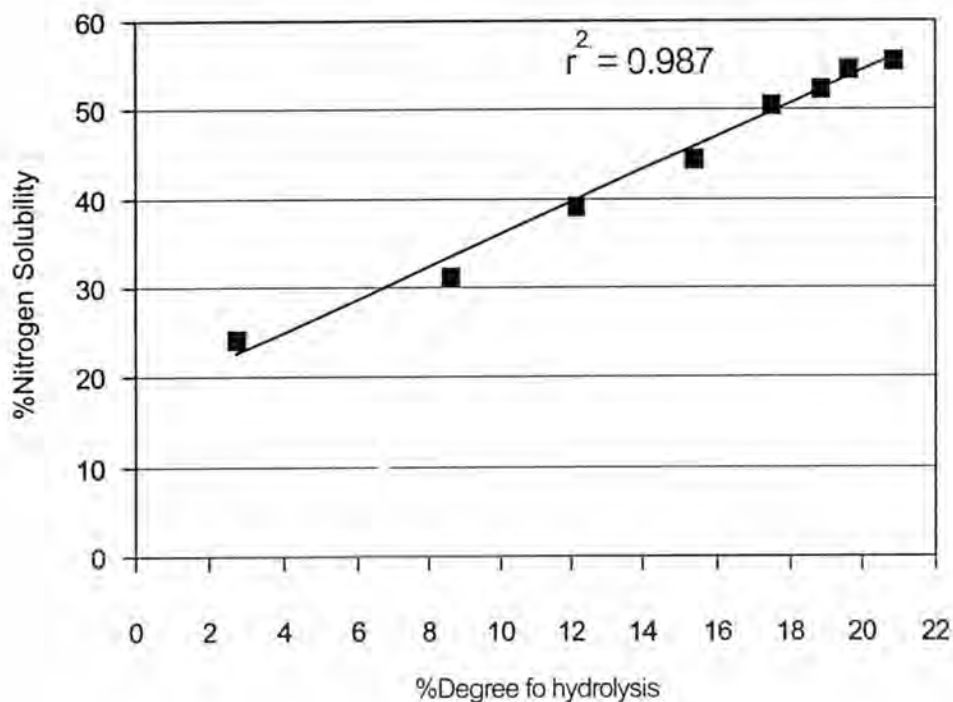


ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ %Nitrogen solubility กับเวลาย่อย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการย่อยสลายมีผลต่อระดับการย่อยสลาย และปริมาณ Nitrogen solubility อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาแนวโน้มของกราฟภาพที่ 4.7 พบว่าระดับการย่อยสลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นทุกๆ 5 นาที แต่หลังจาก 20 นาที อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับการย่อยสลายมีแนวโน้มลดลง

ส่วนในภาพที่ 4.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Nitrogen Solubility กับเวลาในการย่อยสลาย พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างระดับการย่อยสลาย กับเวลาในการย่อย คือปริมาณ Nitrogen solubility เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มในช่วง 15 นาทีแรกและค่อยๆมีแนวโน้มคงที่หลังจาก 15 นาที ดังภาพ

จากผลการทดลอง ในตารางที่ 4.8 นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณ Nitrogen solubility กับระดับการย่อยสลาย พบว่าค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง%Nitrogen solubilityกับ%Degree of hydrolysis

จากภาพที่ 4.9 พบว่า %Nitrogen solubility ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดที่ย่อยสลายอย่างจำกัดด้วยเอนไซม์โบรมีเลน มีความสัมพันธ์กับ %Degree of hydrolysis (ระดับการย่อยสลาย) เป็นอย่างมาก โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเชิงเส้น มีค่า $r^2 = 0.987$

4.2.4. ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวสกัดโดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์โบรมีเลน

โดยการผลิตสารให้ฟอง ตามสภาวะที่เลือกได้จากการทดลองข้างต้น คือย่อยสลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ด้วยเอนไซม์เข้มข้น 1.25 mg/100mg ของโปรตีนสกัด ที่ pH 6.0 อุณหภูมิ 60 °C แปรเวลาในการย่อยสลาย 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ หยุดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิ 90 °C นาน 10 นาที ทำให้เย็น จากนั้นเหวี่ยงแยกโปรตีนที่เสียสภาพออกด้วยความเร็วรอบ 3,500 รอบ/นาที นาน 15 นาที พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้มีความเข้มข้น 4 °Brix จากนั้นทำให้เข้มข้น 10 °Brix (ภาคผนวก ก.9) แสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 โปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein hydrolyzed) เข้มข้น 4 °Brix และ 10 °Brix

