บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ คือ กากมอลท์สดที่เหลือจากการผลิตเบียร์ มีลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของกากมอลท์สด

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมอลท์สด โดยวิเคราะห์ค่าต่อไปนี้ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากมอลท์สด

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	75.64 ± 0.11
โปรตีน[1]	15.53 ± 0.13
ไขมัน[1]	6.02 ± 0.14
เส้นใย (crude fiber)[1]	13.62 ± 0.57
คาร์โบไฮเดรต[1]	61.96 ± 0.41
เถ้า[1]	2.8713 ± 0.18

1 ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง

2 ศึกษาการใช้โปรตีนจากกากมอลท์ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตด้วยเอนไซม์

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่

2.1.1 ผลของขนาดตะแกรงต่อปริมาณโปรตีน (%Protein) เปอร์เซนต์ผลผลิตที่ได้ (%Yield) เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีน (%Protein Yield)

ร่อนกากมอลท์สดผ่านตะแกรงขนาด 35, 50, 70, 100, 200 และ 325 mesh โดยใช้น้ำในการร่อนอัตราส่วน 2:1 (กากมอลท์:น้ำ) และปั่นของผสมน้ำและกากมอลท์ที่ความเร็ว ขนาดกลางเป็นเวลา 1 นาที ร่อนและปั่นซ้ำ 2 ครั้ง วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และชั่งน้ำหนักผลผลิตที่ได้ คำนวณเปอร์เซนต์ผลผลิต และเปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีน โดยจะเลือกขนาดตะแกรงที่ให้ปริมาณเปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีนสูงสุด ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีน เปอร์เซนต์ผลผลิต เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีนแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโปรตีน, เปอร์เซนต์ผลผลิต (%Yield) และ เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีน (%Protein Yield) ที่ได้ เมื่อร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35, 50, 70, 100, 200 และ 325 mesh

ขนาดตะแกรง (mesh)	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	โปรตีน	ผลผลิต*	ผลผลิตโปรตีน**
35	29.65 ^{d} ± 0.30	25.42 ^{a} ± 0.35	7.57 ^{a} ± 0.06
50	32.23 ^{c} ± 0.62	24.18 ^{b} ± 0.32	7.79 ^{a} ± 0.25
70	32.47 ^{c} ± 0.51	20.08 ^{c} ± 0.21	6.52 ^{b} ± 0.04
100	35.57 ^{b} ± 0.32	13.84 ^{d} ± 0.35	4.92 ^{d} ± 0.15
200	37.44 ^{a} ± 0.41	14.09 ^{d} ± 0.56	5.28 ^{c} ± 0.19
325	36.07 ^{b} ± 0.22	2.41 ^{e} ± 0.50	0.87 ^{e} ± 0.18

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

* ผลผลิต คือ ร้อยละของปริมาณส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรง

** ผลผลิตโปรตีน คือ ร้อยละของโปรตีนที่มีในส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงในปริมาณผลผลิตที่ร่อนได้

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีน, เปอร์เซนต์ผลผลิต (%Yield) และ เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีน (%Protein Yield) ที่ได้ เมื่อร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35, 50, 70, 100, 200 และ 325 mesh

SOV	df	MS.		
		%โปรตีน	%ผลผลิต	%ผลผลิตโปรตีน
Treatment	5	147.63*	217.55*	746.16*
Error	12	0.17	0.16	0.03

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนมีผลต่อปริมาณโปรตีนเปอร์เซนต์ผลผลิต เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีนที่ได้ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น และเปอร์เซนต์ผลผลิตลดลง เมื่อขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนมีความละเอียดมากขึ้น เมื่อคำนวณเปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีนของอนุภาคที่ร่อนได้พบว่า ขนาดตะแกรง 35 และ 50 mesh จะให้เปอร์เซนต์ผลผลิตโปรตีนสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณเปอร์เซนต์ผลผลิตจะเห็นว่าขนาดตะแกรง 35 mesh จะให้ปริมาณเปอร์เซนต์ผลผลิตมากกว่า 50 mesh ($p \leq 0.05$) จึงเลือกตะแกรงขนาด 35 mesh ใช้ในการร่อนแยกอนุภาคโปรตีนของกากมอลท์สำหรับศึกษาภาวะในการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ต่อไป

2.1.2 ผลของปริมาณแอลกอฮอล์ และเวลาในการสกัดไขมันต่อปริมาณไขมันที่สกัดออก

สกัดไขมันจากอนุภาคโปรตีนของกากมอลท์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 29.65 โดยน้ำหนัก แปรปริมาณอนุภาคโปรตีนต่อ แอลกอฮอล์ เป็น 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 และ 1:60 โดยน้ำหนักแห้ง และเวลาสกัดแปรเป็น 1 และ 2 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณไขมันที่สกัดออกไปได้ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4-4.6

ตารางที่ 4.4 ปริมาณไขมันจากอนุภาคโปรตีน ที่สกัดโดยแปรปริมาณอนุภาคโปรตีนต่อเอธานอลเป็น 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 และ 1:60 และสกัดเป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	กากมอลท์:เอธานอล (โดยน้ำหนักแห้ง)	ค่าเฉลี่ยปริมาณไขมัน±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
1	1:20	2.82 ± 0.15
	1:30	3.70 ± 0.05
	1:40	4.87 ± 0.10
	1:50	4.99 ± 0.08
	1:60	4.39 ± 0.08
2	1:20	3.07 ± 0.10
	1:30	3.43 ± 0.04
	1:40	5.00 ± 0.02
	1:50	4.97 ± 0.09
	1:60	4.40 ± 0.21

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณไขมันที่สกัดด้วยเอธานอลจากอนุภาคโปรตีน โดยแปรปริมาณอนุภาคโปรตีนต่อเอธานอลเป็น 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 และ 1:60 และสกัดเป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมง

SOV	d.f.	MS
เวลาการสกัด (A)	1	0.002
กากมอลท์ต่อเอธานอล(B)	4	3.142*
AB	4	0.038
Error	10	0.034

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณไขมันที่สกัดได้จากอนุภาคโปรตีน (แสดงผลดังตารางที่ 4.5) พบว่า เวลาสกัดและอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณเอธานอลกับเวลาสกัดไม่มีผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ ($p>0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันที่สกัดได้ โดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของอัตราส่วนอนุภาคของโปรตีนต่อเอธานอล ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันที่สกัดได้ โดยแปรปริมาณเอธานอล และเวลาในการสกัด เมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณเอธานอล

กากมอลท์ : เอธานอล (โดยน้ำหนักของแข็ง)	ค่าเฉลี่ยปริมาณไขมัน ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ร้อยละโดยน้ำหนักของแข็ง)
1:20	$2.94^{c} \pm 0.21$
1:30	$3.56^{b} \pm 0.30$
1:40	$4.93^{a} \pm 0.09$
1:50	$4.98^{a} \pm 0.07$
1:60	$4.89^{a} \pm 0.13$

a,b,c มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณไขมันที่สกัดออกมาได้ โดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณเอธานอล พบว่า อัตราส่วนอนุภาคโปรตีนต่อเอธานอล 1:40, 1:50 และ 1:60 สกัดไขมันออกได้สูงสุด แต่เนื่องจากการใช้อัตราส่วน 1:40 จะใช้ปริมาณเอธานอลน้อยกว่าดังนั้นจึงเลือกสภาวะ 1:40 ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลองขั้นต่อไป

2.1.3 ปริมาณเอธานอลที่เหลือในตัวอย่างที่สกัดไขมันด้วยเอธานอล

นำกากมอลท์ที่ผ่านการสกัดไขมันด้วยเอธานอลไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณเอธานอลตกค้างด้วยเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu, 7AG) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีเอธานอลเหลืออยู่ประมาณ 6.85 ± 0.08 %โดยน้ำหนักแห้ง

2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากมอลท์ (ส่วนโปรตีน) ที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบ กากมอลท์ส่วนโปรตีนที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบมีลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของกากมอลท์ส่วนโปรตีนที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิเคราะห์หาค่าต่อไปนี้ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7

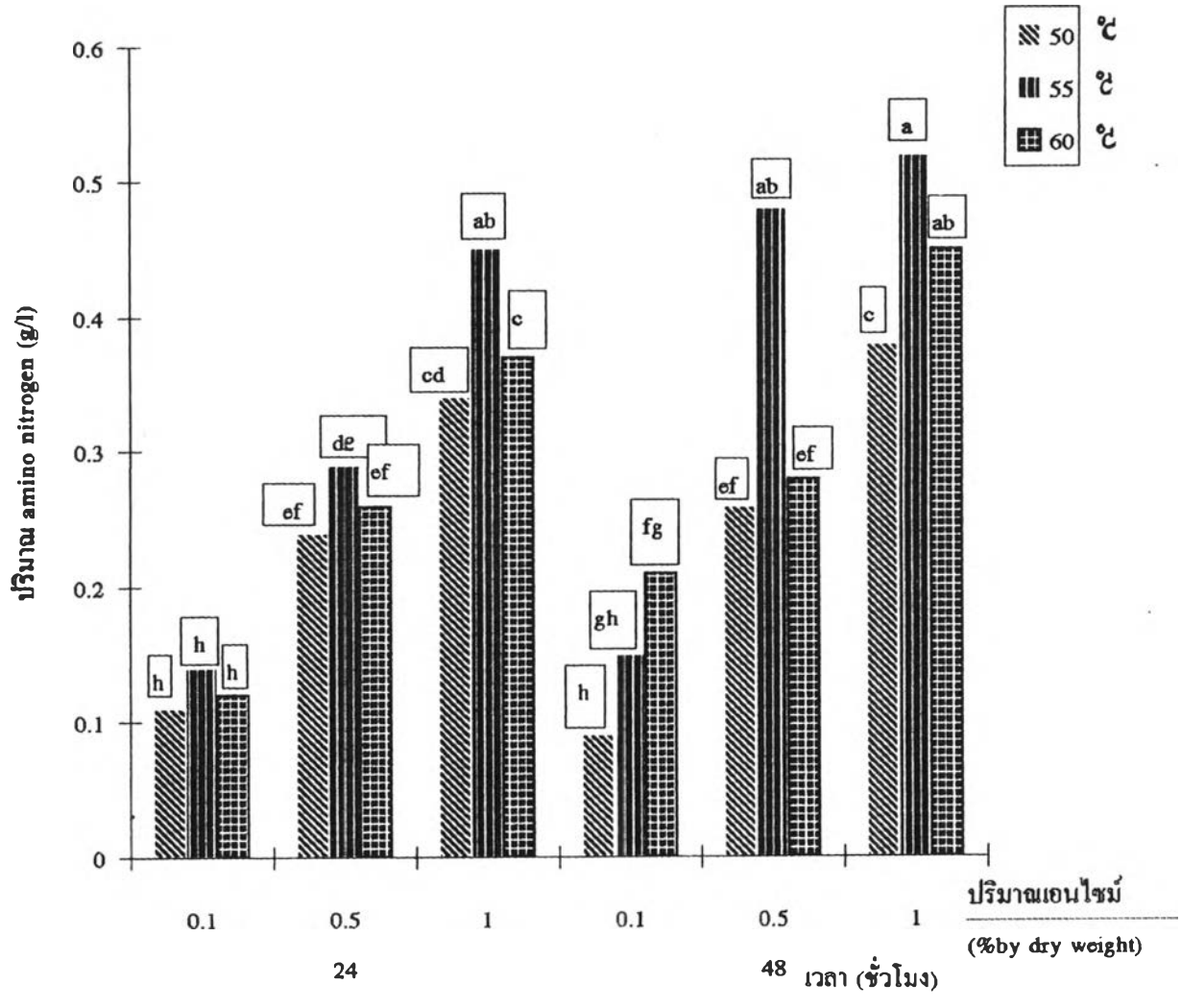
ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของกากมอลท์ที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	3.90 ± 0.01
โปรตีน	41.22 ± 0.40
ไขมัน	1.16 ± 0.07
เส้นใย (crude fiber)	น้อยมาก
คาร์โบไฮเดรต	51.19 ± 0.13
เถ้า	2.5313 ± 0.05

