บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทเพื่อประยุกต์ใช้ในไส้กรอกอิมัลชัน มีการศึกษา 3 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การเตรียมโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทด้วยเอนไซม์ปาเปน 2) การเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท และ 3) การประยุกต์ใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ในไส้กรอกอิมัลชัน มีรายละเอียดของผลการศึกษา ดังนี้

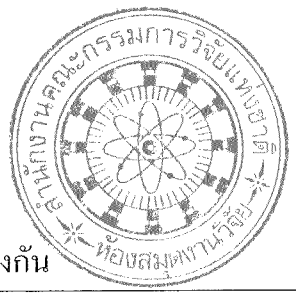
4.1 การศึกษาการเตรียมโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทด้วยเอนไซม์ปาเปน

ศึกษาผลของปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 0.2, 0.4 และ 0.6 ของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และ ระยะเวลาในการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองที่ 30, 40 และ 50 นาที เปรียบเทียบกับโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ (ชุดควบคุม) โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นที่นำมาใช้ในการศึกษามีปริมาณโปรตีนและความชื้นร้อยละ 72.92 และ 5.14 ตามลำดับ โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้ การละลายของโปรตีนที่พีเอชต่างๆในช่วงพีเอช 3-11 ส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวหน้าของโปรตีน (Surface hydrophobicity) และสมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิ้ง (Emulsifying properties) โดยวัดค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying Activity Index, EAI) และดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index, ESI)

4.1.1 การละลายของโปรตีนถั่วเหลืองในช่วงพีเอช 3-11

การวิเคราะห์สมบัติการละลายของโปรตีนที่พีเอช 3, 5, 7, 9 และ 11 ตามวิธีของ Wu *et al.* (1998) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นว่าที่พีเอชเท่ากับ 3 และ 5 หรือ พีเอชใกล้เคียงค่าพีไอของโปรตีนถั่วเหลือง (พีเอช 4.5) การละลายของโปรตีนถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการย่อยหรือชุดควบคุมมีการละลายต่ำที่สุด และเมื่อมีการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นมีผลให้การละลายของโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากช่วงพีเอชใกล้เคียงค่าพีไอ โปรตีนถั่วเหลืองปกติที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์จะมีประจุรวมของโปรตีนเท่ากับศูนย์ จึงทำให้การละลายของโปรตีนต่ำ ส่วนโปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดการคลี่ออกของโมเลกุลโปรตีน หมู่อะมิโนที่มีขั้ว

บางหมู่ที่ถูกฝังอยู่เกิดการคลี่ออก ผิวหน้าของโมเลกุลโปรตีนจึงแสดงหมู่อะมิโนที่มีขั้วมากขึ้น (Sikorski, 2001) ทำให้ค่าพีไอของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลง ที่พีเอชประมาณพีไอโปรตีนจึงมีการละลายมากกว่าโปรตีนปกติ เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น พบว่า การละลายของโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยหรือชุดควบคุมมีการละลายมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท อาจเนื่องมาจากโปรตีนถั่วเหลืองปกติมีส่วนที่มีประจุบนพื้นผิวของโปรตีนมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท เนื่องจากเมื่อโปรตีนผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ นอกจากจะเกิดหมู่อะมิโนที่มีประจุบนผิวของโปรตีน ยังเกิดหมู่อะมิโนที่ไม่มีประจุเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเกิดหมู่ที่ไม่มีประจุมากขึ้นการละลายของโปรตีนจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Tsumura *et al.* (2005) ที่พบว่าเมื่อพีเอชใกล้เคียงค่าพีไอ (4.5) การละลายของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนมีค่ามากกว่าชุดควบคุมหรือโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น การละลายของโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์สูงกว่าโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์



ตารางที่ 6 การละลายของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทที่พีเอชแตกต่างกัน

pH	เวลาในการย่อย (นาที)	การละลาย (%)			
		Control	ปริมาณเอนไซม์		
			0.2% ของ SPC	0.4% ของ SPC	0.6% ของ SPC
3	30	17.46±0.17^{vw}	17.12±0.40^{w}	23.72±0.57^{r}	21.26±0.13st
	40		20.1±0.36^{tu}	24.5±0.54^{r}	21.66±0.20^{s}
	50		18.71±0.28^{uv}	22.39±0.36^{s}	22.1±0.79^{s}
5	30	13.88±0.25^{xy}	13.72±0.12^{y}	19.28±0.43^{u}	19.77±0.14^{u}
	40		15.07±0.35^{xy}	19.74±0.20^{u}	21.17±1.10st
	50		15.15±0.37^{x}	19.01±0.98^{u}	23.85±0.12^{r}
7	30	51.42±0.25^{g}	28.22±0.16^{no}	29.42±0.71^{mn}	26.03±0.35^{q}
	40		28.87±0.12^{mno}	30.07±0.39^{m}	26.45±0.40^{pq}
	50		28.48±0.31^{no}	28.97±0.08^{mno}	27.67±0.24^{op}
9	30	63.56±0.29^{e}	34.46±0.77^{jk}	32.97±0.13^{l}	36.82±0.69^{h}
	40		35.79±0.31^{hij}	34.38±0.37^{k}	36.43±0.58^{h}
	50		34.77±0.46^{ijk}	33.44±0.87^{kl}	36.04±0.33^{hi}
11	30	143.01±2.18^{a}	63.88±0.70^{e}	63.37±0.69^{e}	67.3±0.98^{c}
	40		66.16±0.86^{cd}	65.75±0.80^{d}	71.37±1.81^{b}
	50		65.54±1.81^{d}	61.85±0.73^{f}	72.13±2.85^{b}

a-y : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งและแนวนอนที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

4.1.2 ส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวหน้าของโปรตีน (Surface hydrophobicity)

การวิเคราะห์ส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวหน้าของโปรตีนตามวิธีของ Wu *et al.* (1998) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 7 จะเห็นว่าโปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนมีค่า Surface hydrophobicity เพิ่มขึ้นจากโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อย (10.01) โดยโปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น เป็นเวลา 40 นาที มี Degree of hydrolysis เท่ากับร้อยละ 7.25 มีค่า Surface hydrophobicity สูงที่สุด (12.54) เนื่องจากในโมเลกุลของโปรตีนธรรมชาติจะมีกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่มีขั้ว (Hydrophobic group) ฝังตัวอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่พับอยู่และเมื่อโปรตีนถูกย่อยด้วยเอนไซม์บางส่วน ทำให้เกิดการคลี่ออกของโมเลกุลโปรตีนไม่ใช่แค่กลุ่มอะมิโนที่มีขั้วเท่านั้น แต่จะเกิดการคลี่ออกของกลุ่มอะมิโนที่ไม่มีขั้วด้วย ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสมบัติไฮโดรโฟบิก ที่ผิวหน้าของโปรตีน (Wu *et al.*, 1998) แต่เมื่อมีการย่อยโปรตีนมากขึ้นเรื่อยๆ พบว่า ไฮโดรโฟบิกที่ผิวหน้าของโปรตีนลดลง เนื่องจากการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มากขึ้น ทำให้เกิดเปปไทด์ที่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งเปปไทด์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีสมบัติไฮโดรโฟบิกน้อยกว่าเปปไทด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า (Ortiz and Wagner, 2002) ซึ่งบ่งชี้ว่า สมบัติไฮโดรโฟบิกที่ผิวของโปรตีนสามารถลดลงได้ ถ้ามีการย่อยด้วยเอนไซม์มากเกินไป สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wu *et al.* (1998) ซึ่งศึกษาการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ปาเปนเป็นเวลา 10, 30 และ 60 นาที พบว่า การย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ปาเปนยิ่งมากขึ้นทำให้ไฮโดรโฟบิกที่ผิวของโปรตีนถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น แต่เมื่อย่อยโปรตีนเป็นเวลา 60 นาที ทำให้ไฮโดรโฟบิกที่ผิวของโปรตีนลดลง

ตารางที่ 7 ส่วนที่ไม่ละลายน้ำที่ผิวหน้า (Surface hydrophobicity, S_0) ของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

ปริมาณเอนไซม์	เวลาในการย่อย (นาที)	S_0
control	0	10.01 ± 0.58^{b}
0.2 % ของ SPC	30	10.29 ± 1.16^{b}
	40	12.54 ± 0.64^{a}
	50	12.20 ± 0.63^{a}
0.4 % ของ SPC	30	8.80 ± 0.18^{c}
	40	8.27 ± 0.31^{cd}
	50	7.63 ± 0.15^{de}
0.6 % ของ SPC	30	7.32 ± 0.15^{de}
	40	6.72 ± 0.41^{ef}
	50	6.17 ± 0.27^{f}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.1.3 สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิ้ง (emulsifying properties)

การวิเคราะห์สมบัติการเป็นอิมัลซิฟายอิ้งของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท โดยวัดค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying Activity Index, EAI) และดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index, ESI) ด้วยวิธีของ Pearce and Kinsella (1979) ผลการทดลองค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 8 พบว่า ดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนเพิ่มขึ้นจากโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อย (4.26 m^2/g) โดยโปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น เป็นเวลา 40 นาที มี Degree of hydrolysis เท่ากับร้อยละ 7.25 มีค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงที่สุด (4.95 m^2/g) โดยเมื่อมีการย่อยโปรตีนมากขึ้นเรื่อยๆ พบว่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนมีค่าลดลง อาจเป็นผลจากเมื่อโปรตีนถูกย่อยด้วยเอนไซม์ทำให้เกลียวโปรตีนเกิดการคลี่ออก กรดอะมิโนที่มีประจุและไม่มีประจุที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนเกิดขึ้นที่ผิวของโปรตีนมากขึ้นทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันได้มากขึ้น จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันมากขึ้น แต่เมื่อโปรตีนมี