จากนั้นนำโปรตีนไฮโดรไลเซต (Protein hydrolyzed) เข้มข้น 10^0 Brix ไปทำแห้งแบบ แห่เยือกแข็ง พบว่าสารละลายของผลิตภัณฑ์สุดท้ายความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มี pH 6.4-6.5 ประเมินสมบัติของสารให้ฟองได้ผลดังต่อไปนี้

ก. ค่ากำลังการเกิดฟอง

ตารางที่ 4.10 ค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที

เวลาในการย่อยสลาย (นาที)	ค่ากำลังการเกิดฟอง(ร้อยละ) \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	123.33 ^c \pm 5.77
5	156.67 ^b \pm 5.77
10	170.00 ^a \pm 10.00
15	176.67 ^a \pm 5.77
20	176.67 ^a \pm 5.77
25	166.67 ^{ab} \pm 5.77

a,b,c... ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

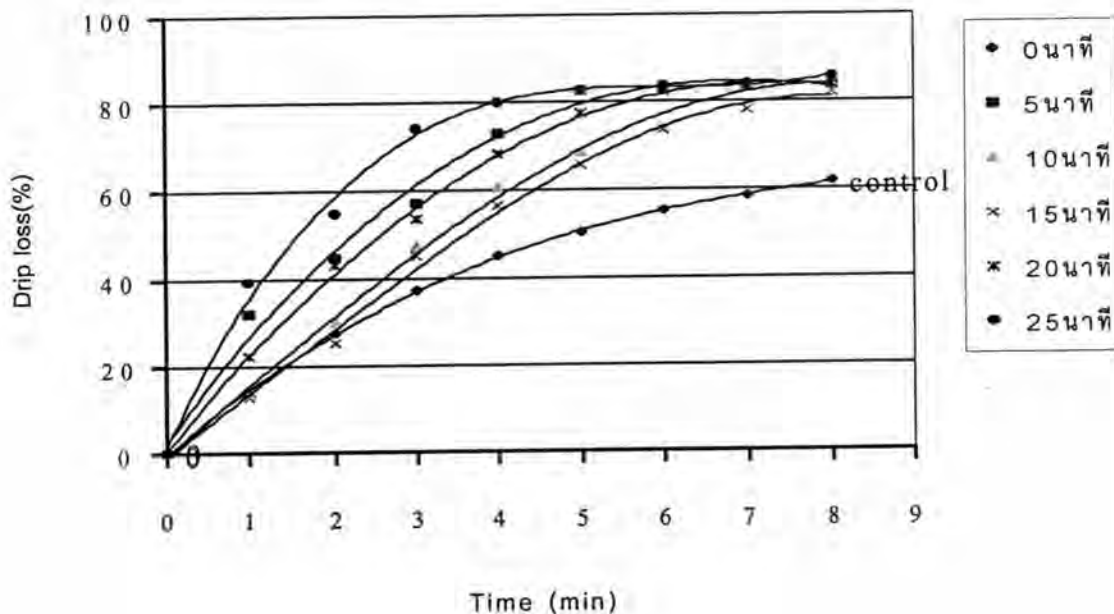
SOV	df	MS
เวลาในการย่อยสลาย(นาที)	5	1223.33*
Error	12	44.44

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการย่อยสลายมีอิทธิพลต่อค่ากำลังการเกิดฟองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นในช่วง 0-20 นาที ค่ากำลังการเกิดฟองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบ

ว่าที่เวลาในการย่อยสลาย 15 และ 20 นาที ให้ค่ากำลังการเกิดฟองสูงสุด รองลงมาคือที่ 10 นาที 5 นาที และ 0 นาที ตามลำดับ ส่วนที่ 25 นาที พบว่าค่ากำลังการเกิดฟองกลับมีค่าต่ำกว่า ที่ 10 นาที แต่ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ข. Drip Loss (%) Foam Stability



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Drip loss ของสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลาต่างๆ กับเวลา