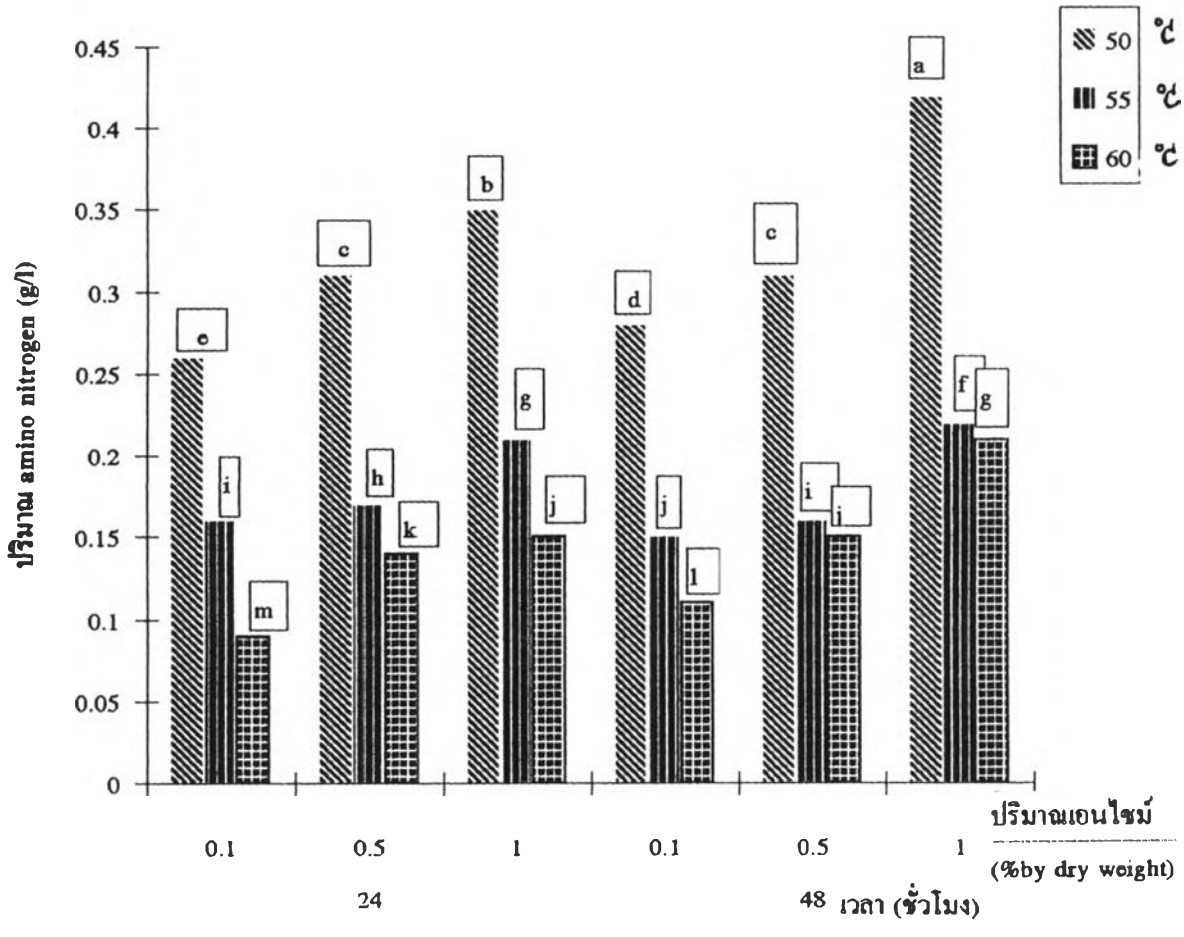
จากตาราง 4.7 พบว่ากากมอลท์หลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะมีปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 41.22 และมีปริมาณไขมันเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1.16

2.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซ์โปรตีนจากกากมอลท์ด้วยเอนไซม์

กากมอลท์ที่ผ่านการเตียมวัตถุดิบโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh และกำจัดไขมันด้วยเอธานอลในอัตราส่วน อนุภาคโปรตีน:เอธานอล 1: 40 เวลา 1 ชั่วโมง ไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ ปาเปน และ โบรมิเลน โดยใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของส่วนอนุภาคโปรตีน และอุณหภูมิในการย่อยเป็น 50, 55 และ 60 ^{o}C ที่เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จะประเมินค่าด้วยการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโนไนโตรเจน ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.3-4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ amino nitrogen ของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกากมอลท์ที่ผ่านการย่อยสลายที่ pH 7 อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 ^{o}C ด้วย เอนไซม์โบรมิเลนและปาเปน ปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้ง เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง แสดงในตารางที่ 4.8 และการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของไฮโดรไลเซตผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมง และโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปนที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมงแสดงในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.3 ปริมาณ amino nitrogen (g/l) ของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกากมอลท์ที่ผ่านการย่อยสลายที่ pH 7 อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 ^{o}C ด้วยเอนไซม์โบรมิเลนปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของกากมอลท์เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง (ตารางค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ. 2)



รูปที่ 4.4 ปริมาณ amino nitrogen (g/l) ของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากกากมอลท์ที่ผ่านการย่อยสลายที่ pH 7 อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 ^{o}C ด้วยเอนไซม์ปาเปนปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของกากมอลท์เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง (ตารางค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ. 2)

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ amino nitrogen ของโปรตีนไฮโดรไลเซต จากกากมอลท์ที่ผ่านการย่อยสลายที่ pH 7 อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 ^{o}C ด้วยเอนไซม์โบรมิเลนและปาเปน ปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของกากมอลท์เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง

SOV	df	MS.	
		เอนไซม์โบรมิเลน	เอนไซม์ปาเปน
อุณหภูมิ (A)	2	0.030*	0.112*
เวลา (B)	1	0.027*	0.003*
ความเข้มข้น (C)	2	0.244*	0.022*
AB	2	0.005*	0.001*
AC	4	0.005*	0.001*
BC	2	0.002*	0.002*
ABC	4	0.004*	0.003*
Error	18	0.001	0.001

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ในการทดลองขั้นนี้ได้แปรอุณหภูมิในการไฮโดรไลซ์เป็น 50, 55 และ 60 ^{o}C แปรเวลาเป็น 24 และ 48 ชั่วโมง และแปรปริมาณเอนไซม์โบรมิเลน เอนไซม์ปาเปน (E/S) เป็น 0.1, 0.5 และ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้นำไปวิเคราะห์ปริมาณ amino nitrogen (ผลต่างระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ไนโตรเจนกับแอมโมเนียคัลไนโตรเจน) เมื่อมีการไฮโดรไลซ์มาก ปริมาณ amino acid nitrogen ก็จะมากขึ้นด้วย จึงใช้ปริมาณ amino nitrogen ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์โปรตีนเป็นเกณฑ์ในการเลือกภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของปริมาณ amino nitrogen ในรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า อุณหภูมิ เวลา ความเข้มข้นเอนไซม์ และอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้งสามมีผลต่อปริมาณ amino nitrogen ของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยของเอนไซม์โบรมิเลน และปาเปน ($p \leq 0.05$) โดยไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน (รูปที่ 4.3) จะมี amino nitrogen สูงที่สุด 0.52 g/L ที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C เวลา 48 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณ amino nitrogen พบว่าไม่แตกต่างจากภาวะการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C เวลา 48

ชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน และที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C เวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน ดังนั้นจึงเลือกใช้ที่ภาวะความเข้มข้น 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน เพราะใช้ปริมาณเอนไซม์น้อยกว่า และแสดงว่าที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C มีความเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์โบรมิเลนในการไฮโดรไลซ์โปรตีนจากกากมอลท์มากกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 60 ^{o}C ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 55^{o}C คือที่ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน และใช้เวลาในการไฮโดรไลซ์ 48 ชั่วโมง สำหรับการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน (รูปที่ 4.4) พบว่า มี animo nitrogen สูงที่สุด 0.42 g/L ที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C เวลา 48 ชั่วโมง และใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน แสดงว่าที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C มีความเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ปาเปนในการไฮโดรไลซ์โปรตีนจากกากมอลท์มากกว่าที่อุณหภูมิ 55 และ 60 ^{o}C ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C คือที่ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน และใช้เวลาในการไฮโดรไลซ์ 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.9 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 % โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมง และโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปนที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมง

ชนิดเอนไซม์	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
โบรมิเลน	6.55 ^{a} ± 1.57
ปาเปน	5.50 ^{b} ± 1.20

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

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมง และโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปนที่อุณหภูมิ 50 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.0 %โดยน้ำหนักแห้ง เวลา 48 ชั่วโมง

SOV	df	MS.
Treatment	1	11.025*
Panelist	19	2.657
Error	19	1.341

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนกลิ่นของโปรตีนไฮโดรไลเซต พบว่า โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของกากมอลท์ เวลา 48 ชั่วโมง ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนกลิ่นหอมของธัญญพืชสูงสุด

จากการประเมินคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซต โดยใช้ปริมาณอะมิโนไนโตรเจน และผลทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นของโปรตีนไฮโดรไลเซต จึงเลือก ภาวะการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน อุณหภูมิ 55 ^{o}C เวลา 48 ชั่วโมง สำหรับผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซตเพื่อศึกษาการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่ต่อไป

2.4 ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซต

โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ผลิตได้จากโปรตีนของกากมอลท์มีลักษณะปรากฏดังแสดงใน รูปที่ 4.5

รูปที่ 4.5 ลักษณะปรากฏของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากโปรตีนจากกากมอลท์

ไฮโดรไลเซตที่ได้มีลักษณะปรากฏดังนี้

- สีเหลืองอ่อนใสมีค่า L = 29.13 $\pm$ 0.33, a* = -1.29 $\pm$ 0.05, b* = +3.72 $\pm$ 0.17
- รสหวานและขมเล็กน้อย
- กลิ่นธัญญพืช (คล้ายกลิ่นกากมอลท์สด)
- ปริมาณของแข็งประมาณ 3 ^{o}Brix
- ละลายน้ำได้ดี
- pH 5.2

นำผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเซตไปตรวจวิเคราะห์ชนิด และปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซตด้วยเครื่องเครื่อง Amino acid analyzer (Beckman, High Performance Analyzer system 6300) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยย่อยสลายด้วยกรดก่อนการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซต

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (g amino acid/100 g sample)
Aspartic acid	0.1086
Threonine**	0.0735
Serine	0.0884
Glutamic acid	0.6847
Proline	0.3634
Glycine	0.0704
Alanine	0.0787
Cysteine	ND*
Valine**	0.0924
Methionine**	0.0250
Isoleucine**	0.0790
Leucine**	0.1313
Tyrosine	0.0822
Phenylalanine**	0.1161
Histidine	0.0381
Lysine**	0.0692

* ND = Not detected, ตรวจไม่พบ

**เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย

2.5 ศึกษาการใช้ประโยชน์โปรตีนไฮโดรไลเซตในน้ำดื่มเกลือแร่

เตรียมโปรตีนไฮโดรไลเซตจากการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์โบรมิเลนที่อุณหภูมิ 55 ^{o}C ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5 %โดยน้ำหนักแห้งของอนุภาคโปรตีน เวลา 48 ชั่วโมง นำไปใช้ในส่วนผสมเครื่องดื่มเกลือแร่ 3 สูตร คือ

สูตรที่ 1 ไม่มีการเติมกลิ่น

สูตรที่ 2 เติม กลิ่นPineapple

สูตรที่ 3 เติมกลิ่นTutti frutti

ทดสอบทางประสาทสัมผัสเครื่องดื่มเกลือแร่ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่สูตรต่าง ๆ

สูตรเครื่องดื่มเกลือแร่	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ^{ns}	การยอมรับรวม
สูตรที่ 1	7.00 ±1.18	6.50^{ab}±1.50	6.50^{b}±1.75	7.10±0.94	6.50^{b}±1.77
สูตรที่ 2	7.10 ±1.09	7.50^{a}±1.02	7.30^{a}±1.31	7.00±0.97	7.65^{a}±1.11
สูตรที่ 3	6.98 ±1.16	6.10^{b}±1.51	6.40^{b}±1.39	7.05±0.86	6.35^{b}±1.35