การย่อยมากขึ้นเรื่อยๆความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนลดลง อาจเนื่องมาจาก เมื่อโปรตีนมีการย่อยมากขึ้นหรือมากเกินไป ทำให้โปรตีนถูกย่อยให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เมื่อโปรตีนมีขนาดเล็กลง ทำให้โปรตีนแสดงความมีประจุมากขึ้นและส่งผลให้สมบัติส่วนที่ไม่มีประจุของโปรตีนลดลง โปรตีนจับน้ำมันได้น้อยลง โปรตีนจึงมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันลดลง ผลของค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Wu *et al.* (1998) ซึ่งได้ศึกษาความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนที่เวลาต่างๆ พบว่า โปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.1 ของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองมีค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันเพิ่มขึ้นจากโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อย ($p<0.05$) และเมื่อโปรตีนมีการย่อยมากเกินไป จะทำให้ค่าดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนมีค่าลดลง

ตารางที่ 8 ดัชนีความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying activity index, EAI) ของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

ปริมาณเอนไซม์	เวลาในการย่อย (นาที)	EAI (m^2/g)
control	0	4.26 ± 0.11^{c}
0.2 % ของ SPC	30	4.15 ± 0.16^{c}
	40	4.95 ± 0.04^{a}
	50	4.63 ± 0.06^{b}
0.4 % ของ SPC	30	2.37 ± 0.04^{d}
	40	2.19 ± 0.06^{e}
	50	2.05 ± 0.03^{f}
0.6 % ของ SPC	30	1.78 ± 0.03^{g}
	40	1.54 ± 0.02^{h}
	50	1.36 ± 0.01^{i}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ส่วนผลการทดลองค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่าการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ปาเปนยิ่งมากขึ้น ทำให้ค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่อโปรตีนถูกย่อยมากขึ้น โปรตีนจะเกิดอิมัลชันได้น้อยลงแต่อิมัลชันที่เกิดมีความคงตัวมาก เมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้เกิดการแยกชั้นน้อยลง จึงมีค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันสูง แต่เมื่อเทียบความสามารถในการเกิดอิมัลชันเมื่อเวลาผ่านไปเท่าๆกัน พบว่าความสามารถในการเกิดอิมัลชันของโปตีนที่ถูกย่อยเพียงเล็กน้อยยังมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงกว่าโปรตีนที่ผ่านการย่อยในปริมาณมาก ผลของค่าดัชนีความคงตัวของอิมัลชันนี้มีความสอดคล้องกับรายงานของ Wu *et al.* (1996) คือ โปรตีนที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีค่าความคงตัวของอิมัลชันสูงกว่าโปรตีนที่ไม่ผ่านการย่อย แต่ความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แต่ละระดับไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีความขัดแย้งกับผลการทดลองที่เกิดขึ้น คือ โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทที่ใช้เอนไซม์ และเวลาในการย่อยมากขึ้น ความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทจะเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก ในการเตรียมตัวอย่างโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทของ Wu *et al.* (1996) มีการปรับพีเอชเท่ากับ 10 และบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน จึงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและคลายเกลียวของโมเลกุลโปรตีน โปรตีนจึงเกิดการกระจายตัวดี เมื่อนำมาย่อยด้วยเอนไซม์ เอนไซม์จึงสามารถย่อยโปรตีนได้อย่างทั่วถึงไม่ว่าที่ระดับการย่อยใดๆ ทำให้พันธะหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของโปรตีนมีลักษณะเดียวกัน ความคงตัวของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทจึงมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 9 ดัชนีความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion Stability Index, ESI) ของซอยโปรตีนไฮโดรไลเสทที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ปาเปน

ปริมาณเอนไซม์	เวลาในการย่อย (นาที)	ESI (min)
control	0	17.99±0.26^{g}
0.2 % of SPC	30	25.47±1.35^{f}
	40	28.3±0.27^{f}
	50	34.27±0.98^{e}
0.4 % of SPC	30	48.66±4.80^{d}
	40	50.46±2.22^{d}
	50	60.62±1.53^{c}
0.6 % of SPC	30	79.17±1.69^{b}
	40	80.77±2.12^{b}
	50	93.72±2.29^{a}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p<0.05)

ดังนั้น ชุดการทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทเพื่อใช้ในการศึกษาการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ในขั้นตอนต่อไป คือ ชุดการทดลองที่มีการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองโดยใช้เอนไซม์ปาเปนร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักของโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น ย่อยเป็นเวลา 40 นาที เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูงที่สุด (p<0.05) และมีความคงตัวมากกว่าชุดควบคุม (p<0.05)

4.2 การศึกษาการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์โดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท

ศึกษาผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทร้อยละ 3-5 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำมันร้อยละ 50-58 โดยน้ำหนัก และปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 0-2 โดยน้ำหนัก โดยวางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) มีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ ความสามารถในการทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion capacity) และความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) โดยวัดค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวัดค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่อง Texture

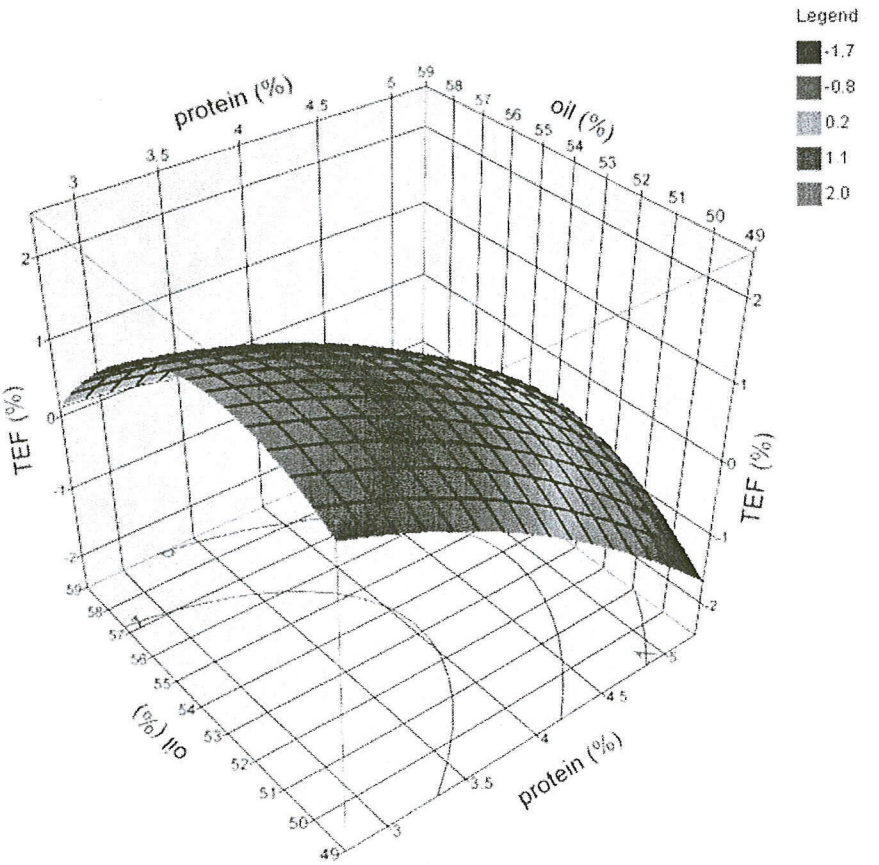
Analyzer รายละเอียดของผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 10 พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ ใช้โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำมันร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก และปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด ได้ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาร้อยละ 0 และค่าความแข็งเท่ากับ 1.43 นิวตัน ซึ่งจากการทดลองเบื้องต้น พบว่า ในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเตรียมไส้กรอกอิมัลชันต้องให้มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณน้ำมันในน้ำมันพรีอิมันซิฟายด์มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอก ถ้ามีปริมาณน้ำมันน้อยจะทำให้ไส้กรอกมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แห้ง กระด้าง จึงต้องเลือกชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เพื่อใช้ในการเตรียมไส้กรอกอิมัลชัน

ตารางที่ 10 ผลของปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาราจีแนน ต่อปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (TEF) และค่าความแข็งของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์

Design point	X1:Protein (%)	X2:Oil (%)	X3:Carrageenan (%)	Y1:TEF (%)	Y2:Hardness (N)
1	4.6	56.4	1.6	0	1.45
2	4.6	56.4	0.4	1.31	1.43
3	4.6	51.6	1.6	0	1.43
4	4.6	51.6	0.4	1.22	1.44
5	3.4	56.4	1.6	0	1.43
6	3.4	56.4	0.4	3.37	1.43
7	3.4	51.6	1.6	0	1.40
8	3.4	51.6	0.4	3.92	1.42
9	5	54	1	0	1.43
10	3	54	1	1.98	1.42
11	4	58	1	0	1.43
12	4	50	1	1.00	1.44
13	4	54	2	0	1.42
14	4	54	0	6.34	0.91
15	4	54	1	0.98	1.41
16	4	54	1	0.98	1.42