ภาพที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย % Drip loss ของสารให้ฟองผงซึ่งผ่านการย่อยสลายที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที เทียบกับ Control ทุกๆ 1 นาที เมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟ พบว่า ตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 15 นาที ให้ค่า Drip Loss ต่ำสุด ความคงตัวของฟองสูงสุด รองลงมาคือตัวอย่างที่ย่อยด้วยเวลา 10 นาที ถัดมาคือตัวอย่างที่ย่อยด้วยเวลา 5, 20, และ 25 นาที ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่ากำลังการเกิดฟอง และ เปอร์เซ็นต์ Drip Loss ร่วมกัน พบว่าสามารถเลือกสภาวะในการผลิตสารให้ฟองจากโปรตีนถั่วเขียวสกัดโดยการย่อยสลายอย่างจำกัดด้วยเอนไซม์

โปรตีนเลน ที่ระดับการย่อยสลายร้อยละ 17.44 เวลาในการย่อย 15 นาที เนื่องจากให้ค่ากำลังการเกิด ฟองสูงสุด และค่า Drip Loss ต่ำสุด ความคงตัวของฟองสูงสุด

ค. Nitrogen solubility ที่ pH 4.5

จากการหาปริมาณ Nitrogen solubility ที่ pH 4.5 ของสารให้ฟองผงที่ระดับการย่อยสลายต่างๆ เทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เวลา 0 นาที และโปรตีนถั่วเขียวสกัดซึ่งทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เช่นเดียวกัน แสดงตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่า Nitrogen solubility pH 4.5 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสารให้ฟองผงที่ย่อยสลาย ด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

ตัวอย่าง	%Nitrogen solubility pH 4.5 \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โปรตีนถั่วเขียวสกัด	2.98 ^g \pm 0.42
สารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา(นาที)	
0	33.59 ^f \pm 0.66
5	85.98 ^e \pm 0.46
10	87.51 ^d \pm 0.57
15	91.84 ^c \pm 1.24
20	93.30 ^b \pm 0.27
25	95.75 ^a \pm 0.48

a,b,c... ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Nitrogen solubility pH 4.5 ของโปรตีนถั่วเขียว สกัดและสาร ให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

SOV	df	MS
Treatment	6	4031.25*
Error	14	0.43

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ Nitrogen solubility ที่ pH 4.5 ของตัวอย่างทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าเมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ปริมาณ Nitrogen solubility ที่ pH 4.5 ของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยตัวอย่างที่ย่อยสลายด้วยเวลา 25 นาที มีการละลายสูงสุด เทียบกับโปรตีนถั่วเขียวสกัดซึ่งสามารถละลายได้ต่ำสุด คือเพียงร้อยละ 2.98 ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ 0 นาที มีการละลายเพียงร้อยละ 33.59

ง. Nitrogen solubility pH 7.0

ตารางที่ 4.14 ค่า Nitrogen solubility p H 7.0 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัดและสารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

ตัวอย่าง	%Nitrogen solubility p H 7.0 \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โปรตีนถั่วเขียวสกัด	82.65 ^b \pm 0.83
สารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา(นาที)	
0	66.48 ^c \pm 2.50
5	100 ^a \pm 0.00
10	100 ^a \pm 0.00
15	100 ^a \pm 0.00
20	100 ^a \pm 0.00
25	100 ^a \pm 0.00

a,b,c... ชุดข้อมูลที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Nitrogen solubility p H 7.0 ของโปรตีนถั่วเขียวสกัด และ สารให้ฟองผงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที ตามลำดับ

SOV	df	MS
Treatment	6	351.67*
Error	7	0.99

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณ Nitrogen solubility ที่ pH 7.0 ของตัวอย่างทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย สารให้ฟองฝงที่ย่อยสลายด้วยเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที สามารถละลายได้สูงสุด คือ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ pH 7.0 และพบว่าตัวอย่างควบคุมสามารถละลายได้ต่ำกว่าโปรตีนถั่วเขียวสกัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3 ผลการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิต (%Yield)

จากการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ของผลผลิต โดยการแปรความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวสกัดเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ย่อยสลายด้วยเอนไซม์เข้มข้น 1.25 mg/100mg ของโปรตีนสกัด ควบคุม pH 6.0 อุณหภูมิ 60 °C เวลาในการย่อยสลาย 15 นาที จากนั้นยับยั้งปฏิกิริยา 90 °C นาน 10 นาที ทำให้เย็นลงถึง 25 °C และเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วรอบ 3,500 รอบ/นาที นาน 15 นาที นำส่วนใสไปทำให้เข้มข้น 10 °Brix ที่อุณหภูมิ 60 °C สุดท้ายทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งนำหนักตัวอย่างแห้งที่ผลิตได้ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ของผลผลิต ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต และน้ำหนักแห้งของสารให้ฟอง(กรัม) ที่ผลิตได้จากการแปรความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 w/v

ความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัด (%)	น้ำหนักสารให้ฟองฝง (กรัม) ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ผลผลิต (%) ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2	0.91 ± 0.01	45.30 ^b ± 0.48
4	1.84 ± 0.04	46.01 ^a ± 1.07
6	2.78 ± 0.02	46.30 ^a ± 0.35
8	3.23 ± 0.02	40.35 ^c ± 0.21
10	3.45 ± 0.04	34.49 ^d ± 0.45
12	3.95 ± 0.08	32.94 ^e ± 0.63

a,b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิต (ร้อยละ) ที่ผลิตได้จากการ แปรความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

SOV	df	MS
Treatment	5	107.62*
Error	12	0.36

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดมีอิทธิพลต่อร้อยละของผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต พบว่าที่ความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดร้อยละ 4 และ 6 ให้ร้อยละของผลผลิตสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนถั่วเขียวสกัดสูงกว่าร้อยละ 6 ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4.ผลการศึกษาการเติม Carboxymethylcellulose (CMC) เพื่อเป็น stabilizer หรือเป็น co-drying ในกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในการผลิตสารให้ฟอง

4.4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติม CMC ร่วมกับการให้ความร้อนต่อสมบัติของสารให้ฟองผง

จากการทดลองผลิตสารให้ฟองผงตามภาพที่ 3.1 โดยควบคุม pH 6.0 อุณหภูมิ 60 °C อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรทเท่ากับ 1/80 เท่า (เอนไซม์เข้มข้น 1.25 mg/100mg ของโปรตีนสกัด) และเวลาในการย่อยสลาย 15 นาที จากนั้นทำการทดลองตามขั้นตอนในภาพที่ 3.2 สุดท้ายนำตัวอย่างที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เก็บตัวอย่างสารให้ฟองที่ผลิตได้ นำมาทดสอบความคงตัวของฟอง โดยหา % Drip loss และค่ากำลังการเกิดฟอง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์ Drip loss \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที ของสารให้ฟองผง ซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC

เวลา (นาที)	ไม่ให้ความร้อน		ให้ความร้อน 85 ^o C เวลา 1-2 นาที	
	ไม่เติม CMC	เติม CMC 0.1 %	ไม่เติม CMC	เติม CMC 0.1%
5	67.49 ^d \pm 0.84	54.16 ^c \pm 0.32	50.41 ^b \pm 0.71	47.68 ^a \pm 0.65
10	83.55 ^d \pm 0.62	65.30 ^b \pm 1.97	71.00 ^c \pm 0.21	58.17 ^a \pm 0.92
15	91.21 ^d \pm 1.00	75.11 ^b \pm 1.18	83.65 ^c \pm 1.54	65.30 ^a \pm 1.09

a,b,c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที ของสารให้ฟองผงซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC

SOV	df	MS		
		%Drip loss		
		5 (นาที)	10(นาที)	15(นาที)
Treatment	3	231.34*	345.66*	373.40*
Error	8	0.43	1.29	1.49

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า CMC และ ความร้อน มีอิทธิพลต่อความคงตัวของฟองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า การเติม CMC 0.1% ร่วมกับการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ให้ความคงตัวของฟองสูงสุด นอกจากนี้การให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที โดยไม่เติม CMC ก็มีผลทำให้ความคงตัวของฟองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่ให้ความร้อนและไม่เติม CMC) แต่ทั้งนี้ยังคงด้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการให้ความร้อน แต่เติม CMC

ตารางที่ 4.20 ค่ากำลังการเกิดฟองของสารให้ฟองผง± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เวลา 5, 10 และ15 นาที ของสารให้ฟองซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC

การทดลอง	ค่ากำลังการเกิดฟอง (%)
ไม่ให้ความร้อน	
ไม่เติม CMC	176.67 ± 5.77 ^a
เติม CMC 0.1 %w/w	176.67 ± 5.77 ^a
ให้ความร้อน 85 °C	
ไม่เติม CMC	146.67 ± 5.77 ^b
เติม CMC 0.1% w/w	183.33 ± 5.77 ^a

a,b,c...ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการเกิดฟองที่เวลา 5, 10 และ15 นาที ของสารให้ ฟองซึ่งไม่ผ่านความร้อนและผ่านความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนการเติม CMC 0.1% และไม่เติม CMC