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

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยทางประสาทสัมผัส ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่สูตรต่าง ๆ

AOV	df	MS.				
		สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	การยอมรับรวม
Treatment	2	3.750	10.400*	4.867*	1.517	10.117*
Panelist	19	3.925*	3.611*	3.916*	1.933*	3.351*
Error	38	0.236	1.137	1.568	0.394	1.590

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองผู้ทดสอบ มีความเห็นว่า สี และลักษณะปรากฏไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) และมีคะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง แต่ กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวม มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยตัวอย่างสูตรที่ 2 ซึ่งใช้กลิ่น Pineapple มีค่าเฉลี่ยด้านกลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวมสูงที่สุด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินทั้งหมด คือ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวม ของเครื่องดื่มเกลือแร่ อาจสรุปได้ว่า ใช้โปรตีนไฮโดรไลเซตเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มเกลือแร่ได้โดยเป็นตัวให้สีและกลิ่นแก่ผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะปรากฏแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 ลักษณะปรากฏของเครื่องดื่มเกลือแร่

2.6 วิเคราะห์องค์ประกอบของเครื่องดื่มเกลือแร่

วิเคราะห์องค์ประกอบของเครื่องดื่มเกลือแร่ในปริมาตร 100 ซม^3 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ปริมาณองค์ประกอบของเครื่องดื่มเกลือแร่ในปริมาตร 100 ซม^3

องค์ประกอบ	ปริมาณต่อ 100 ซม^3
กลูโคส	6.0 กรัม
โซเดียม	1.09 มิลลิอิควิวาเลนท์
โปแตสเซียม	0.91 มิลลิอิควิวาเลนท์
ซิเตรต	2.01 มิลลิอิควิวาเลนท์

นำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่ไปตรวจวิเคราะห์ชนิด และปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างด้วยเครื่อง Amino acid analyzer (Beckman, High Performance Analyzer system 6300) ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยย่อยสลายด้วยกรดก่อนการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในเครื่องดื่มเกลือแร่

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (g amino acid/100 g sample)
Aspartic acid	0.0824
Threonine**	0.0533
Serine	0.0664
Glutamic acid	0.6270
Proline	0.1036
Glycine	0.0481
Alanine	0.0506
Cysteine	ND*
Valine**	0.0582
Methionine**	0.0197
Isoleucine**	0.0609
Leucine**	0.0971
Tyrosine	0.0441
Phenylalanine**	0.1259
Histidine	0.0244
Lysine**	0.0407

* ND = Not detected, ตรวจไม่พบ

**เป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการ

2.7 ผลการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่

น่าเครื่องดื่มเกลือแร่ ที่เตรียมได้ตามสูตรที่เหมาะสมที่สรุปได้ คือ ผลิตตามสูตรที่ 2 พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 85 ^{O}C 1.5 นาที บรรจุขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4-10 ^{O}C ติดตามการเปลี่ยนแปลง คุณภาพตามระยะเวลาเก็บ 30 วัน สุ่มตัวอย่างมาตรวจในวันที่ 0, 15 และ 30 โดยนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัส,วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์, วัดสี, pH, %Transmittance ที่ 560 nm และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.16-4.22

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{o}C เป็นเวลา 30 วัน

เวลาเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	ลักษณะปรากฏ	การยอมรับรวม
0	7.70 ± 0.84	7.90 ± 0.77	7.90 ± 0.70	8.30^{a} ± 0.64	8.10^{a} ± 0.66
15	7.55 ± 0.92	7.60 ± 0.92	7.70 ± 0.90	8.25^{ab} ± 0.62	8.05^{a} ± 0.67
30	7.40 ± 0.73	7.90 ± 0.76	7.65 ± 0.85	7.7^{bb} ± 0.89	7.45^{b} ± 0.67

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

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{o}C เป็นเวลา 30 วัน

AOV	df	MS.				
		สี	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	การยอมรับรวม
Treatment	2	0.450	0.600	0.350	1.550*	4.617*
Panelist	19	0.887	0.981	0.908	0.676	0.558
Error	38	0.661	0.891	0.613	0.497	0.424

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (แสดงผลดังตารางที่ 4.12) พบว่า ระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อความชอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมลดลง เนื่องจากเมื่อเก็บครบ 30 วัน ผลิตภัณฑ์จะมีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยจึงมีผลทำให้ค่าลักษณะปรากฏ และการยอมรับรวมลดลง แต่ยังอยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก

ตารางที่ 4.18 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และลักษณะปรากฏของเครื่องดื่มเกลือแร่ ที่เก็บที่ 4-10 ^{o}C เป็นเวลา 30 วัน

เวลาเก็บ (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/มิลลิลิตร)	ลักษณะปรากฏของเครื่องดื่ม
0	0	สีเหลืองอ่อนใสไม่มีตะกอน
15	0	สีเหลืองอ่อนใสไม่มีตะกอน
30	<30	สีเหลืองอ่อนมีตะกอนเล็กน้อย

จากผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (แสดงผลดังตารางที่ 4.13) พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นด้วย โดยในวันที่ 30 ของอายุการเก็บ พบจุลินทรีย์ต่ำกว่า 30 CFU ต่อมิลลิลิตร ส่วนปริมาณยีสต์ และราตรวจไม่พบ และลักษณะปรากฏของเครื่องดื่มเกลือแร่เริ่มมีตะกอนเล็กน้อย

ตารางที่ 4.19 ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{o}C เป็นเวลา 30 วัน

เวลาเก็บ (วัน)	ระดับความเข้มของสี		
	L	a *	b *
0	$29.13^{c} \pm 0.30$	$-1.29^{o} \pm 0.05$	$+2.23^{o} \pm 0.04$
15	$30.05^{b} \pm 0.30$	$-1.22^{b} \pm 0.04$	$+2.46^{b} \pm 0.15$
30	$30.44^{a} \pm 0.21$	$-0.67^{a} \pm 0.05$	$+3.16^{a} \pm 0.07$

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

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) ของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{O}C เป็นเวลา 30 วัน

SOV	df	MS.		
		L	a*	b*
Treatment	2	2.71*	0.69*	1.39*
Error	15	0.07	0.001	0.01

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการวัดสี (แสดงผลดังตารางที่ 4.14) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ค่าสีที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลง ($p \leq 0.05$) โดยค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.21 ค่า pH %Transmittance และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{O}C เป็นเวลา 30 วัน

เวลาเก็บ (วัน)	คะแนนเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	pH	%Transmittance	TSS (^{O}Brix)^{ns}
5	$3.55^{c} \pm 0.01$	$95.73^{a} \pm 0.14$	19.72 ± 0.12
15	$3.58^{b} \pm 0.02$	$95.57^{a} \pm 0.34$	19.77 ± 0.12
30	$3.69^{a} \pm 0.03$	$94.98^{b} \pm 0.13$	19.73 ± 0.08

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

ns ไม่มีความแตกต่าง ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า pH %Transmittance และ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเครื่องดื่มเกลือแร่ เก็บที่ 4-10 ^{o}C เป็นเวลา 30 วัน

SOV	df	MS.		
		pH	%Transmittance	%TSS
Treatment	2	0.03*	0.96*	0.001
Error	15	0.001	0.05	0.01

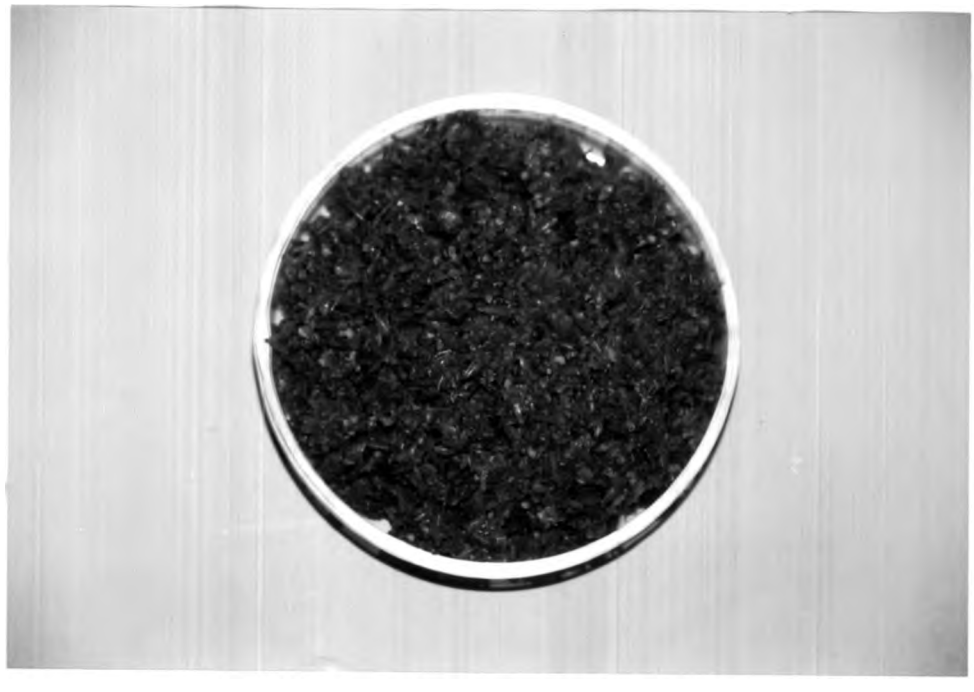
*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (แสดงผลดังตารางที่ 4.15) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($p>0.05$) แต่จะมีผลต่อค่า pH และ %Transmittance ($p \leq 0.05$) โดยค่า pH จะเพิ่มมากขึ้น ค่า %Transmittance จะลดลง

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินทั้งหมดได้แก่ ผลการทดลองทางประสาทสัมผัส ปริมาณจุลินทรีย์ ค่าสี ค่าpH %Transmittance และปริมาณของแข็งทั้งหมด อาจสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเกลือแร่เก็บที่อุณหภูมิ 4-10 ^{o}C สามารถเก็บได้นานอย่างน้อย 30 วัน โดยยังมีคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางเคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ

3. ศึกษาการใช้เส้นใยอาหารจากกากมอลท์ที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบด้วยการแยกส่วนโปรตีนออกจากกากมอลท์โดยนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

เส้นใยอาหารสดที่ผ่านการเตรียมโดยการร่อนแยกส่วนโปรตีนออกไป มีลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ลักษณะปรากฏของส่วนเส้นใยอาหารสดที่แยกโปรตีนออกไปของกากมอลท์

3.1 วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยอาหารในส่วนของเส้นใยที่แยกโปรตีนออกไปจากกากมอลท์แล้ว พบว่ามีปริมาณเส้นใยอาหาร 37.72 $\pm$ 0.11 %โดยน้ำหนักแห้ง

3.2 ศึกษาผลของขนาดตะแกรงต่อปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary fiber)

นำส่วนเส้นใยอาหารสดมาอบแห้งและบด แปรขนาดเส้นใยอาหารโดยร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 50 mesh วิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหาร ผลแสดงในตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ของส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh แสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.23 ปริมาณเส้นใยอาหารของส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh

ขนาดตะแกรง (mesh)	ปริมาณเส้นใยอาหาร ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)
25	37.49 [a] ± 0.26
35	35.83 [b] ± 0.24
50	32.87 [c] ± 0.03

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

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเส้นใยอาหาร ของส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh

SOV	df	MS.
Treatment	2	10.00*
Error	15	0.07

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ขนาดตะแกรงมีผลต่อปริมาณเส้นใยอาหาร ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณเส้นใยอาหารจะลดลงเมื่อขนาดตะแกรงมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น

3.3 ศึกษาผลของขนาดและปริมาณเส้นใยอาหารที่เหมาะสม ที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้