4.2.1 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์

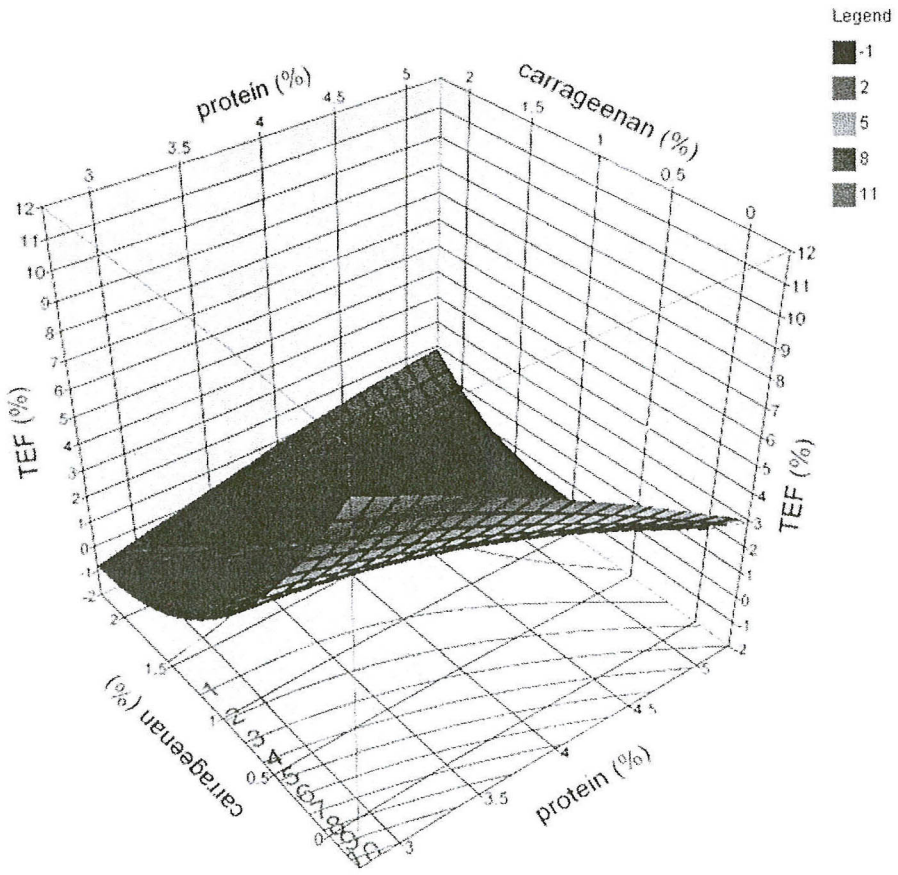
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและปริมาณน้ำมันต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า ที่ปริมาณน้ำมันระดับต่างๆเมื่อโปรตีนเพิ่มขึ้นค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ทำให้มีการเพิ่มของหมู่ที่มีประจุและไม่มีประจุมากขึ้น โปรตีนจึงสามารถจับน้ำและน้ำมันได้มากขึ้น และทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของเจลโปรตีนถั่วเหลืองในโครงสร้างของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เพิ่มมากขึ้น (Renkenma, 2001) จึงทำให้ของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันและน้ำมีค่าลดลง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนและน้ำมันต่อค่า Total expressible fluid (TEF)

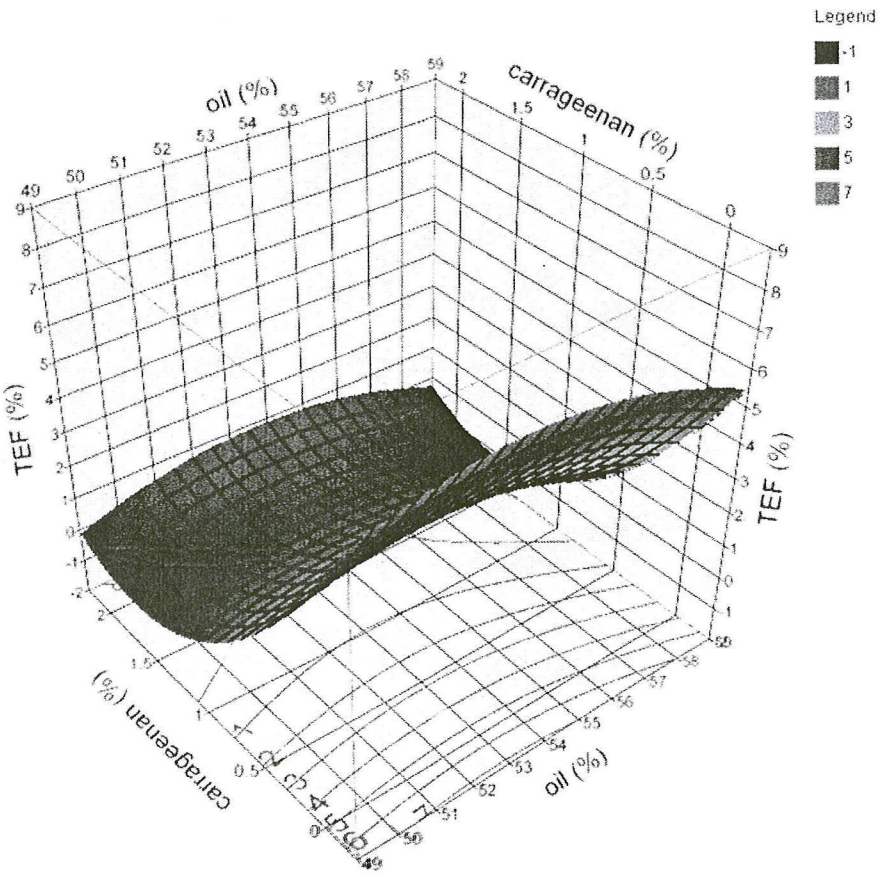
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและปริมาณคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า เมื่อโปรตีนและคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อโปรตีนเพิ่มขึ้นทำให้มีหมู่ที่มีประจุและไม่มีประจุเพิ่มขึ้น จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันมากขึ้น ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าลดลง และเมื่อมีปริมาณคาราจีแนนมากขึ้น คาราจีแนนมีผลให้ความหนืดของ

อิมัลชันเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน และเนื่องจากคาราจีแนนมีโครงสร้างที่มีประจุ คาราจีแนนจึงสามารถช่วยในการจับน้ำของระบบอิมัลชันได้ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาจึงมีค่าลดลง ซึ่งผลของความคงตัวของอิมัลชันเนื่องจากผลของคาราจีแนนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harnsilawat *et al.* (2006) ที่รายงานว่า การเติมคาราจีแนนยิ่งมากขึ้นจะทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้ คาราจีแนนสามารถเกิดอันตรกิริยากับโปรตีนได้ ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต ปริมาณ 3,6-แอนไฮโดร-กาแลคโตส และ Isoelectric point ของโปรตีน ถ้าสารละลายโปรตีนมีค่าต่ำกว่าค่า Isoelectric point มีผลทำให้โปรตีนมีประจุเป็นบวก ส่วนคาราจีแนนไม่มีค่า Isoelectric point และมีประจุเป็นลบจึงทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างกันได้เป็นโปรตีนคาราจีเนท (Protein carrageenate) (Baeza *et al.*, 2002) จึงทำให้ระบบอิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนและคาราจีแนนต่อค่า Total expressible fluid (TEF)

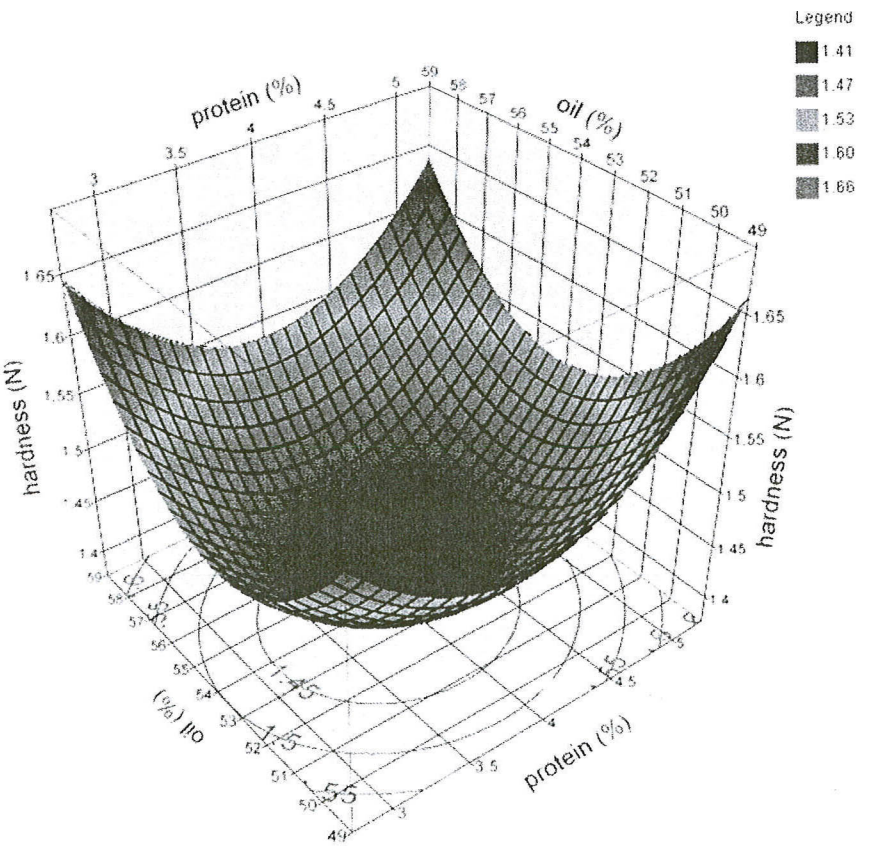
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและปริมาณคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่า ที่ปริมาณน้ำมันระดับต่างๆ เมื่อปริมาณคาราจีแนนเพิ่มขึ้น ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าลดลง เนื่องจากคาราจีแนนมีผลให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้นทำให้ไปขัดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน และคาราจีแนนสามารถช่วยในการจับน้ำของระบบอิมัลชันได้ เนื่องจากในโครงสร้างของคาราจีแนนมีหมู่ซัลเฟตซึ่งเป็นหมู่ที่มีประจุลบ สามารถจับกับประจุบวกของน้ำได้ดี ซึ่งปริมาณหมู่ซัลเฟตจะเป็นอิทธิพลหลักในการจับน้ำของคาราจีแนน นอกจากนี้ คาราจีแนนยังมีหมู่ที่มีประจุบวกหลักๆ คือ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งสามารถจับกับประจุลบของน้ำได้ ส่วนประจุอื่นๆสามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นส่วนน้อย (Campo *et al.*, 2009) ดังนั้น อิมัลชันที่มีการเติมคาราจีแนนจึงมีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลให้ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าลดลง



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและคาราจีแนนต่อค่า Total expressible fluid (TEF)