SOV	df	MS
Treatment	3	808.33*
Error	8	33.33

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า CMC และความร้อน มีอิทธิพลต่อค่ากำลังการเกิดฟองอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ร่วมกับการเติม CMC 0.1 % ยังคงให้ค่ากำลังการเกิดฟองไม่แตกต่างทางสถิติ กับตัวอย่างควบคุม (ไม่ให้ความร้อนและไม่เติม CMC) แต่พบว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที โดยไม่เติม CMC นั้นมีค่ากำลังการเกิดฟองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณา ความคงตัวของฟอง ประกอบกับค่ากำลังการเกิดฟอง สรุปได้ว่าการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที ร่วมกับการเติม CMC 0.1% สามารถปรับปรุงความคงตัวของฟอง โดยยังคงรักษาค่ากำลังการเกิดฟองได้เทียบเท่า หรือสูงกว่าตัวอย่างควบคุม

4.4.2. ผลการศึกษาหาปริมาณการเติม CMC ที่เหมาะสม

โดยการเตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซทเข้มข้น 10 °Brix (ผลิตตามภาพที่ 3.1) โดยควบคุม pH 6.0 อุณหภูมิ 60 °C อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อสับสเตรทเท่ากับ 1/80 เท่า (เอนไซม์เข้มข้น 1.25 mg/mgของโปรตีน) และเวลาในการย่อยสลาย 15 นาที จากนั้นแปรปริมาณการเติม CMC ลงในโปรตีนไฮโดรไลเซทเป็น 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 กรัม/100กรัม ของโปรตีนไฮโดรไลเซท (dry basis) ร่วมกับการให้ความร้อน 85 °C 1-2 นาที ก่อนนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่ากำลังการเกิดฟอง และความคงตัวของฟองโดยหาค่า % Drip loss แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.22 - 4.25

ตารางที่ 4.22 ค่ากำลังการเกิดฟองของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที

ตัวอย่าง	ค่ากำลังการเกิดฟอง(ร้อยละ) ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สารให้ฟองผง (แปรการเติม CMC)	
0	146.67 ^c ± 5.77
0.1	180.00 ^a ± 10.00
0.2	183.33 ^a ± 5.77
0.3	183.33 ^a ± 5.77
0.4	176.67 ^b ± 5.77
0.5	176.67 ^b ± 5.77
ไข่ขาวผง	180.00 ^a ± 0.00

a, b,c... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่อท้าย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่ากำลังการเกิดฟองของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที

SOV	df	MS
Treatment	6	498.41*
Error	14	38.10

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.22 และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าค่ากำลังการเกิดฟองของตัวอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่าการเติม CMC ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ให้ค่ากำลังการเกิดฟองสูงสุด และเทียบเท่ากับไข่ขาวผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.24 เปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ของไข่ขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ร่วมกับการให้ความร้อน อุณหภูมิ 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนเติม CMC

ตัวอย่าง	%Drip loss ที่เวลา					
	5 นาที	10 นาที	15	20	25	30
สารให้ฟอง						
0%	52.59 ^e ±1.20	72.68 ^d ±0.70	83.80 ^d ±2.45	88.97 ^d ±1.25	91.30 ^d ±0.62	92.94 ^f ±1.10
0.1%	41.28 ^c ±0.65	56.42 ^c ±0.84	64.10 ^{bc} ±0.31	68.76 ^b ±3.15	72.90 ^b ±3.61	78.05 ^c ±0.21
0.2%	36.71 ^a ±0.71	52.83 ^a ±0.54	62.34 ^{ab} ±0.47	67.69 ^b ±1.00	72.33 ^b ±0.50	76.56 ^{bc} ±1.38
0.3%	38.73 ^b ±1.10	53.47 ^{ab} ±1.03	61.99 ^a ±0.43	67.73 ^b ±0.59	72.19 ^b ±0.24	79.70 ^b ±0.27
0.4%	39.92 ^{bc} ±1.69	56.77 ^c ±0.76	65.46 ^c ±1.11	72.07 ^c ±0.80	76.61 ^c ±0.58	80.23 ^d ±1.07
0.5%	36.74 ^a ±0.64	54.79 ^b ±1.50	65.26 ^c ±0.59	72.84 ^c ±1.22	79.31 ^c ±1.19	83.79 ^e ±1.85
ไข่ขาวผง	46.03 ^d ±0.28	57.13 ^c ±0.18	61.27 ^a ±0.79	64.14 ^a ±1.24	67.51 ^a ±1.01	69.79 ^a ±0.53

a, b, c...ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์ Drip loss ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ของไซขาวผงและสารให้ฟองผงที่ผลิตโดยการเติม CMC ร้อยละ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 (dry basis) ร่วมกับการให้ความร้อน อุณหภูมิ 85 °C เวลา 1-2 นาที ก่อนเติม CMC