แปรขนาดตะแกรงที่ใช้ในการแยกขนาดเป็น 3 ระดับ คือ 25, 35 และ 50 mesh โดยใช้เส้นใยอาหารในปริมาณ 5, 10 และ 15 %ของน้ำหนักแป้งผลิตคุกกี้ตามสูตรมาตรฐานวิเคราะห์ผลทางกายภาพโดยวัดค่าการขยายตัวของคุกกี้ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.25-4.27 วิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์คุกกี้ แสดงในรูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของคุกกี้ แสดงในตารางที่ 4.28 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทาง

ประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมแสดงในตารางที่ 4.30 เลือกคุกกี้ที่ให้คะแนนทางประสาทสัมผัสสูงสุดมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.25 ค่าการขยายตัวของคุกกี้ เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh ในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักของแป้ง

ขนาดตะแกรง (mesh)	ปริมาณเส้นใยอาหารที่เติม (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ยการขยายตัวของคุกกี้ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
control		6.76 ± 0.06
25	5	6.26 ± 0.17
	10	6.31 ± 0.23
	15	6.06 ± 0.12
35	5	6.35 ± 0.18
	10	5.88 ± 0.07
	15	5.80 ± 0.17
50	5	6.34 ± 0.24
	10	6.34 ± 0.24
	15	5.87 ± 0.05

ตารางที่ 4.26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการขยายตัวของคุกกี้ เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh ในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักแป้ง

SOV	d.f.	MS.
ขนาดตะแกรง (A)	2	0.103
ปริมาณเส้นใยอาหาร (B)	2	0.384*
AB	4	0.077
error	18	0.030

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนการขยายตัวของคุกกี้ พบว่าขนาดเส้นใยอาหาร และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณกับขนาดเส้นใยอาหารไม่มีผลต่อค่าการขยายตัวของคุกกี้ ($p>0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของคุกกี้ โดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณเส้นใยอาหารผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.27

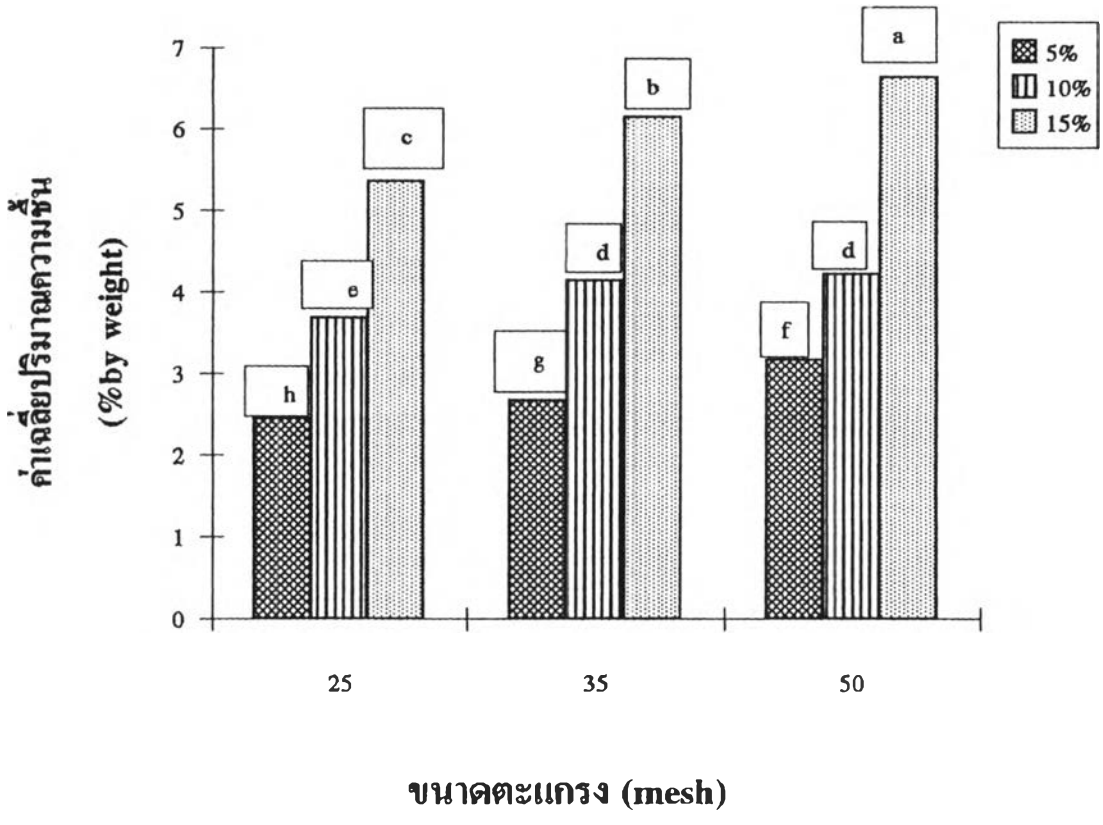
ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าการขยายตัวของคุกกี้ โดยแปรขนาดและปริมาณเส้นใยอาหารเมื่อพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณเส้นใยอาหาร

ปริมาณเส้นใยอาหาร (% โดยน้ำหนักแป้ง)	ค่าเฉลี่ยการขยายตัว ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
5	$6.31^{a} \pm 0.17$
10	$6.17^{a} \pm 0.28$
15	$5.91^{b} \pm 0.16$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของคุกกี้ พบว่า ปริมาณเส้นใยอาหารมีผลต่อการขยายตัว ($p\leq0.05$) เมื่อปริมาณเพิ่มมากขึ้นการขยายตัวของคุกกี้จะลดลง

จากการวิเคราะห์ผลการขยายตัวของคุกกี้ เมื่อเติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh ในปริมาณ 5, 10 และ 15 % ของน้ำหนักแป้ง พบว่า ขนาดเส้นใยอาหารและอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดเส้นใยอาหาร ไม่มีผลต่อการขยายตัวของคุกกี้ ($p>0.05$) จึงเปรียบเทียบค่าการขยายตัวโดยพิจารณาเฉพาะอิทธิพลของปริมาณเส้นใยอาหารพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารจาก 5 เป็น 10 % โดยน้ำหนักแป้ง ไม่มีผลต่อการขยายตัวอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่เมื่อเพิ่มเป็น 15 % โดยน้ำหนักแป้ง จะมีผลทำให้การขยายตัวของคุกกี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)



รูปที่ 4.8 ปริมาณความชื้นของคุกกี้ เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh ในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักแป้ง

(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ.2)

ตารางที่ 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นของคุกกี้ เมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 25, 35 และ 50 mesh ในปริมาณ 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักแป้ง

AOV	df	MS.
ขนาดเส้นใย (A)	2	1.630*
ปริมาณ (B)	2	24.769*
AB	4	0.146*
Error	18	0.007

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างขนาดกับปริมาณเส้นใยอาหารมีผลต่อปริมาณความชื้นของคุกกี้ ($p \leq 0.05$) ขนาดเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh และปริมาณเส้นใยอาหาร 15 %โดยน้ำหนัก ให้คุกกี้ปริมาณความชื้นสูงสุด

ตารางที่ 4.29 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้แปรขนาดเส้นใยอาหาร 25, 35 และ 50 mesh และปริมาณที่เติม 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักแป้งโดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

ขนาดเส้นใยอาหาร (mesh)	ปริมาณเส้นใยอาหารที่เติม (%โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนเฉลี่ย ± เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
control		4.63±0.72	4.20±0.84	4.73±0.42	7.97±0.79
25	5	3.83^{abc}±1.19	3.10^{b}±0.72	3.67^{bc}±0.86	6.77^{ab}±1.02
	10	3.53^{abcd}±1.19	2.73^{bc}±0.67	3.13^{cd}±0.97	5.87^{c}±0.79
	15	3.07^{cd} ±1.37	2.10^{d}±0.76	2.53^{e}±1.17	4.33^{e}±1.70
35	5	3.03^{cd}±1.17	3.17^{b}±0.90	4.07^{ab}±0.73	6.13^{bc}±1.27
	10	3.43^{bcd}±1.27	2.10^{d}±0.54	3.50^{cd}±0.76	5.90^{c}±1.11
	15	2.93^{d}±1.15	2.37^{cd}±0.72	2.93^{de}±0.98	5.03^{de}±1.23
50	5	4.07^{ab}±1.16	3.70^{a}±0.73	4.33^{a}±0.67	7.07^{a}±0.92
	10	4.33^{a} ±0.82	2.87^{bc}±0.42	3.30^{cd}±0.77	5.50^{cd}±0.91
	15	3.66^{abcd}±0.99	2.70^{bc}±0.62	2.93^{de}±1.07	4.93^{de}±1.21

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

ตารางที่ 4.30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้แปรขนาดเส้นใยอาหาร 25, 35 และ 50 mesh และ ปริมาณที่เติม 5, 10 และ 15 %โดยน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

AOV	df	MS.			
		สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
ขนาดเส้นใย (A)	2	8.569*	2.985*	1.457	1.313*
ปริมาณ (B)	2	4.002*	9.346*	19.652*	40.613*
AB	4	0.677	0.430	0.235	2.124
Panelist	14	3.899*	0.950*	3.094*	3.488*
Error	112	1.012	0.413	0.528	1.069

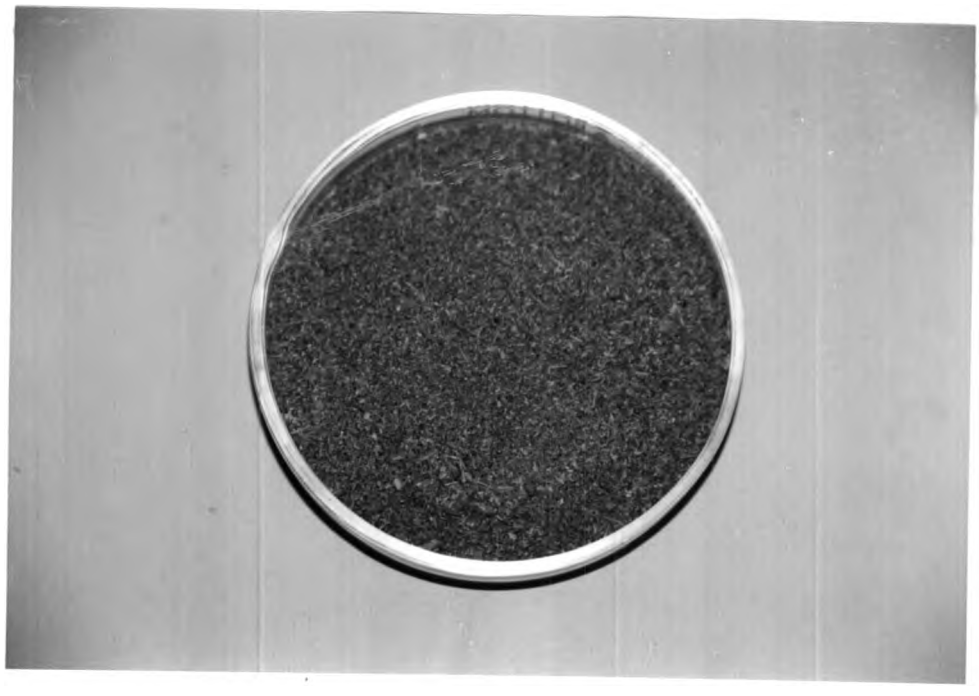
*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลจากการทดลองผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าขนาด และปริมาณเส้นใยอาหารมีผลต่อ สี กลิ่นรส การสัมผัส และการยอมรับรวม ซึ่งพบว่า ขนาดเส้นใยอาหารที่ให้คะแนนสีสูงสุดคือ ขนาดเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 10 % ของน้ำหนักแป้ง แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 %ของน้ำหนักแป้ง สำหรับกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมที่มีคะแนนสูงสุดคือ ขนาดเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้ง