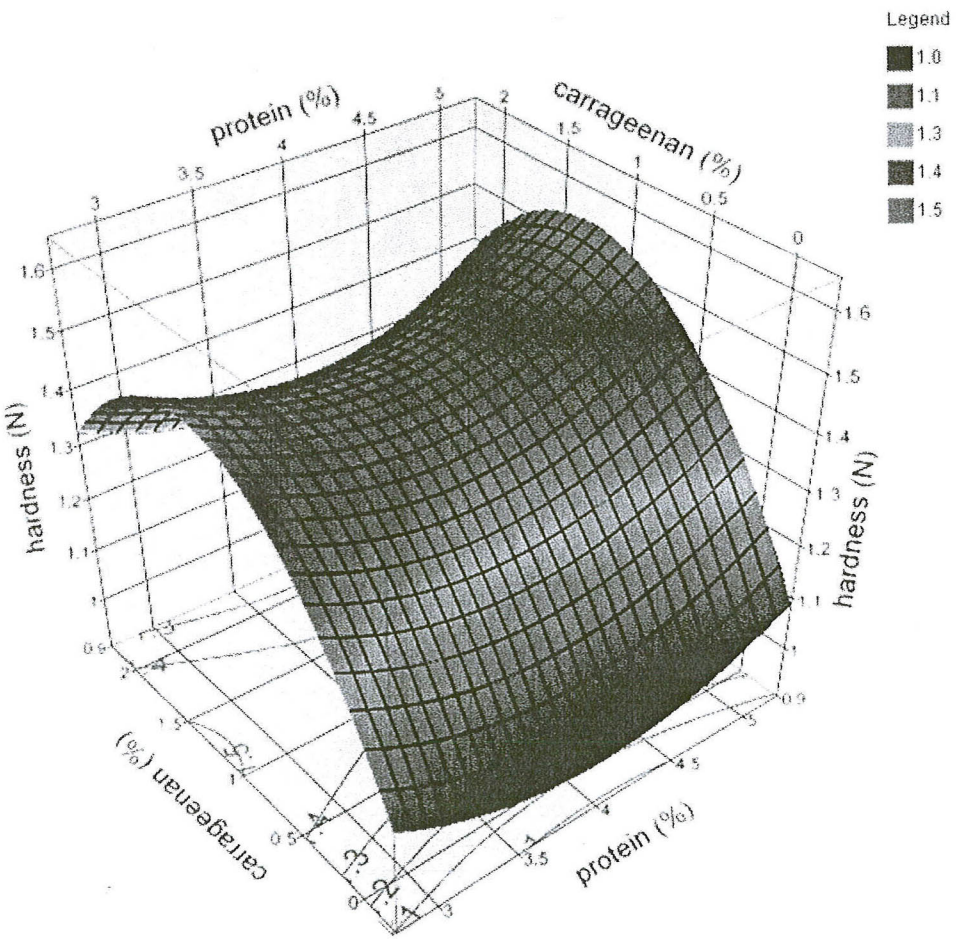
4.2.2 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาราจีแนน ต่อค่าความแข็ง (Hardness) ของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและปริมาณน้ำมันต่อค่าความแข็งของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ดังแสดงในรูปที่ 12 พบว่า เมื่อโปรตีนน้อยกว่าหรือมากกว่าร้อยละ 4 และปริมาณน้ำมันน้อยกว่าหรือมากกว่าร้อยละ 54 ค่าความแข็งที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากทุกชุดการทดลองในช่วงดังกล่าว มีคาราจีแนนผสมอยู่ด้วย จึงอาจจะเป็นผลจากคาราจีแนนที่ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ที่โปรตีนร้อยละ 4 มีบางชุดการทดลองที่ไม่ได้เติมคาราจีแนนเมื่อประมวลผลแสดงเป็นภาพ Response surface โดยโปรแกรม JMP จึงมีลักษณะที่มีค่าความแข็งต่ำ ทั้งนี้ เนื่องจากการออกแบบการทดลองแบบ Central composite design จากการทดลองของ Youssef and Barbut (2009) ได้ศึกษาผลของปริมาณโปรตีนต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้ออิมัลชัน พบว่า เมื่อมีปริมาณโปรตีนมากขึ้นทำให้ค่าความแข็ง (Hardness) ของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เนื่องจากเมื่อโปรตีนมากขึ้น ปริมาณหมู่ที่มีประจุและไม่มีประจุของโปรตีนมากขึ้น ทำให้โปรตีนสามารถจับน้ำและน้ำมันได้มาก และทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของเจลโปรตีนถั่วเหลืองในโครงสร้างของอิมัลชันเพิ่มขึ้น อิมัลชันจึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น



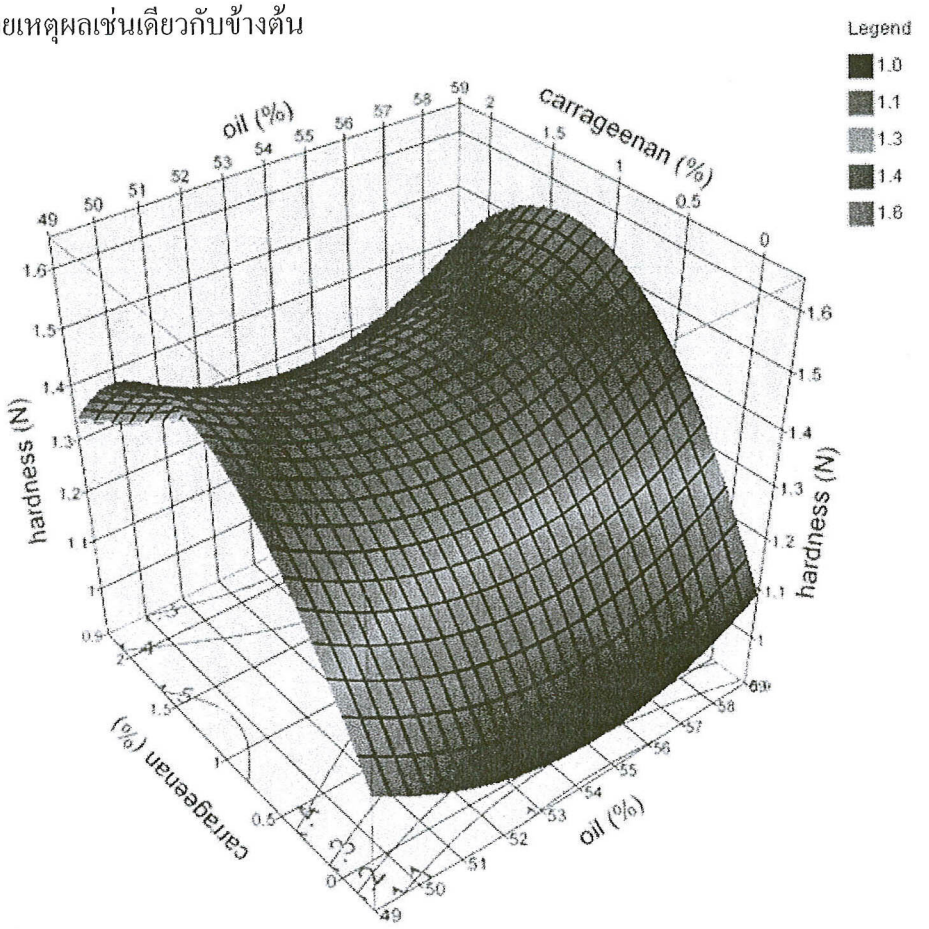
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนและน้ำมันต่อค่าความแข็ง (Hardness)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและปริมาณคาราจีแนนต่อค่าความแข็งของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ดังแสดงในรูปที่ 13 พบว่า ที่โปรตีนมากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 4 และที่คาราจีแนนประมาณร้อยละ 1 ค่าความแข็งมีค่ามากขึ้น เนื่องจากเมื่อคาราจีแนนเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมคาราจีแนนมากกว่า ร้อยละ 1 พบว่าค่าความแข็งมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากเมื่อมีคาราจีแนนมากเกินไป ทำให้อิมัลชันที่ได้มีความแข็งมากจนเปราะแตกหักง่าย จึงทำให้ค่าความแข็งหรือแรงต้านของอิมัลชันที่ได้มีค่าลดลง ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Cierach *et al.* (2009) ซึ่งได้ศึกษาผลของคาราจีแนนในช่วงร้อยละ 0-0.7 ต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน พบว่าเมื่อเติมคาราจีแนนยิ่งมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งมากขึ้น



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนและคาราจีแนนต่อค่าความแข็ง

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและปริมาณคาราจีแนนต่อค่าความแข็ง พบว่า ที่น้ำมันน้อยกว่าหรือมากกว่า 54 และที่คาราจีแนนประมาณร้อยละ 1 ค่าความแข็งมีค่ามากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 14 ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้างต้น



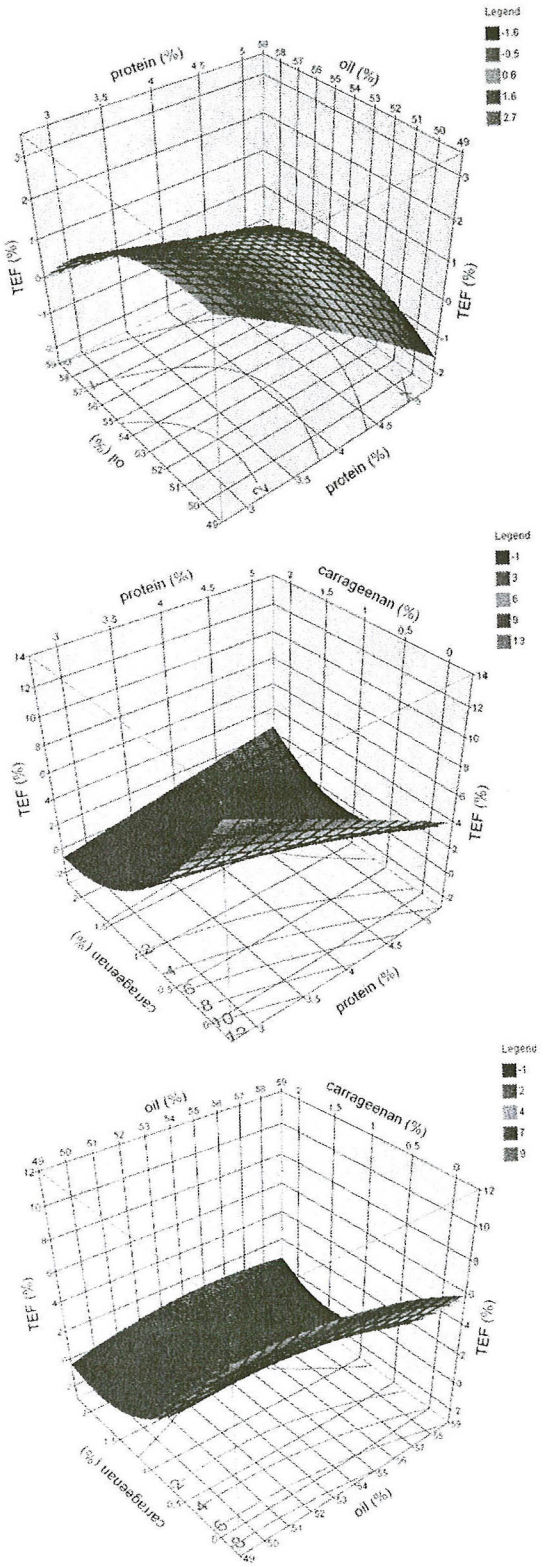
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำมันและคาราจีแนนต่อค่าความแข็ง (hardness)