SOV	df	MS					
		5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	25 นาที	30 นาที
Treatment	6	99.50*	138.65*	186.22*	190.29*	166.90*	159.50*
Error	14	0.99	0.77	1.24	2.95	3.21	1.15

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p 0.05)

ส่วนความคงตัวของฟองซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ Drip loss ดังตารางที่ 4.24 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าการเติม CMC ร้อยละ 0.2 และ 0.3 ตัวอย่างที่ได้ให้ค่าความคงตัวของฟองสูงกว่าไซขาวผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ภายในเวลา 15 นาทีแรกของการหาเปอร์เซ็นต์ Drip loss แต่หลังจาก 15 นาที ความคงตัวของฟองดีกว่าไซขาวผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ยังคงสูงกว่าตัวอย่างที่เติม CMC ร้อยละ 0.1, 0.4, 0.5 และตัวอย่างควบคุม

และเมื่อพิจารณาค่ากำลังการเกิดฟอง ประกอบกับความคงตัวของฟอง จะพบว่าการเติม CMC ร้อยละ 0.2 และ 0.3 สามารถปรับปรุงสมบัติการเกิดฟองได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เพื่อความประหยัดในการผลิต ดังนั้นในการทดลองขั้นนี้ จึงเลือกเติม CMC ร้อยละ 0.2 ร่วมกับการให้ความร้อน 85 °C เวลา 1-2 นาที

4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารให้ฟองผง

ตารางที่ 4.26 องค์ประกอบทางเคมีของสารให้ฟองผงและไซขาวผง

องค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย ² ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สารให้ฟองผง	ไซขาวผง
โปรตีน	76.17 ± 0.41 (82.28 ¹)	62.38 ± 0.62 (64.30 ¹)
ไขมัน	0.10 ± 0.01	-
เถ้า	7.46 ± 0.00	-
ความชื้น	7.42 ± 0.25	2.92 ± 0.20
คาร์โบไฮเดรต ¹	8.85	-

¹ โดยน้ำหนักแห้ง² ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ³ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

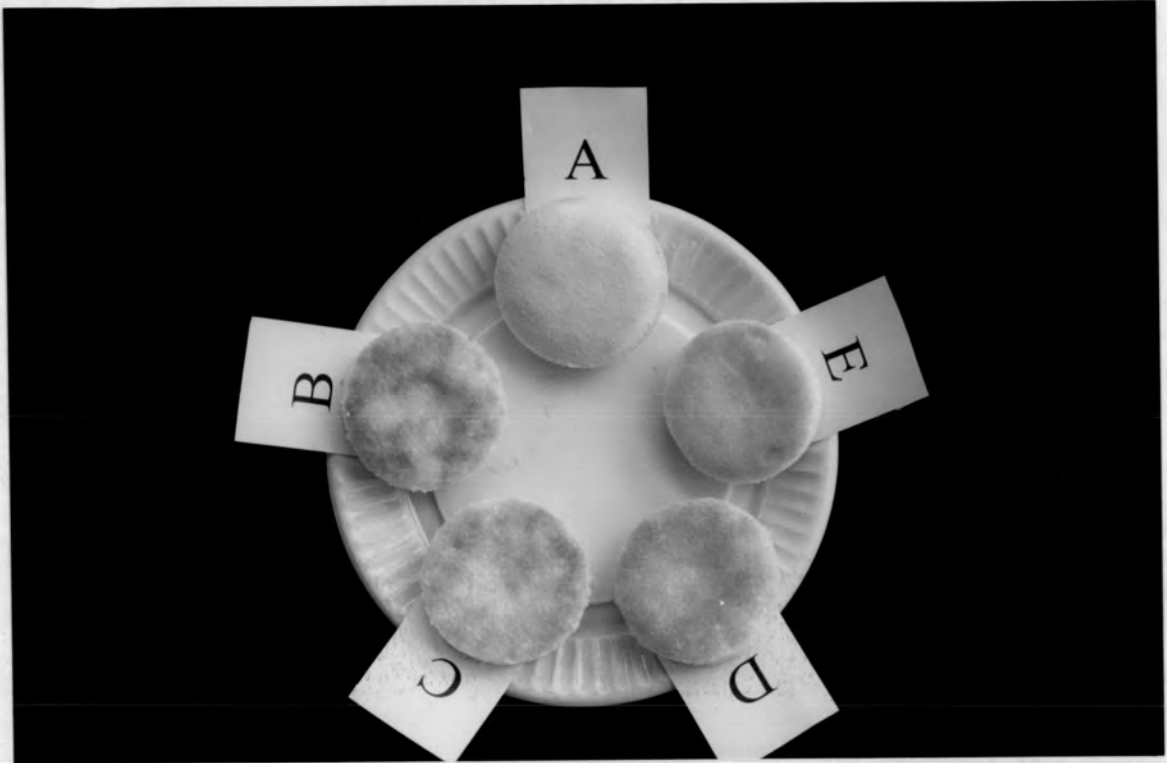
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารให้ฟองผงและไซขาวผงซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 4.12 พบว่ามีโปรตีนร้อยละ 76.17 หรือ 82.28 โดยน้ำหนักแห้ง ไขมันร้อยละ 0.10 เถ้าร้อยละ 7.46 ความชื้นร้อยละ 7.42 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.85 โดยพบว่าสารให้ฟองผงที่ผลิตได้มีโปรตีนสูงกว่าไซขาวผงทางการค้าซึ่งมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 64.30 โดยน้ำหนักแห้ง และมีความชื้นร้อยละ 2.92