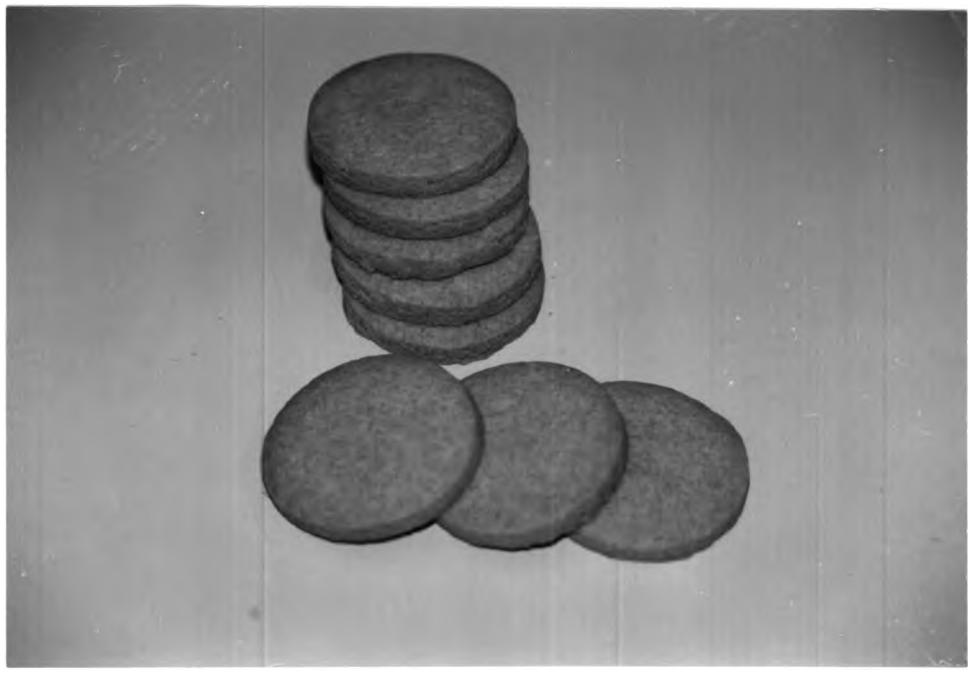
สรุปจากผลการทดลองพบว่าขนาดเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนนสี กลิ่นรส การสัมผัส และการยอมรับรวมสูงสุดจึงเลือกสำหรับใช้ศึกษาภาวะในการเติม emulsifying agent ต่อไป

3.4 ศึกษาคุณภาพของคุกกี้เสริมเส้นใยอาหาร

นำเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ซึ่งมีลักษณะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.9 มาผลิตคุกกี้โดยเติมลงไป 5 %ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งลักษณะปรากฏของคุกกี้แสดงในรูปที่ 4.10 และตรวจสอบคุณภาพคุกกี้ที่เตรียมได้ โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร เถ้า คาร์โบไฮเดรต แสดงผลดังตารางที่ 4.31



รูปที่ 4.9 ลักษณะปรากฏของเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh



รูปที่ 4.10 ลักษณะปรากฏของคุกกี้เติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ในปริมาณ 5 %ของน้ำหนักแป้ง

ตารางที่ 4.31 องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ในปริมาณ 5 %ของน้ำหนักแป้ง

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	2.84 ± 0.16
โปรตีน	8.03 ± 0.00
ไขมัน	11.64 ± 0.35
เส้นใยอาหาร	1.65 ± 0.07
เถ้า	1.34 ±0.05
คาร์โบไฮเดรต	74.50 ± 0.17

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ในปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งพบว่า มีปริมาณของเส้นใยอาหารสูงถึงร้อยละ 1.65 และจะมีมากกว่าคุกกี้ที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหาร (control) ซึ่งมีเส้นใยอาหาร 0.11%โดยน้ำหนัก

3.5 ศึกษาผลของ emulsifying agent ต่อคุณภาพของคุกกี้เสริมเส้นใยอาหารจากกากมอลท์

เลือกขนาดและปริมาณเส้นใยอาหารที่จะใช้ในคุกกี้ตามที่สรุปได้จากการทดลองแรกมาผลิตคุกกี้ด้วยการเติม emulsifying agent 2 ชนิด คือ เลซิติน และ เพกโต-3® (50 % sodium stearoyl lactate + 50 % calcium stearoyl lactylate) โดยแปรปริมาณเลซิตินเป็น 3 ระดับ คือ 1, 2 และ 3 % ของน้ำหนักแป้ง ส่วน เพกโต-3® แปรปริมาณเป็น 3 ระดับคือ 0.1, 0.5 และ 1.0 % ของน้ำหนักแป้ง ประเมินผล emulsifying agent ทั้งสองด้วยคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม แสดงผลดังตารางที่ 4.32 และ 4.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.33 และ 4.35 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.32 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้ง โดยแปรปริมาณเลซิตินเป็น 1, 2 และ 3 % ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

ปริมาณเลซิติน (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส[ns]	การยอมรับรวม
1	$4.60^{a}\pm0.74$	$3.40^{a}\pm0.76$	4.20 ± 0.92	$6.47^{a}\pm1.03$
2	$4.13^{b}\pm0.99$	$3.07^{ab}\pm0.92$	3.80 ± 0.94	$5.67^{ab}\pm1.51$
3	$3.53^{b}\pm0.99$	$2.37^{c}\pm0.56$	4.00 ± 1.07	$5.13^{b}\pm1.32$

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่าง ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้ง โดยแปรปริมาณเลซิตินเป็น 1, 2 และ 3 %ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

AOV	df	MS.			
		สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
Treatment	2	1.756*	1.506*	0.600	6.667*
Panelist	14	1.603*	1.034*	1.726*	2.788*
Error	28	0.351	0.357	0.576	0.958

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ผลจากการทดลองผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าปริมาณเลซิตินไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัส ($p>0.05$) แต่มีผลต่อ สี กลิ่นรส และการยอมรับรวมของคุกกี้ ($p\leq0.05$) โดยตัวอย่างที่ใช้ปริมาณเลซิตินต่ำมีคะแนนด้านสี กลิ่นรส และการยอมรับรวม สูงกว่า ($p\leq0.05$)

ดังนั้นจึงเลือกใช้เลซิตินที่ระดับ 1%โดยน้ำหนักแป้งในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4.34 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้ง โดยแปรปริมาณ เพกโต-3® เป็น 0.1, 0.5 และ 1.0 % ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

ปริมาณเพกโต-3® (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	เนื้อสัมผัส^{ns}	การยอมรับรวม^{ns}
0.1	3.71±0.96	4.03±0.52	4.20±0.77	6.87±0.04
0.5	3.69±0.90	3.83±0.67	4.17±0.84	6.97±1.19
1.0	3.53±0.99	3.80±0.46	4.23±0.68	6.67±1.06

ns ไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งโดยแปรปริมาณเพกโต-3® เป็น 0.1, 0.5 และ 1.0 % ของน้ำหนักแป้ง ด้วยการใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

AOV	df	MS.			
		สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
Treatment	2	3.467	0.239	0.017	0.206
Panelist	14	5.105*	0.437	0.717*	1.641*
Error	28	1.086	0.245	0.523	0.664

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลองผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าปริมาณ เพกโต-3® ไม่มีผลต่อ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ ($p>0.05$)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินทั้งหมด คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมเส้นใยอาหารที่เติมเลซิติน และ เพกโต-3® ซึ่งพบว่า ใช้เลซิติน ที่ระดับ 1 % และ เพกโต-3® ที่ระดับ 0.1 % ของน้ำหนักแป้ง โดยเปรียบเทียบกับ control ผลทางสถิติแสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 %ของน้ำหนักแป้ง โดยแปรปริมาณเลซิติน 1% และ เพกโต-3® 0.1% ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

ชนิด อิมัลซิฟายเออร์ (% โดยน้ำหนักแป้ง)	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส^{ns}	การยอมรับรวม
control	$4.20^{ab}\pm0.94$	$3.37^{b}\pm1.03$	3.73 ± 0.90	$5.63^{b}\pm1.73$
เลซิติน 1%	$4.60^{a}\pm0.74$	$3.40^{b}\pm0.76$	4.20 ± 0.92	$6.47^{ab}\pm1.03$
เพกโต-3® 0.1 %	$3.93^{b}\pm0.96$	$4.03^{a}\pm0.52$	4.20 ± 0.77	$6.87^{a}\pm0.04$

a,b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.37 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัส สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของคุกกี้ที่เติมเส้นใยอาหารร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 %ของน้ำหนักแป้งโดยแปรปริมาณเลซิติน 1% และเพกโต-3® 0.1% ของน้ำหนักแป้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชนิดผู้บริโภคทั่วไป

AOV	df	MS			
		สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
Treatment	2	1.689*	2.117*	0.734	5.474*
Panelist	14	1.641*	0.902	0.748	2.511*
Error	28	0.356	0.498	0.457	1.126

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากผลการวิเคราะห์การใช้ emulsifying agent 2 ชนิด คือ เลซิติน และ เพกโต-3® ที่ระดับ 1.0 และ 0.1 % โดยน้ำหนักแป้งตามลำดับ เทียบกับ control ในคุกกี้เติมเส้นใยอาหารจากกากมอลท์ พบว่า emulsifying agent ไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัส ($p>0.05$) แต่มีผลต่อ สี กลิ่นรส และ

การยอมรับรวมของคุกกี้ ($p \leq 0.05$) โดยคุกกี้ที่ใช้ เลซิตินเป็น emulsifying agent จะมีคะแนนสูงสุดเมื่อเทียบกับคุกกี้ที่ใช้ เพกโต-3® เป็น emulsifying agent ($p \leq 0.05$) แต่ไม่แตกต่างจาก control ($p > 0.05$) ด้านกลิ่นรส คุกกี้ที่ใช้ เพกโต-3® เป็น emulsifying agent จะมีคะแนนสูงสุดเมื่อเทียบกับ คุกกี้ที่ใช้เลซิตินเป็น emulsifying agent และ control ($p \leq 0.05$) และการยอมรับรวมพบว่าคุกกี้ที่ใช้ เพกโต-3® เป็น emulsifying agent คะแนนไม่ต่างจากคุกกี้ที่ใช้ เลซิตินเป็น emulsifying agent ($p > 0.05$) แต่จะมีคะแนนมากกว่า control ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.36 เนื่องจากผู้บริโภคไม่สามารถบอกความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ที่มีการเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % ของน้ำหนักแป้งโดยแปรปริมาณเลซิติน 1 % และ เพกโต-3® 0.1 % ของน้ำหนักแป้ง จึงได้นำคุกกี้ไปตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง TA.XT2 Texture Analyser

3.6 ตรวจวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง TA.XT2 Texture Analyser

ทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของคุกกี้ด้วยเครื่อง TA.XT2 ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ค่าความแข็ง (ค่าความชันของกราฟ) จะใช้สัญญลักษณ์เป็น Grad-FT 1:2 (n/s) เป็นค่าความรู้สึกแรกที่กัดผิวสัมผัสจากข้างนอกเข้าสู่ข้างใน ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าค่อนข้างแข็ง แต่ถ้ามีค่าต่ำแสดงว่าค่อนข้างนุ่ม จะแสดงผลดังตารางที่ 4.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.38 ค่า Grad-FT 1:2 (n/s) (ความรู้สึกแรกที่กัดผิวสัมผัส) ของคุกกี้ที่มีการเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนักแป้ง ปริมาณเลซิติน 1% และเพกโต-3® 0.1 %โดยน้ำหนักแป้ง

อิมัลซิฟายเออร์ (%โดยน้ำหนักแป้ง)	Grad-FT 1:2 (n/s) (ค่าความชันของกราฟ)
control	$77.29^{b} \pm 3.05$
เลซิติน 1 %	$94.40^{a} \pm 1.44$
เพกโต -3® 0.1 %	$89.40^{a} \pm 2.75$