4.2.3 ผลของปริมาณโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสท ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาราจีแนนต่อความคงตัวของอิมัลชัน โดยวัดจากของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์

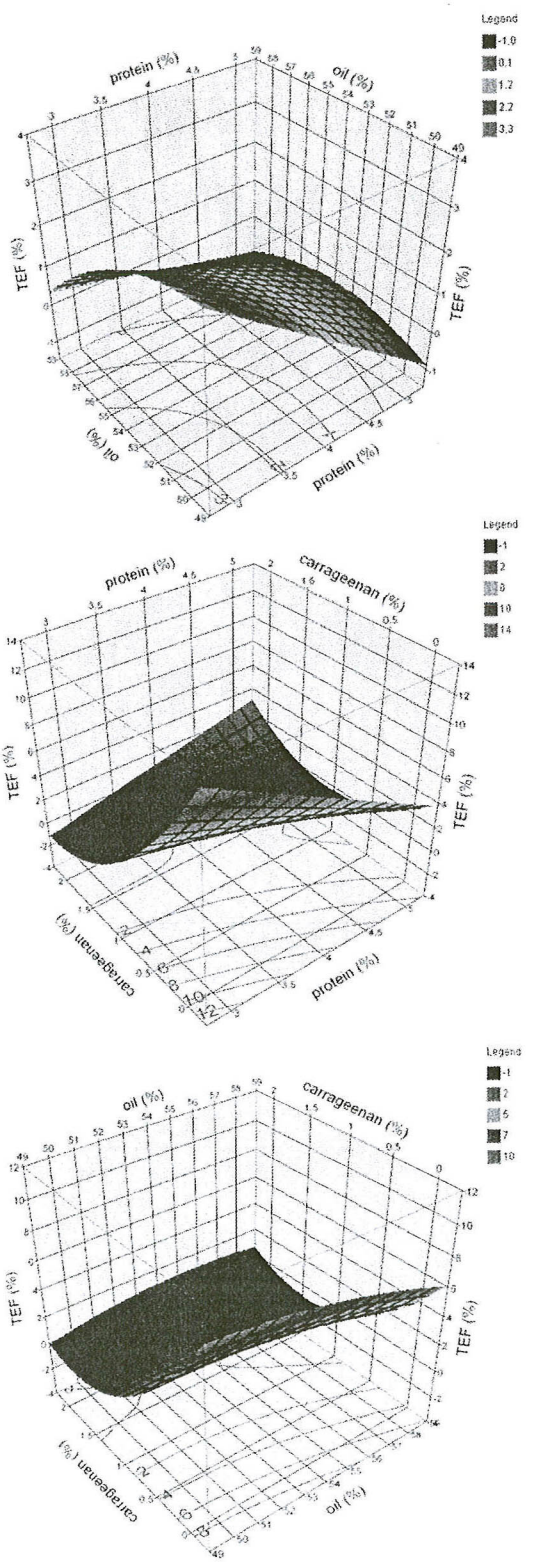
จากการวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์โดยการวิเคราะห์ปริมาณของเหลวทั้งหมดที่ออกมา (Total expressible fluid, TEF) จากน้ำมันพรีอิมัล-ซิฟายด์ ที่ระยะเวลา 0, 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ โดยแสดงผลเป็นร้อยละของปริมาณของเหลวที่แยกตัวออกมา ถ้าตัวอย่างมีค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาสูงแสดงว่าตัวอย่างมีความคงตัวของอิมัลชันต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 11 และรูปที่ 15-17 พบว่า ระยะเวลาและปริมาณของส่วนผสมส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) ซึ่งประเมินได้จากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

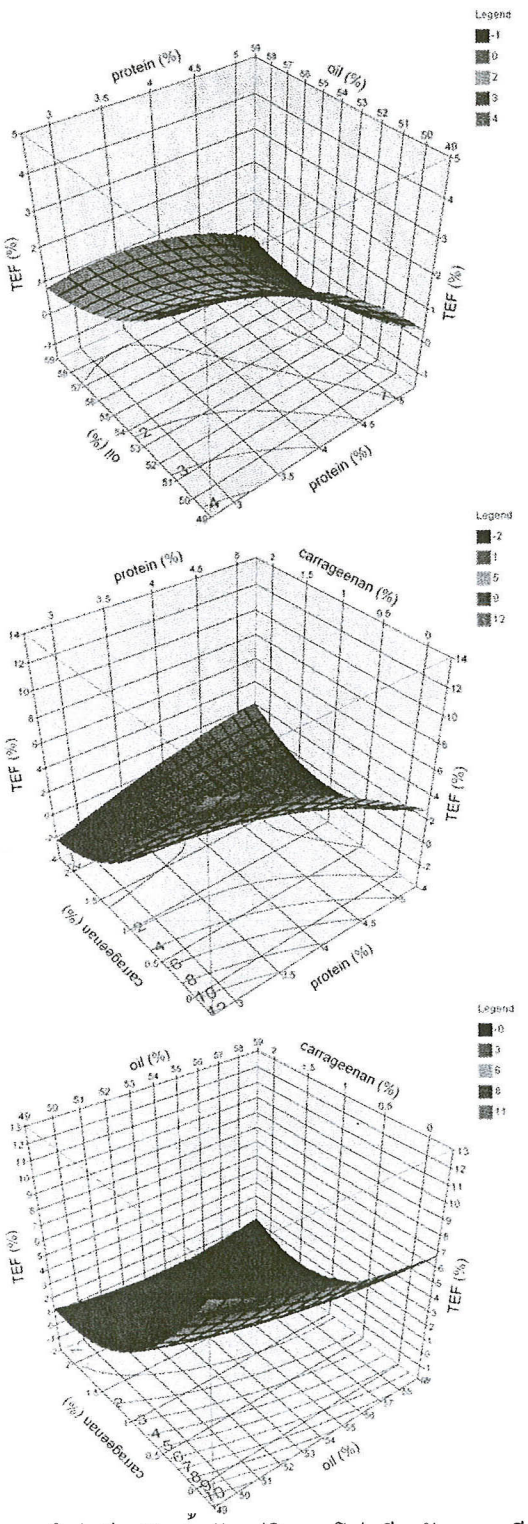
แยกออกมา โดยพบว่า ระยะเวลาจะแปรผันตรงกับปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา คือ เมื่อเวลาผ่านไปยิ่งนานขึ้น ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าสูงขึ้น แสดงว่าอิมัลชันมีความคงตัวลดลง เนื่องจากหยดน้ำมันและน้ำที่กระจายตัวในระบบอิมัลชันมีแรงดึงดูดระหว่างผิว ถ้าอิมัลชันที่มีความคงตัวต่ำเมื่อเวลาผ่านไปทำให้หยดน้ำมันและน้ำเกิดการรวมตัวกันและแยกออกมาจากระบบอิมัลชันยิ่งมากขึ้น (ปาริฉัตร, 2545) จึงทำให้ของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าสูงขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนและคาราจีแนนที่ใช้จะแปรผกผันกับปริมาณของเหลวที่แยกออกมาจากน้ำมันพรีอิมัล-ซิฟายด์ โดยชุดการทดลองที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ ใช้โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำมันร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก และปริมาณคาราจีแนนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นชุดการทดลองที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุด และมีความคงตัวสูง ซึ่งจะได้ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาในวันที่ 0, 5 และ 10 ร้อยละ 0 ส่วนวันที่ 15 ของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาร้อยละ 0.71 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก ส่วนชุดการทดลองที่มีของเหลวแยกออกมามาก เนื่อ PEF มีลักษณะที่นิ่มเหลว มีความคงตัวต่ำ คือ PEF ที่เตรียมจากโปรตีนไฮโดรไลเสทจากถั่วเหลืองร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก น้ำมันเมล็ดทานตะวันร้อยละ 54 โดยน้ำหนัก และไม่มีการเติมคาราจีแนน ซึ่งจะมีของเหลวแยกออกมาในวันที่ 0, 5, 10 และ 15 ร้อยละ 6.34, 7.00, 7.15 และ 7.17 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนกับน้ำมัน ปริมาณโปรตีนกับคาราจีแนน และปริมาณน้ำมันกับคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ในวันที่ 5



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนกับน้ำมัน ปริมาณโปรตีนกับคาราจีแนน และปริมาณน้ำมันกับคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ในวันที่ 10