ภาพที่ 4.12 ลักษณะของสารให้ฟองผง (Foaming agent) และไข่ขาวผง (Egg albumen)

4.6 ผลการใช้สารให้ฟองผงในแองเจิลฟูดเค้ก

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้สารให้ฟอง ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 82.28 dry basis แทนไข่ขาวผงซึ่งมีโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 62.38 dry basis โดยทดลองใช้สารให้ฟองเติมในแองเจิลฟูดเค้กในปริมาณร้อยละ 2.07, 1.67, 1.27 และ 0.87 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมที่ใช้ไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.13) ประเมินผลโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี การขึ้นฟู การยุบตัว ความแน่นเนื้อ และความชอบด้านกลิ่น ของแองเจิลฟูดเค้ก ใช้แบบทดสอบชนิด Multiple Comparison Test ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 12 คน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test แสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนการทดสอบ ดังตารางที่ 4.27-4.36



ภาพที่ 4.13 แองเจลฟูตเค้กซึ่งเติมสารให้ฟองในปริมาณร้อยละ 2.07 (B), 1.67 (C), 1.27 (D) และ 0.87 (E) โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับสูตรควบคุมซึ่งเติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (A)

ตารางที่ 4.27 คะแนนเปรียบเทียบด้านสีของแองเจลฟูตเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับ ร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของสารให้ฟอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2.06	8.42 ^a \pm 0.5
1.67	8.00 ^a \pm 0.00
1.27	6.75 ^b \pm 0.62
0.87	3.92 ^c \pm 0.51

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านสีของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เดิมใช้ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS.
Treatment	3	49.465*
Panelist	11	0.157*
Error	33	0.253

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณสารให้ฟองที่ใช้ มีผลต่อคะแนนการเปรียบเทียบด้านสีของแองเจิลฟูดเค้กอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านสีด้วย Duncan 's New Multiple Range Test พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองร้อยละ 2.07 และ 1.67 โดยน้ำหนักมีสีเข้มมากที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองร้อยละ 1.27 โดยมีสีเข้มกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยถึงปานกลาง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองผงร้อยละ 0.87 ให้สีอ่อนมากที่สุด ซึ่งมีสีใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากที่สุดแต่อ่อนกว่าสีของตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย

ตารางที่ 4.29 คะแนนเปรียบเทียบด้านการขึ้นฟูของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เดิมใช้ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของสารให้ฟอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2.06	7.92 ^a \pm 0.67
1.67	7.67 ^{ab} \pm 0.78
1.27	7.33 ^b \pm 0.49
0.87	3.33 ^c \pm 0.98

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านการขึ้นฟูของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS.
Treatment	3	56.299*
Panelist	11	0.960*
Error	33	0.435