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

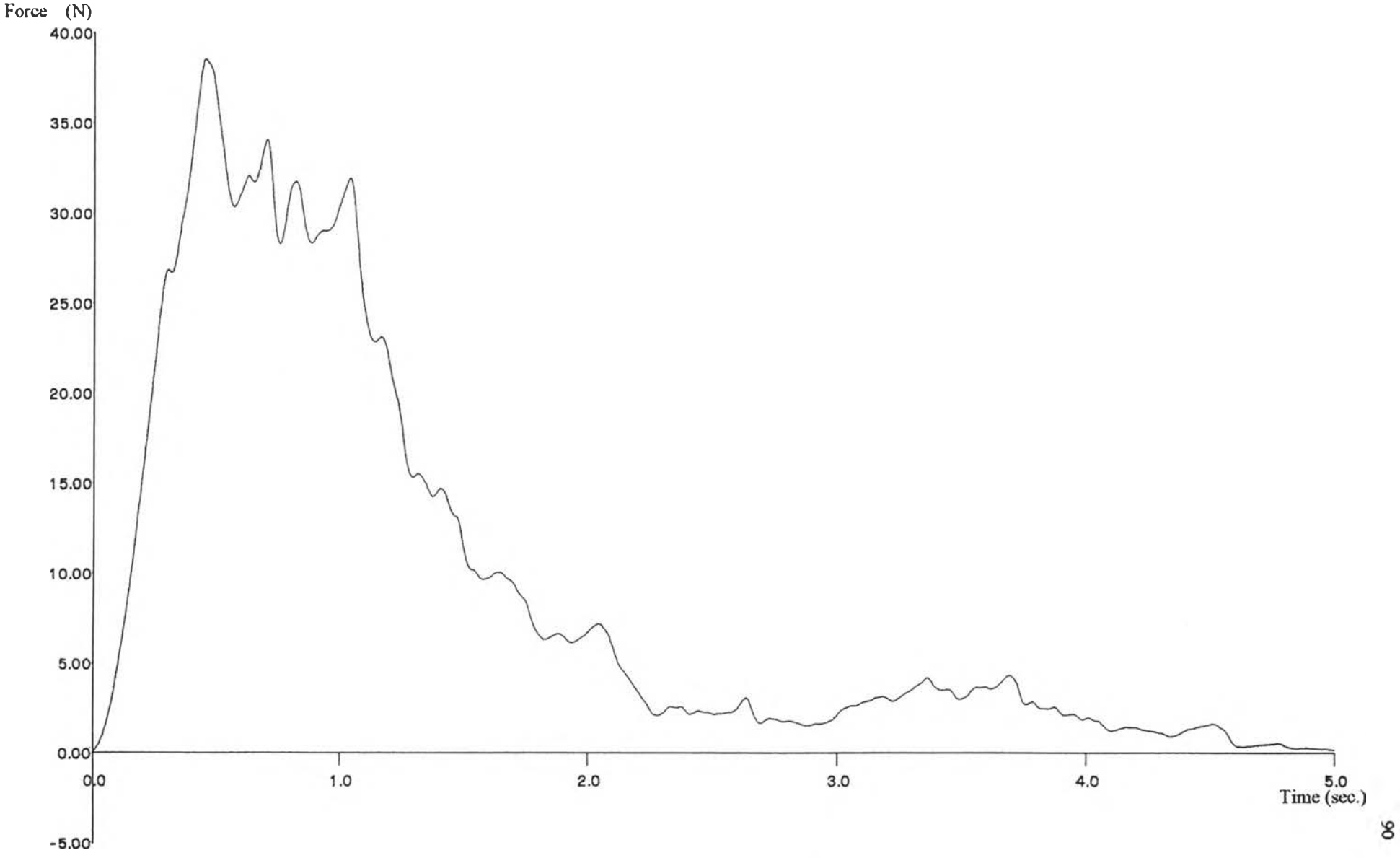
ตารางที่ 4.39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Grad-FT 1:2 (n/s) (ความรู้สึกแรกที่กัดผิวสัมผัส) ของคุกกี้ที่มีการเติมเส้นใยอาหารที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 mesh ปริมาณ 5 %โดยน้ำหนักแป้ง ปริมาณแลซิติน 1% และเพกโต-3® 0.1 %โดยน้ำหนักแป้ง

AOV	df	MS.
Treatment	2	154.82*
Error	3	6.30

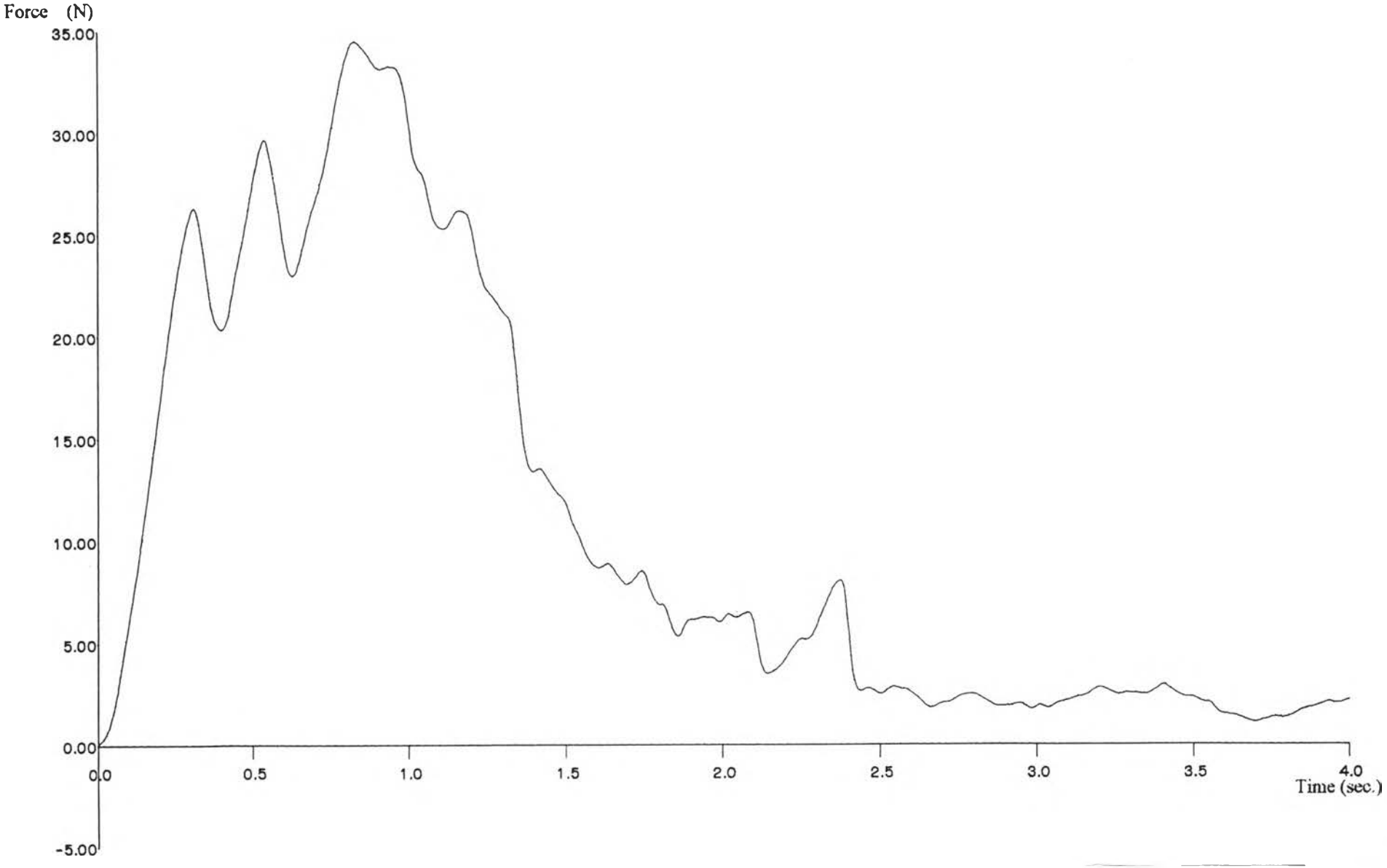
* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าอิมัลซิฟายเออร์ทั้งสองมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$)

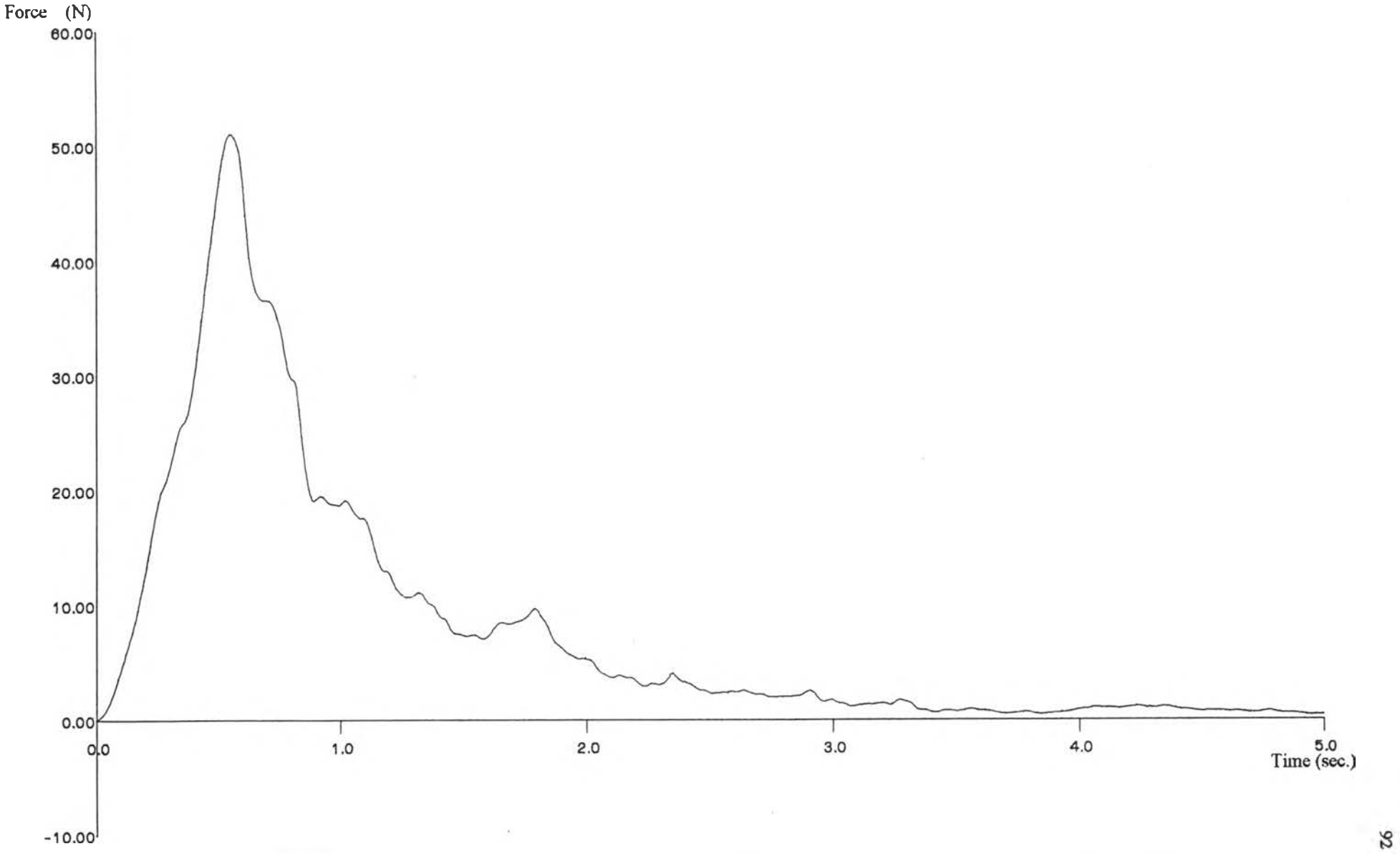
เมื่อพิจารณาลักษณะเส้นแรงและเวลาในการทดสอบได้ผลดังรูปที่ 4.11 (control) รูปที่ 4.12 (เพกโต-3® ปริมาณ 0.1 %ของน้ำหนักแป้ง) รูปที่ 4.13 (เลซิตินปริมาณ 1 %ของน้ำหนักแป้ง)



รูปที่ 4.11 กราฟแรงและเวลาในการวัดความแข็ง (hardness) ของคุกกี้ที่ไม่เติมอิมัลซิฟายเออร์



รูปที่ 4.12 กราฟแรงและเวลาในการวัดความแข็ง (hardness) ของคุกกี้ที่เติมอิมัลซิฟายเออร์เพกโต-3 ® ที่ระดับ 0.1 %ของน้ำหนักแป้ง