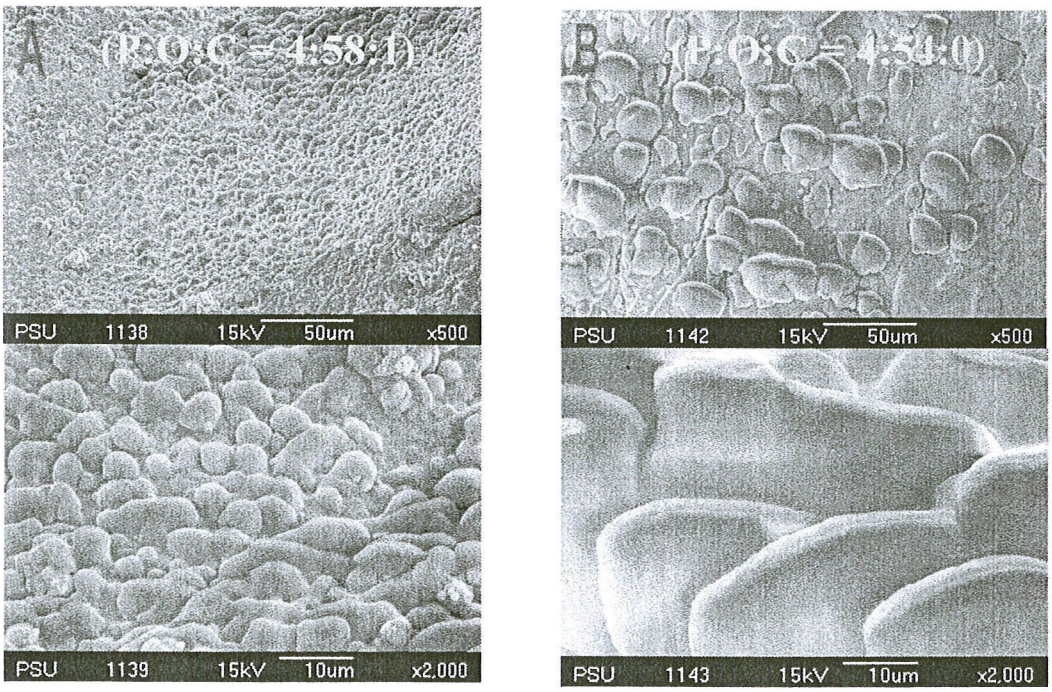
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ของปริมาณโปรตีนกับน้ำมัน ปริมาณโปรตีนกับคาราจีแนน และปริมาณน้ำมันกับคาราจีแนนต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ในวันที่ 15

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาราจีแนน ต่อปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (TEF) ของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เมื่อเก็บเป็นเวลา 15 วัน

Design point	X1:protein (%)	X2:oil (%)	X3:carrageenan (%)	Y1:TEF (%)			
				0 day	5 days	10 days	15 days
1	4.6	56.4	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4.6	56.4	0.4	1.31	1.59	1.61	1.64
3	4.6	51.6	1.6	0.00	0.00	0.23	0.39
4	4.6	51.6	0.4	1.22	1.85	2.00	2.07
5	3.4	56.4	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00
6	3.4	56.4	0.4	3.37	3.59	3.95	3.87
7	3.4	51.6	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00
8	3.4	51.6	0.4	3.92	5.29	5.89	5.94
9	5	54	1	0.00	0.00	0.25	0.26
10	3	54	1	1.98	2.04	2.10	1.90
11	4	58	1	0.00	0.00	0.00	0.71
12	4	50	1	1.00	1.03	1.50	3.22
13	4	54	2	0.00	0.00	0.00	0.00
14	4	54	0	6.34	7.00	7.15	7.17
15	4	54	1	0.98	0.99	1.06	1.15
16	4	54	1	0.98	0.99	1.05	1.16

4.2.4 การกระจายตัวของไขมันในน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่มีการปรับปรุงคุณภาพด้วยคาราจีแนนเปรียบเทียบกับน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ไม่มีการเติมคาราจีแนน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM)

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของไขมันในน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดและมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยคาราจีแนน ซึ่งเตรียมจาก โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:58:1 เปรียบเทียบกับน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ไม่มีการเติมคาราจีแนนซึ่งเตรียมจาก โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:54:0 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 2000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 18 พบว่า ทั้งสองรูปมีโปรตีนปกคลุมเม็ดไขมันอย่างทั่วถึง แต่น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่มีการเติมคาราจีแนนในภาพ 18 (A) มีขนาดเม็ดไขมันเล็กกว่าและกระจายตัวดีกว่าน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ไม่ได้เติมคาราจีแนน (18(B)) เนื่องจากเมื่อมีการเติม คาราจีแนน ทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งคาราจีแนนจะไปขัดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวดีขึ้นด้วย



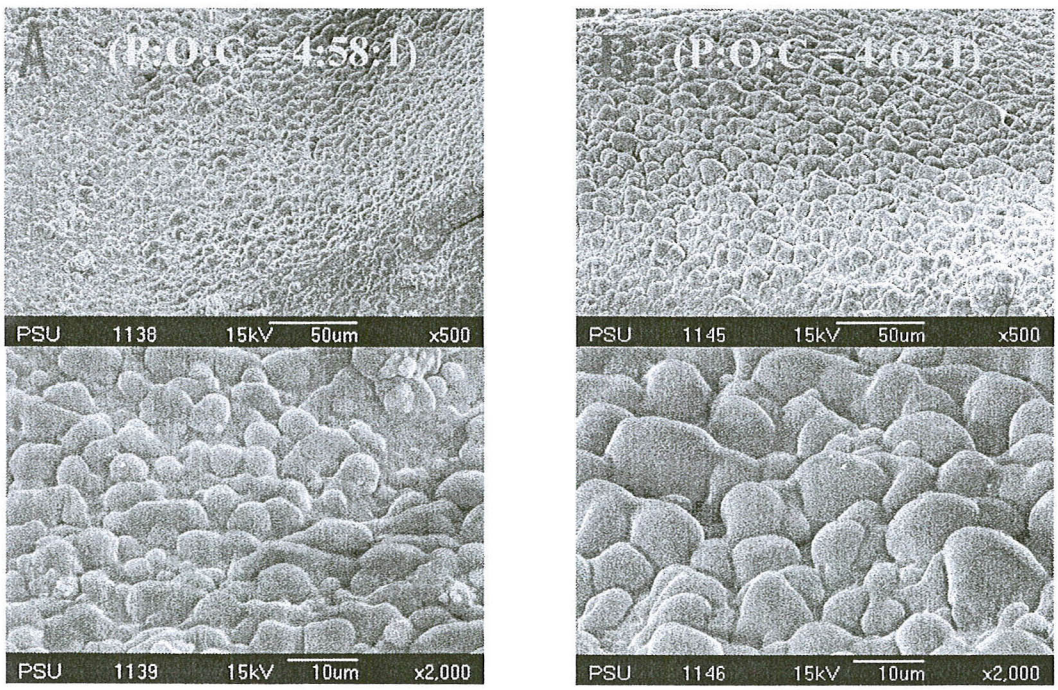
รูปที่ 18 ภาพของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning electron microscopic, SEM) A: น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เติมคาราจีแนน และ B: น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ไม่เติมคาราจีแนน และ P, O และ C หมายถึง โปรตีน น้ำมัน และคาราจีแนน ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากโปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:58:1 มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันสูง และสามารถที่จะเกิดอิมัลชันได้อีก โดยสังเกตจากค่าความคงตัวของอิมัลชัน วัดจากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาเมื่อเวลาผ่านไป 15 วัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.71 ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก สามารถที่จะเพิ่มปริมาณน้ำมันในระบบอิมัลชันได้อีก ดังนั้นจึงมีการศึกษาเบื้องต้นและได้เพิ่มปริมาณน้ำมันเมล็ดทานตะวันในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ โดยเพิ่มปริมาณน้ำมันจากร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 62 โดยน้ำหนัก ซึ่งสัดส่วนที่ใช้เตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ คือ โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:62:1 เหตุผลของการเพิ่มปริมาณน้ำมันเนื่องจาก ถ้าปริมาณน้ำมันในน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีน้อย เมื่อนำไปเป็นส่วนผสมในการทำไส้กรอกอิมัลชัน เนื้อสัมผัสของไส้กรอกจะแห้ง กระด้าง ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำมันจะมีผลดีคือ ทำให้ไส้กรอกมีเนื้อสัมผัสที่ดี นุ่ม ไม่แห้ง และช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Cooking loss) (Muguerza *et al.*, 2002) วิเคราะห์ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาและค่าความแข็งเปรียบเทียบกับน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจาก โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:58:1 พบว่า ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาของทั้งสองชุดการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 0 ส่วนค่าความแข็งของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่มีปริมาณน้ำมันมากกว่ามีค่าเท่ากับ 129.03 กรัม ซึ่งน้อยกว่าน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่มีปริมาณน้ำมันน้อยกว่า (146.13 กรัม) (p<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 12 แต่ในการพิจารณาเลือกน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เพื่อใช้ในไส้กรอกอิมัลชันจะพิจารณาค่าความคงตัวของอิมัลชันจากค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาเป็นหลัก และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของไขมันในน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากโปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:58:1 และโปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:62:1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 และ 2000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 19 พบว่า ทั้งสองรูปมีโปรตีนปกคลุมเม็ดไขมันอย่างทั่วถึง และมีการกระจายตัวของเม็ดไขมันดีเหมือนกัน แสดงว่าทั้งสองชุดการทดลองมีความคงตัวของอิมัลชันเหมือนกัน จึงทำให้ค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมามีค่าไม่แตกต่างกัน แต่น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากน้ำมันร้อยละ 62 โดยน้ำหนัก จะมีขนาดของเม็ดไขมันใหญ่กว่าน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากน้ำมันร้อยละ 58 โดยน้ำหนักเล็กน้อย อาจเนื่องจากปริมาณน้ำมันที่มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสจากการสังเกตพบว่าทั้งสองชุดการทดลองมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน จึงสามารถใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากโปรตีน:น้ำมัน: คาราจีแนน เท่ากับ 4:62:1 แทนน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจาก โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:58:1 ได้ ดังนั้นในการเตรียมไส้กรอกอิมัลชันในขั้นตอนต่อไปจึงใช้น้ำมัน พรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจาก โปรตีน:น้ำมัน:คาราจีแนน เท่ากับ 4:62:1

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณน้ำมันต่อค่าของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (TEF) และค่าความแข็ง (Hardness) ของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ [b]

Protein:Oil:Carrageenan	TEF (%)	Hardness (N)
4:58:1	0	1.43 ± 0.06^{a}
4:62:1	0	1.26 ± 0.05^{b}

a,b : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)



รูปที่ 19 ภาพของผลของน้ำมันต่อน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scaning electron microscopic, SEM) A: น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากน้ำมันร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก และ B: น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่เตรียมจากน้ำมันร้อยละ 62 โดยน้ำหนัก และ P, O และ C หมายถึง โปรตีน น้ำมัน และคาราจีแนน ตามลำดับ