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณสารให้ฟองที่ใช้ มีผลต่อคะแนนการเปรียบเทียบด้านการขึ้นฟูของแองเจิลฟูดเค้กอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านการขึ้นฟูด้วย Duncan's New Multiple Range Test พบว่าระดับการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์แปรตามปริมาณการเติมสารให้ฟอง การเติมสารให้ฟองร้อยละ 2.07, 1.67 และ 1.27 โดยน้ำหนัก พบว่าผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูมากกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองปริมาณร้อยละ 0.87 โดยน้ำหนัก มีการขึ้นฟูน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมในระดับปานกลาง

ตารางที่ 4.31 คะแนนเปรียบเทียบด้านการยุบตัวของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับ ร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของสารให้ฟอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2.06	8.58 ^a \pm 0.51
1.67	7.83 ^b \pm 0.39
1.27	6.25 ^c \pm 0.75
0.87	5.92 ^d \pm 0.51

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบด้านการยวบตัวของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS.
Treatment	3	19.410*
Panelist	11	0.794*
Error	33	0.152

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณสารให้ฟองที่ใช้ มีผลต่อคะแนนการเปรียบเทียบด้านการยวบตัวของแองเจิลฟูดเค้กอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านการยวบตัวของแองเจิลฟูดเค้ก ด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองในปริมาณร้อยละ 2.07 โดยน้ำหนัก มีการยวบตัวมากที่สุด รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองในปริมาณร้อยละ 1.67, 1.27 และ 0.87 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 4.33 คะแนนเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของสารให้ฟอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2.06	1.75 ^c \pm 0.62
1.67	2.08 ^{bc} \pm 0.67
1.27	2.50 ^b \pm 0.52
0.87	3.75 ^a \pm 0.62

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัว อย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
Treatment	3	9.188*
Panelist	11	0.657*
Error	33	0.278

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณสารให้ฟองที่ใช้ มีผลต่อคะแนนการเปรียบเทียบด้านความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้กอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านความแน่นเนื้อของแองเจิลฟูดเค้ก ด้วยวิธี Duncan 's New Multiple Range Test พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมสารให้ฟองในปริมาณต่ำที่สุด คือร้อยละ 0.87 โดยน้ำหนัก มีความแน่นเนื้อสูงสุด โดยมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อยถึงปานกลาง ซึ่งใกล้เคียงกับความแน่นเนื้อของตัวอย่างควบคุมมากที่สุด

ตารางที่ 4.35 คะแนนเปรียบเทียบความชอบด้านกลิ่นของแองเจิลฟูดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาวผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

ปริมาณของสารให้ฟอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	คะแนนเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2.06	6.17 ^{ns} \pm 1.85
1.67	6.25 ^{ns} \pm 1.96
1.27	6.17 ^{ns} \pm 1.70
0.87	6.75 ^{ns} \pm 1.36

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.36 การวิเคราะห์ความแปรปรวน คะแนนเปรียบเทียบความชอบด้านกลิ่นของแองเจิลฟู้ดเค้ก ที่ทดแทนด้วยสารให้ฟองผงในระดับร้อยละ 2.06, 1.67, 1.27, 0.87 โดยน้ำหนัก กับตัวอย่างควบคุมที่เติมไข่ขาว ผงร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

SOV	df	MS
Treatment	3	0.944 ^{ns}
Panelist	11	9.197*
Error	33	0.929

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าปริมาณสารให้ฟองที่ใช้ มีผลต่อคะแนนการเปรียบเทียบด้านกลิ่นของแองเจิลฟู้ดเค้กอย่างไม่มีนัยสำคัญ($p \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารให้ฟองกับตัวอย่างควบคุม พบว่าผู้ทดสอบชอบกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารให้ฟองมากกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย

จากผลการทดลองดังภาพที่ 4.13 และคะแนนทางด้านประสาทสัมผัส สังเกตเห็นว่าตัวอย่างที่มีการเติมสารให้ฟองในปริมาณสูง คือ ในระดับร้อยละ 1.67 และ 2.07 มีการขึ้นฟูสูงแต่ตัวอย่างดังกล่าวก็มีการยุบตัวมากตามปริมาณของสารให้ฟองที่เติม ดังนั้นตัวอย่างที่เติมสารให้ฟองร้อยละ 1.27 โดยน้ำหนัก เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากตัวอย่างมีการขึ้นฟูสูงกว่าตัวอย่างควบคุมปานกลาง และมีการยุบตัวเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างที่เติมสารให้ฟองร้อยละ 0.87 โดยน้ำหนักพบที่ไม่มี การยุบตัว เนื่องจากตัวอย่างไม่ขึ้นฟู