รูปที่ 4.13 กราฟแรงและเวลาในการวัดความแข็ง (hardness) ของคุกกี้ที่เติมอิมัลซิฟายเออร์เลซิตินที่ระดับ 1 %ของน้ำหนักแป้ง

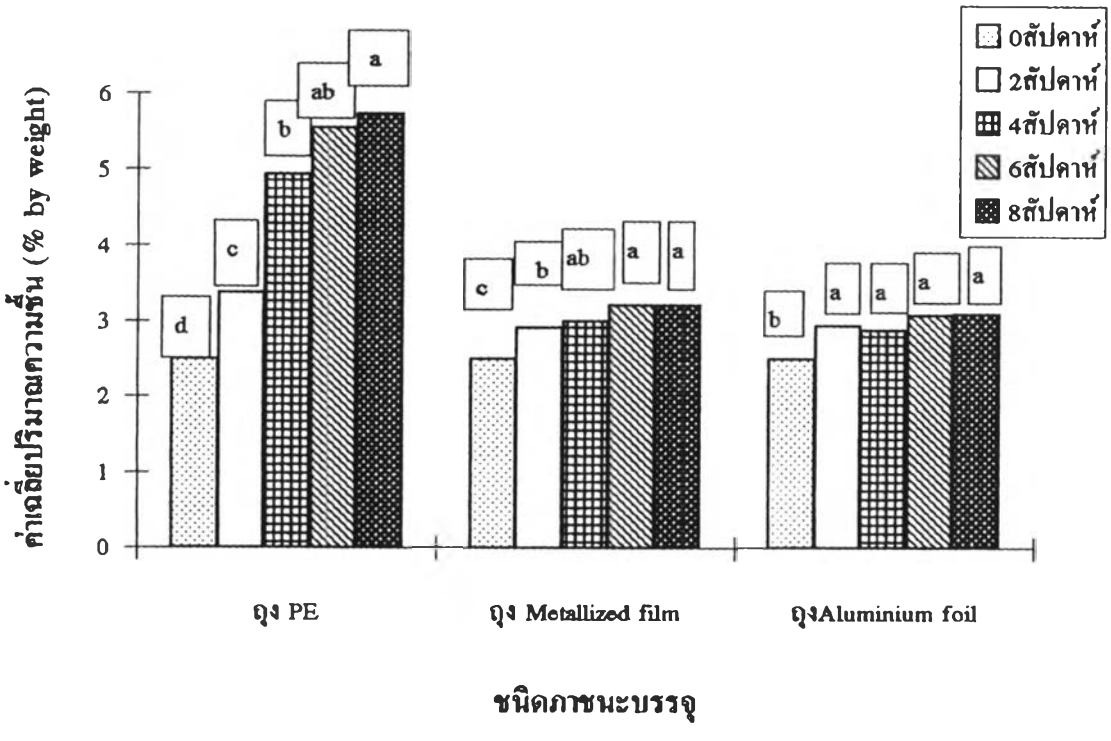
เมื่อพิจารณาดูจากลักษณะเส้นโค้งของแรงกดเพื่อวัดความแข็งของคุกกี้ในรูปที่ 4.11(control) ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมอิมัลซิฟายเออร์ ช่วง 1 วินาทีแรก เส้นกราฟแสดงแรงที่จำเป็นต้องใช้เมื่อหัววัดกดเข้ากับเนื้อตัวอย่างจนเต็มพื้นที่ผิวของหัววัดและตัวอย่างสัมผัสกับแท่นรองจนเต็มผิวสัมผัสเส้นกราฟแรงที่ยาวและสูงชันขึ้นแสดงให้เห็นว่าแรงที่ใช้กดเพิ่มขึ้นในลักษณะที่เกือบเป็นเส้นตรงความชันในช่วงนี้จะบ่งบอกถึงความแข็งของผลิตภัณฑ์ การแตกเล็กๆในครั้งต่อมาจะสังเกตเห็นได้หลังจาก 2 วินาที เส้นแรงจะค่อยๆลดลงเนื่องจากตัวอย่างมีการแตกอย่างทันทีทันใด ตามด้วยยอดแรงอีกหลายจุดซึ่งแสดงถึงการแตกในครั้งต่อ ๆ มา จนถึงวินาทีที่ 5 เริ่มเป็นเส้นขนานซึ่งหมายถึงการแตกโดยสมบูรณ์ของตัวอย่างซึ่งเป็นการแตกแบบแข็งร่วน ส่วนตัวอย่างที่มีการเติม เลซิติน 1 % ของน้ำหนักแป้งซึ่งแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า จะต้องใช้แรงในการกดตัดในช่วง 1 วินาทีแรกสูงหลังจากนั้นตัวอย่างจะแตกเลยเส้นกราฟลักษณะนี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นการแตกแบบ "แข็งเปราะ" ความชันที่สูงมากแสดงถึงแรงต้านของชิ้นตัวอย่างที่มีต่อการกดตัด ชิ้นตัวอย่างที่แข็งมากๆ จะมีความชันสูงและสามารถต้านแรงกดตัดได้มากกว่าชิ้นตัวอย่างที่มีความแข็งน้อย และในตัวอย่างที่เติมเพกโต-3® ปริมาณ 0.1 % ของน้ำหนักแป้ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่า ในช่วงแรกจะต้องใช้แรงในการกดตัดค่อนข้างต่ำจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตัวอย่างจะค่อย ๆ แตกตามแรงที่กระทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งแตกหมด ซึ่งเส้นกราฟลักษณะนี้ชี้ให้เห็นว่าเป็นการแตกแบบ "แข็งร่วน" ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์คุกกี้และเนื่องจากสูตรที่เลือกใช้ในการทดลองเป็นสูตรสำหรับผลิตคุกกี้แบบแข็งร่วน ดังนั้นการใช้เพกโต-3® จะให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามสูตรที่ต้องการ

ดังนั้นจึงเลือกเพกโต-3 มาใช้เป็น emulsifying agent ในคุกกี้ที่จะใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บต่อไป

3.7 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ในระหว่างการเก็บ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพคุกกี้ในระหว่างการเก็บรักษาโดยเลือกชนาด และปริมาณเส้นใยอาหารที่สรุปได้จากการทดลองแรกและใช้ emulsifying agent ที่สรุปได้ในการทดลองถัดมามาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของคุกกี้ในระหว่างการเก็บรักษาโดยเลือกภาชนะบรรจุทั่วไปตามท้องตลาด 3 ชนิด คือ ถุงพลาสติกชนิด Polyethylene (PE) ถุงAluminium foil (PE/Aluminium) และถุง Metallized film(OPP/CPP/Metallized) บรรจุคุกกี้ในภาชนะทั้ง 3 ชนิด ให้มีน้ำหนักถุงละประมาณ 65 กรัม ปิดผนึกถุงบรรจุด้วยเครื่องปิดผนึกชนิดใช้ความร้อน เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 เดือน สุ่มตัวอย่างทุก 2 อาทิตย์ เพื่อนำมาทดสอบ

- ปริมาณความชื้น แสดงในรูปที่ 4.14
  การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.40
- ปริมาณค่าเปอร์ออกไซด์ แสดงในรูปที่ 4.15
  การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.41
- คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสในด้านกลิ่น แสดงในรูปที่ 4.16
  การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.42
- คะแนนเฉลี่ยทางประสาทสัมผัสในด้านเนื้อสัมผัส แสดงในรูปที่ 4.17
  การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงในตารางที่ 4.43
- จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 4.44



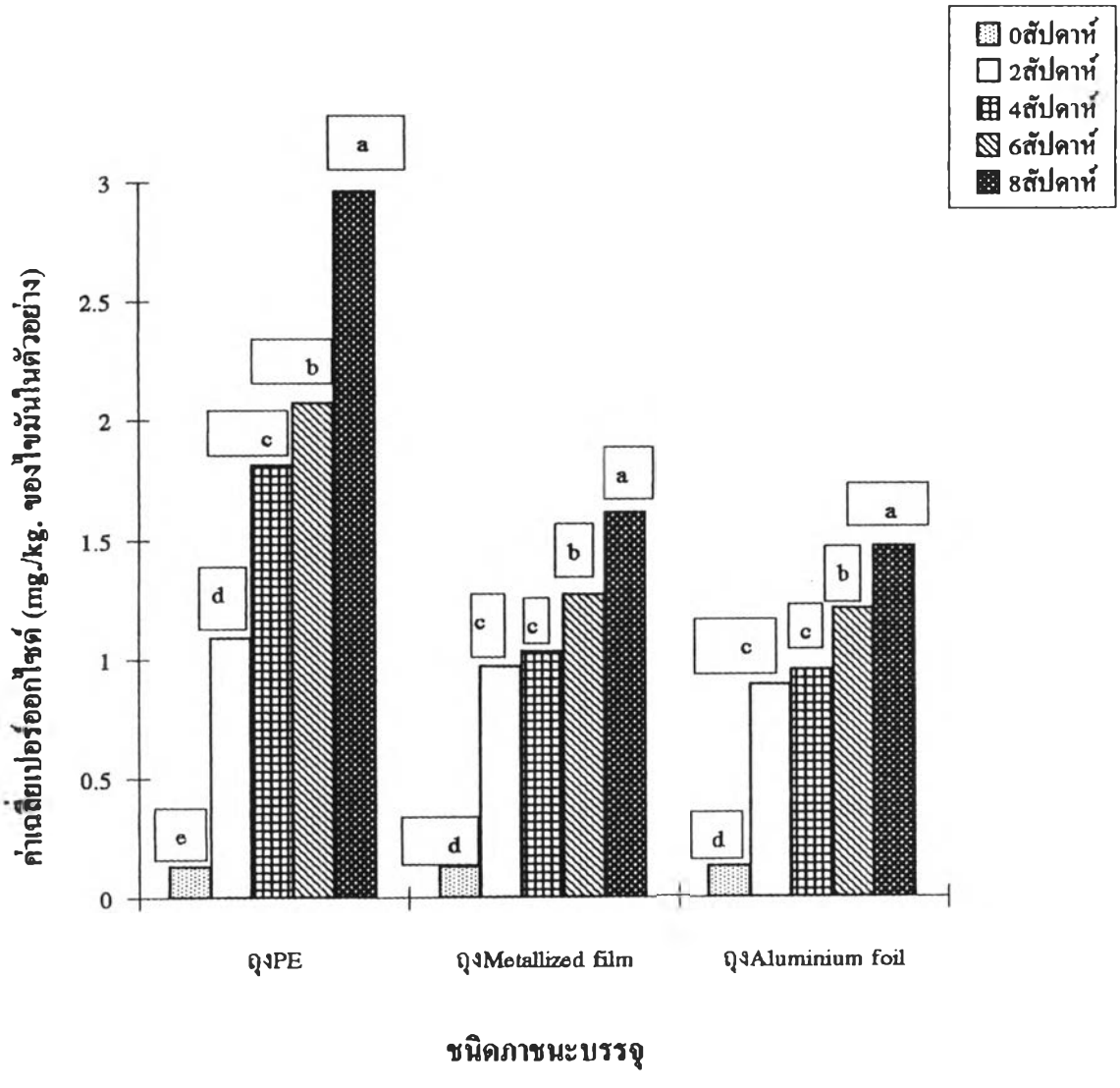
รูปที่ 4.14 ปริมาณความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ.4)

ตารางที่ 4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความชื้นเฉลี่ย (ร้อยละ) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน

AOV	df	MS.		
		ถุง PE	ถุง Metallized	ถุง Aluminium
Treatment	4	4.03*	0.17*	0.12
Error	5	0.06	0.01	0.02

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของคุกกี้เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกันดังรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นของคุกกี้ในถุงพลาสติก PE จะเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ขณะที่ปริมาณความชื้นของคุกกี้ที่เก็บในถุง Metallized film และ Aluminium foil จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นน้อยกว่า ($p \leq 0.05$)