4.3 ศึกษาการใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชัน

ศึกษาการผลิตไส้กรอกอิมัลชันเนื้อไก่โดยใช้น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์เปรียบเทียบกับไขมันชนิดอื่นๆ คือ หนังไก่ และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ซึ่งมีการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของไส้กรอกอิมัลชัน คือ ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) โดยวัดจากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Cooking loss) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ประเมินในรูปแบบ Texture Profile Analysis การกระจายตัวของไขมันดัดแปลงในไส้กรอกอิมัลชันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) วัดสี ด้วยเครื่องวัดสี (Hunterlab chromometer) ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl Method ปริมาณไขมัน ด้วย Soxhlet และปริมาณความชื้น ด้วย Air oven method

4.3.1 ความคงตัวของอิมัลชัน (Emulsion stability) ของไส้กรอกอิมัลชันโดยวัดจากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (Total expressible fluid, TEF)

เมื่อวิเคราะห์ความคงตัวของอิมัลชันของไส้กรอกอิมัลชันจากปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมา (TEF) หลังจากปั่นเหวี่ยง ตามวิธีของ Lin and Huang (2003) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 จะเห็นว่าไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีปริมาณของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาน้อยที่สุด (TEF ร้อยละ 3.74) รองลงมาคือ ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (TEF ร้อยละ 11.56) และ ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่ (TEF ร้อยละ 18.90) แสดงว่าไส้กรอกอิมัลชันจาก PEF มีความคงตัวมากที่สุด รองลงมาคือ ไส้กรอกจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และไส้กรอกจากหนังไก่มีความคงตัวน้อยที่สุด เนื่องจากไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีส่วนผสมของซอยโปรตีนไฮโดรไลเสท และคาราจีแนน ซึ่งซอยโปรตีนไฮโดรไลเสทมีสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายด์เออร์สูง จึงทำให้สามารถดูดซับน้ำและน้ำมันได้มาก ส่วนคาราจีแนนมีผลทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้ไปขัดขวางการรวมตัวของเม็ดไขมันในระบบอิมัลชัน จึงทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น และคาราจีแนนมีโครงสร้างที่เป็นประจุ คาราจีแนนจึงสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ (Ayadi *et al.*, 2009) ทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีความ คงตัวสูง และมีของเหลวทั้งหมดที่แยกออกมาน้อยกว่าไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่

4.3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) ของไส้กรอกอิมัลชัน

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ ตามวิธีของ Rawdkuen and Benjakul (2008) พบว่าไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงที่สุด (ร้อยละ 92.10) รองลงมาคือ ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ร้อยละ 89.97) และไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่ (ร้อยละ 89.20) ดังแสดงในตารางที่ 13 เนื่องจากคาราจีแนนมีผลให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น โดยคาราจีแนนมีโครงสร้างที่สามารถจับกับน้ำได้ จึงทำให้ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ซึ่งมีส่วนผสมของคาราจีแนนมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น (Ayadi *et al.*, 2009) ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Candogan and Kolsarici (2003) ซึ่งพบว่าคาราจีแนนมีผลทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของไส้กรอกอิมัลชันเพิ่มขึ้น

4.3.3 การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Cooking loss) ของไส้กรอกอิมัลชัน

จากการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Cooking loss) โดยการต้มที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 10 นาที ดัดแปลงจากวิธีของ Crehan and Hughes (2000) พบว่าไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์สูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนน้อยที่สุด (ร้อยละ 9.24) รองลงมาคือ ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ร้อยละ 10.65) และไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่ (ร้อยละ 11.34) แต่ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่สูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13 อาจเนื่องมาจากไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทและคาราจีแนนในส่วนประกอบของน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทจะทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายด์เออร์และสารช่วยในการยึดเกาะ (Binder)ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก และการเติมคาราจีแนนจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชัน ซึ่งทำให้ไส้กรอกอิมัลชันสามารถทนกับความร้อนได้มากขึ้น โดยสังเกตได้จากของเหลวที่แยกออกมาระหว่างให้ความร้อนน้อยกว่าไส้กรอกที่ไม่มีส่วนผสมของคาราจีแนน ดังนั้นไส้กรอกที่มีส่วนผสมของคาราจีแนนมีค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน (Cierach *et al.*, 2009) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Candogan and Kolsarici (2003) ซึ่งได้ศึกษาผลของคาราจีแนนต่อลักษณะของไส้กรอกไขมันต่ำ พบว่า ไส้กรอกที่เติมคาราจีแนนมีค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อนน้อยกว่าไส้กรอกที่ไม่มีการเติมคาราจีแนน โดยปริมาณคาราจีแนนจะแปรผกผันกับค่าการสูญเสียน้ำหนักภายหลังการให้ความร้อน

ตารางที่ 13 สมบัติทางกายภาพของไส้กรอกอิมัลชัน

	TEF (%)	WHC (%)	cooking loss (%)
O	11.56 ± 0.38^{b}	89.97 ± 0.44^{b}	10.65 ± 0.97^{a}
P	3.74 ± 0.35^{c}	92.10 ± 0.33^{a}	9.24 ± 0.94^{b}
CS	18.90 ± 0.54^{a}	89.20 ± 0.29^{c}	11.34 ± 1.04^{a}

O, P, CS : ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (Oil) ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (Pre-emulsified fat) และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ (Chicken skin) ตามลำดับ

a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.3.4 การวัดสี ด้วยเครื่องวัดสี (Hunterlab chromometer) ของไส้กรอกอิมัลชัน

จากการวิเคราะห์สี แบบ CIE (L*, a* และ b*) ด้วยเครื่องวัดสี (Hunterlab chromometer) ของไส้กรอกอิมัลชัน โดยแสดงผลเป็นค่าความเป็นสีแดง (a*) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความสว่าง (L*) ตามวิธีของ Kayaard and Gok (2003) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า ชนิดของไขมันที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกมีผลต่อค่าสี a*, b* และ L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่ จะให้ค่าสี a* ต่ำที่สุด และ b* สูงที่สุด คือ 1.66 และ 17.17 ตามลำดับ ในขณะที่ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ให้ค่าสี a* และ b* ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และ เมื่อพิจารณาค่าความสว่าง L* พบว่า ไส้กรอกที่เตรียมจากไขมันทั้งสามชนิดมีค่าความสว่างที่แตกต่างกัน ($p\leq0.05$) โดยไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีค่าความสว่าง L* สูงที่สุด รองลงมาคือไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และหนังไก่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 87.78, 87.20 และ 80.03 ตามลำดับ แสดงว่าไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่จะมีลักษณะสีที่คล้ำกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน อาจเนื่องมาจากไขมันที่ใช้เตรียมไส้กรอกมีสีที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีสีเหลืองใส น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีสีขาว ส่วนหนังไก่จะมีสีเหลืองที่เข้มและคล้ำ ซึ่งสารที่ให้สีเหลืองในหนังไก่คือ พิกเม้นต์ Lutein และสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เกิดจากการที่ไก่ได้รับอาหารที่มีสีเหลือง จึงส่งผลให้สีของไส้กรอกมีลักษณะที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 14 ลักษณะสีของไส้กรอกอิมัลชัน

	Color		
	L*	a*	b*
O	87.78 ± 0.18^{a}	1.84 ± 0.08^{a}	12.52 ± 0.34^{b}
P	87.20 ± 0.15^{b}	1.88 ± 0.06^{a}	12.60 ± 0.21^{b}
CS	80.03 ± 0.30^{c}	1.66 ± 0.10^{b}	17.17 ± 0.18^{a}

O, P, CS : ไส้กรอกไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ตามลำดับ

a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.3.5 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกอิมัลชัน โดยวิธี Texture Profile Analysis

การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกอิมัลชัน ด้วยเครื่อง Texture analyzer ประเมินในรูปแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ตามวิธีของ Pietrasik and Duda (2000) ซึ่งวัดเนื้อสัมผัสภายในของไส้กรอก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่า ค่าความแข็งของไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากหนังไก่จะให้ค่าความแข็งมากที่สุด (2.94 N) ซึ่งแตกต่างจากไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ($p<0.05$) ส่วนไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (2.68 N) และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (2.71 N) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ค่าความสามารถในการเกาะรวมตัว (Cohesiveness) ของไส้กรอก พบว่า ไส้กรอกอิมัลชันทั้งสามชุดการทดลองมีค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวแตกต่างทางสถิติ ($p<0.05$) โดยไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวของไส้กรอกสูงที่สุด (1.41) รองลงมา คือ ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (1.03) และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (0.86) ส่วนค่า Springiness พบว่า ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากหนังไก่มีองค์ประกอบของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ทำให้ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่จึงมีความละเอียดต่ำ เมื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer ค่าที่ได้อาจเป็นส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของหนังไก่ จึงทำให้ค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน

ตารางที่ 15 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis, TPA) ของไส้กรอกอิมัลชัน

	hardness (N)	cohesiveness	springiness
O	2.71 ± 0.06^{b}	0.86 ± 0.05^{c}	1.25 ± 0.02^{c}
P	2.68 ± 0.11^{b}	1.03 ± 0.07^{b}	1.36 ± 0.06^{b}
CS	2.94 ± 0.15^{a}	1.41 ± 0.08^{a}	1.51 ± 0.07^{a}