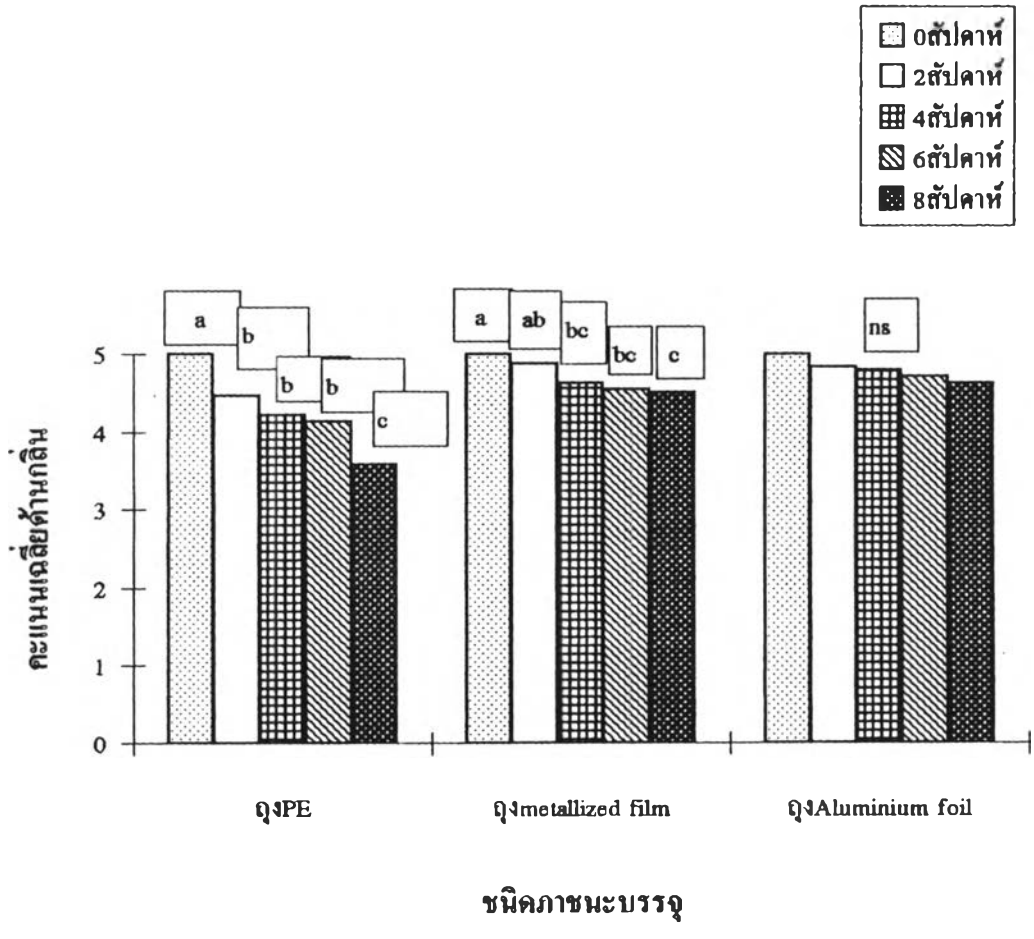
รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ยของคุกกี้ที่เวลาต่างๆ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน (ตารางค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ.5)

ตารางที่ 4.41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ยของคุกกี้ที่เวลาต่างๆ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน

AOV	df	MS.		
		ถุง PE	ถุง Metallized	ถุง Aluminium
Treatment	4	2.27*	0.60*	0.51*
Error	5	0.004	0.002	0.001

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ของคุกกี้ เมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกันดังรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์ออกไซด์ของคุกกี้ในถุงพลาสติก PE จะเพิ่มมากขึ้น ($p \leq 0.05$) ทุกๆ 2 สัปดาห์ ขณะที่ค่าเปอร์ออกไซด์ของคุกกี้ที่เก็บในถุง Metallized film และ Aluminium foil จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์น้อยมาก ($p \leq 0.05$)



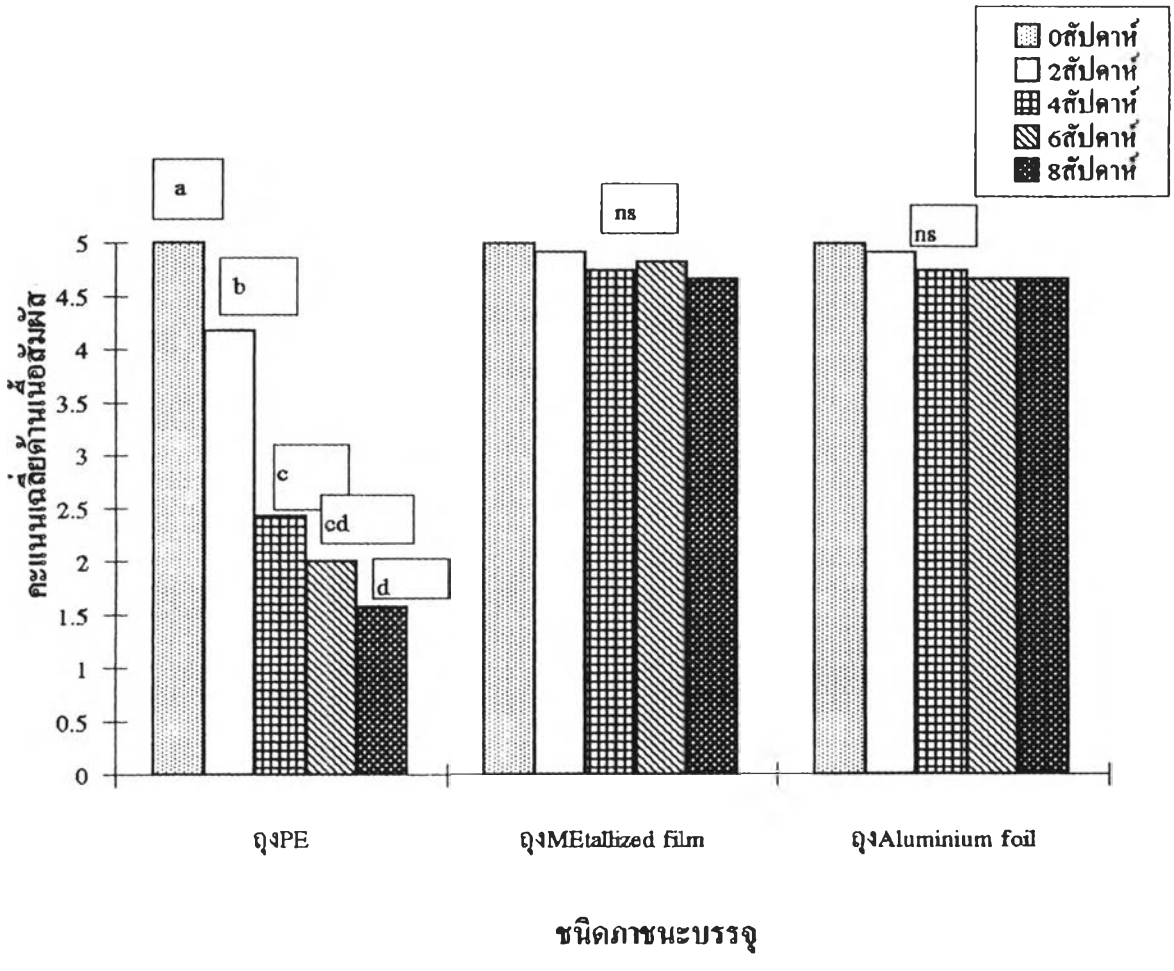
รูปที่ 4.16 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่น (5 คะแนน) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน (ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ.6)

ตารางที่ 4.42 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่น (5 คะแนน) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน

AOV	df	MS.		
		ถุง PE	ถุง Metallized	ถุง Aluminium
Treatment	4	3.194*	0.573*	0.240
Panelist	14	0.101	0.213	0.095
Error	56	0.360	0.159	0.140

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่น (ดังแสดงในรูปที่ 4.15) พบว่า เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้นคะแนนเฉลี่ยในด้านกลิ่นของคุกกี้ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE จะมีคะแนนเฉลี่ยลดลงโดยคะแนนเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์เริ่มต้นจะต่างจากคะแนนเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ($p \leq 0.05$) และในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 มีคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แต่ในสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการศึกษาอายุการเก็บพบว่า คะแนนเฉลี่ยจะลดลง ($p \leq 0.05$) และมีคะแนนอยู่ในช่วงมีกลิ่นหืนเล็กน้อยมีค่าเปอร์ออกไซด์ 2.96 mg./kg. ของไขมันในตัวอย่าง ส่วนคะแนนเฉลี่ยกลิ่นของคุกกี้ที่บรรจุใน Metallized film พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น คะแนนเฉลี่ยจะลดลงเล็กน้อย ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนเฉลี่ยในช่วงเริ่มต้นจะไม่ต่างจากคะแนนเฉลี่ยในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ($p > 0.05$) และในช่วงสัปดาห์ที่ 4 , 6 และ 8 มีคะแนนเฉลี่ยไม่ต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการศึกษาอายุการเก็บพบว่า มีคะแนนอยู่ในช่วงมีกลิ่นหอมปกติมีค่าเปอร์ออกไซด์ 1.60 mg./kg. ของไขมันในตัวอย่าง สำหรับคุกกี้ที่บรรจุในถุง Aluminium foil พบว่า แม้เวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้น คะแนนเฉลี่ยในด้านกลิ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ($p \leq 0.05$) โดยสัปดาห์ที่ 8 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายของการศึกษาอายุการเก็บ พบว่า มีคะแนนอยู่ในช่วงมีกลิ่นหอมดีมากตามลักษณะของผลิตภัณฑ์มีค่าเปอร์ออกไซด์ 1.47 mg./kg. ของไขมันในตัวอย่าง



รูปที่ 4.17 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัส (5 คะแนน) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน
(ตารางค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในภาคผนวก ฉ. 7)

ตารางที่ 4.43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านเนื้อสัมผัส (5 คะแนน) ของคุกกี้ที่เวลาต่างๆเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน

AOV	df	MS.		
		ถุง PE	ถุง Metallized	ถุง Aluminium
Treatment	4	26.108*	0.208	0.275
Panelist	14	0.358	0.139	0.364
Error	56	0.581	0.232	0.193

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสพบว่า เมื่อเวลาการเก็บเพิ่มมากขึ้นคะแนนเฉลี่ยในด้านเนื้อสัมผัสของคุกกี้ที่บรรจุในถุงพลาสติกPE จะมีคะแนนเฉลี่ยลดลงโดยในช่วงสัปดาห์ที่ 2, 4 และ 6 มีคะแนนเฉลี่ยลดลง ($p \leq 0.05$) และในช่วงสัปดาห์ที่ 6 และ 8 คะแนนเฉลี่ยไม่ต่างกัน ($p > 0.05$) ส่วนคะแนนเฉลี่ยเนื้อสัมผัสของคุกกี้ที่บรรจุในถุง Metallized film และ Aluminium foil พบว่าแม้เวลาจะเพิ่มมากขึ้น เนื้อสัมผัสของคุกกี้ก็ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.44 จำนวนผู้ทดสอบที่ยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้ (จากผู้ทดสอบที่เป็นผู้บริโภคทั่วไป 15 คน) ที่เวลาต่างๆ กันเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน

ระยะเวลา (สัปดาห์)	ชนิดของภาชนะบรรจุ		
	ถุงพลาสติก PE	ถุง Metallized film	ถุง Aluminium foil
0	15	15	15
2	12	15	15
4	5	15	15
6	1	15	15
8	0	15	15

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมพบว่า เริ่มมีการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ของคุกกี้ที่บรรจุในถุงพลาสติก PE ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเก็บรักษา ส่วนคุกกี้ที่เก็บใน

ถุง Metallized film และ Aluminium foil ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เมื่อระยะเวลาการเก็บผลิตภัณฑ์คุกกี้ครบ 2 เดือน

จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อทดลองเก็บคุกกี้ที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ภาชนะบรรจุต่างชนิดกัน พบว่าผู้บริโภคเริ่มมีการไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่บรรจุในถุง PE ในสัปดาห์ที่ 2 ส่วนคุกกี้ที่บรรจุถุง Metallized film และ Aluminium foil สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานถึง 2 เดือน โดยที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุทั้ง 2 ชนิดนี้ จึงน่าเก็บได้อย่างน้อย 2 เดือน