O, P, CS : ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ตามลำดับ

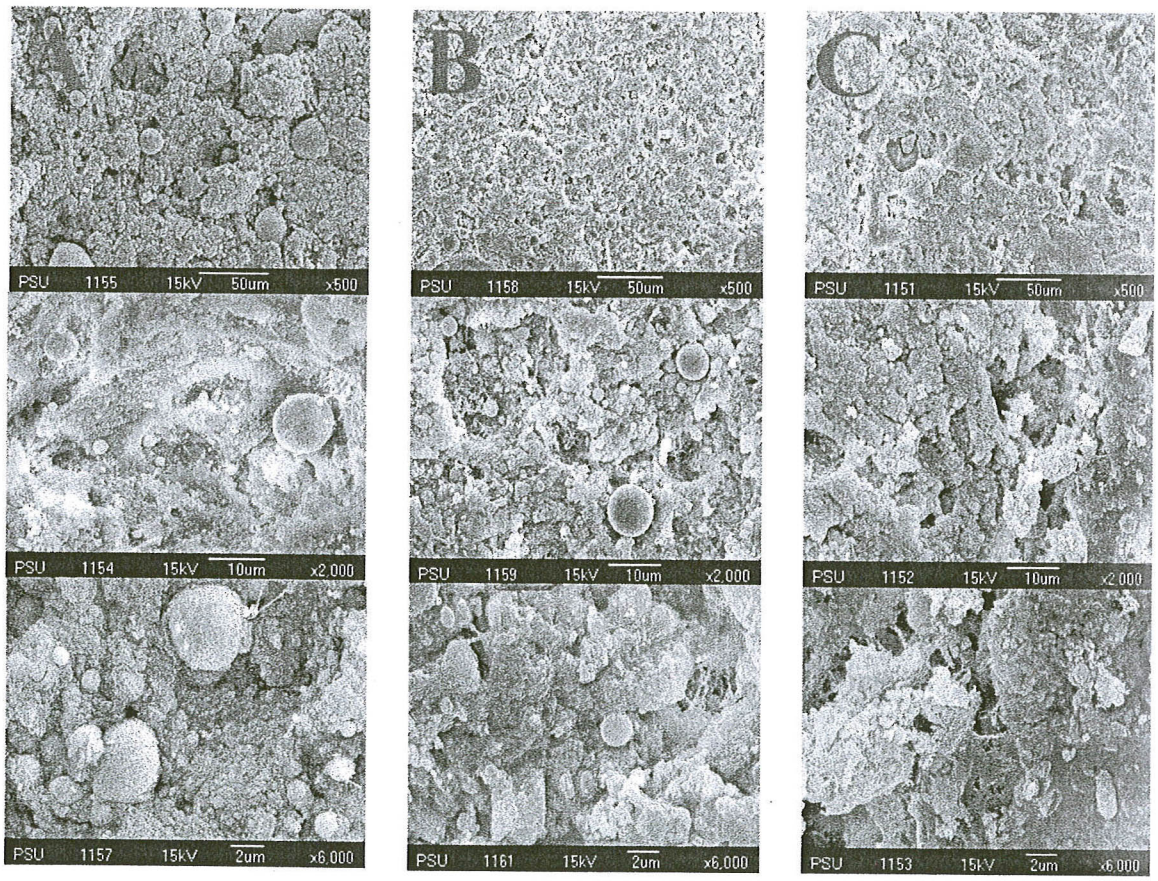
a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.3.6 การเปรียบเทียบโครงสร้างระดับจุลภาคของไส้กรอกอิมัลชันที่ใช้ไขมันชนิดต่างๆ

การศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของไส้กรอกอิมัลชันที่ผลิตจากไขมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และหนังไก่บดละเอียด จากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500, 2000 และ 6000 เท่า (รูปที่ 20) พบส่วนที่แสดงตำแหน่งของไขมัน 2 ลักษณะ คือ รูทรงกลมที่แสดงตำแหน่งของฟิล์มโปรตีนที่เคยห่อหุ้มเม็ดไขมัน คล้ายกับในงานวิจัยไส้กรอกอิมัลชันของ Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) และ Cáceres *et al.* (2008) และพบลักษณะเม็ดไขมันเป็นทรงกลมสังเกตได้ชัดเจนใน รูปที่ 20 A, B และ C เช่นเดียวกับที่สังเกตได้ในงานวิจัยของ Ayo *et al.* (2008)

การเปรียบเทียบรูปแบบของเม็ดไขมันในไส้กรอกอิมัลชันที่ใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวัน (รูปที่ 20A) และ PEF (รูปที่ 20B) พบว่าไส้กรอกที่ใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันจะมีเม็ดไขมันขนาดใหญ่ประมาณ 20-30 ไมโครเมตร กระจายทั่วไป ในขณะที่ไส้กรอกที่ใช้ PEF จะมีขนาดเม็ดไขมันที่เล็กกว่า (ขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร) เนื่องจาก PEF ที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกมีส่วนผสมของโปรตีนไฮโดรไลเสทจากถั่วเหลืองและคาราจีแนนอยู่ ซึ่งโปรตีนถั่วเหลืองจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ในระบบอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและคาราจีแนนมีผลทำให้ระบบอิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น จะไปขัดขวางการรวมตัวกันของเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวที่ดี นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันมีความคงตัวดีขึ้นด้วย ส่วนไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ไม่สามารถมองเห็นเม็ดไขมันเป็นรูปทรงกลม เนื่องจากเป็นไขมันที่ถูกปกคลุมด้วยโครงสร้างของโปรตีน และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของหนังไก่ จึงทำให้ไม่เห็นลักษณะของเม็ดไขมันที่แยกออกมาอย่างชัดเจน (Andrés *et al.*, 2006) แต่ก็สามารถสังเกตรูทรงกลม

ที่แสดงตำแหน่งของฟิล์มโปรตีนที่เคยห่อหุ้มเม็ดไขมันที่กำลังขยาย 2000 เท่า เมื่อพิจารณาลักษณะของไส้กรอกอิมัลชัน พบว่า ไส้กรอกอิมัลชันที่ผลิตจากหนังไก่มีเนื้อสัมผัสค่อนข้างหยาบและมีความคงตัวต่ำกว่าไส้กรอกที่ได้จากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและ PEF สังเกตได้จากหลังกระบวนการผลิตไส้กรอกที่ผลิตจากหนังไก่มีของเหลวแยกออกมามากกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและ PEF



รูปที่ 20 ภาพของไส้กรอกจากเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopic, SEM) A: ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน B: ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และ C: ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่

4.3.7 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของไส้กรอกอิมัลชัน

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl Method ปริมาณไขมัน ด้วย Soxhlet และปริมาณความชื้นด้วย Air oven method (AOAC, 2000) พบว่า ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีปริมาณโปรตีนต่อน้ำหนักเปียกสูงที่สุด (ร้อยละ 14.09) รองลงมาคือ ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (ร้อยละ 12.30) และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ร้อยละ 11.36) ดังแสดงในตารางที่ 16 เนื่องจากหนังไก่มีองค์ประกอบของโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน จึงทำให้ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ส่วนไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นองค์ประกอบในน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์จึงมีปริมาณโปรตีนมากกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ปริมาณไขมันพบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันมีปริมาณไขมันต่อน้ำหนักเปียกสูงที่สุด (ร้อยละ 16.08) รองลงมาคือ ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ (ร้อยละ 8.49) และน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (ร้อยละ 6.17) ดังแสดงในตารางที่ 16 สาเหตุที่ไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำมันพรีอิมัล-ซิฟายด์มีองค์ประกอบของโปรตีนถั่วเหลืองและน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด ส่วนไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน เนื่องจากในหนังไก่มีองค์ประกอบของโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่ จึงทำให้ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ส่วนปริมาณความชื้น พบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีปริมาณความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 70.23) รองลงมาคือไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (ร้อยละ 67.40) และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (ร้อยละ 57.30) ดังแสดงในตารางที่ 16 เนื่องจากไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีน้ำที่แทรกอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของหนังไก่ ส่วนไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีน้ำเป็นองค์ประกอบในการเตรียมน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ทำให้ไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ และน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์มีความชื้นมากกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน

ตารางที่ 16 องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกอิมัลชัน

	Protein (%wb)	Fat (%wb)	Moisture (%)
O	11.36 ± 0.20^{c}	16.08 ± 0.43^{a}	57.30 ± 0.10^{c}
P	12.30 ± 0.21^{b}	6.17 ± 0.22^{c}	67.40 ± 0.41^{b}
CS	14.09 ± 0.28^{a}	8.49 ± 0.34^{b}	70.23 ± 0.78^{a}

O, P, CS : ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ตามลำดับ

a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

4.3.8 การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความแตกต่าง (Scoring test)

จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาความแตกต่างของตัวอย่างด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นถั่วเหลือง ความแข็ง ความยืดหยุ่น และความชุ่มฉ่ำของไส้กรอกอิมัลชัน โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความแตกต่าง (Scoring test) พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเกี่ยวกับลักษณะปรากฏโดยสังเกตความเนียนละเอียดของไส้กรอกอิมัลชันของไส้กรอกอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (3.68 คะแนน) และน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (3.85 คะแนน) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีค่าสูงกว่าและแตกต่างจากไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ (2.30 คะแนน) เนื่องจากไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีลักษณะหยาบเห็นเป็นชิ้น คะแนนด้านกลิ่นถั่วเหลือง พบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (1.28 คะแนน) และหนังไก่ (1.10 คะแนน) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งอยู่ในระดับไม่มีกลิ่น แต่มีความแตกต่างกับไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (1.60 คะแนน) ซึ่งมีค่าสูงกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวันและหนังไก่ แต่ยังอยู่ในระดับที่น้อยมากและยอมรับได้ เนื่องจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ที่ใช้เตรียมไส้กรอกอิมัลชันมีส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทอยู่ ซึ่งกลิ่นถั่วที่เกิดขึ้นในโปรตีนถั่วเหลืองเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดลิโนเลอิกและลิโนเลนิกที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนถั่วเหลือง ทำให้เกิดสารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วและกลิ่นเหม็นเขียว คือ สารกลุ่ม Aldehydes, Ketones, Furans และ Alcohol ซึ่งสารกลุ่ม Medium-chain aldehydes (Pentanal, Hexanal และ Heptanal) เป็นสารองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วและกลิ่นเหม็นเขียวของโปรตีนถั่วเหลือง (Maheshwari *et al.*, 1995) เมื่อมีการย่อยโปรตีนถั่วเหลืองด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็กลง และอาจทำให้สารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วและกลิ่นเหม็นเขียวของโปรตีนถั่วเหลืองบางส่วนถูกย่อยและระเหยออกจากโมเลกุล

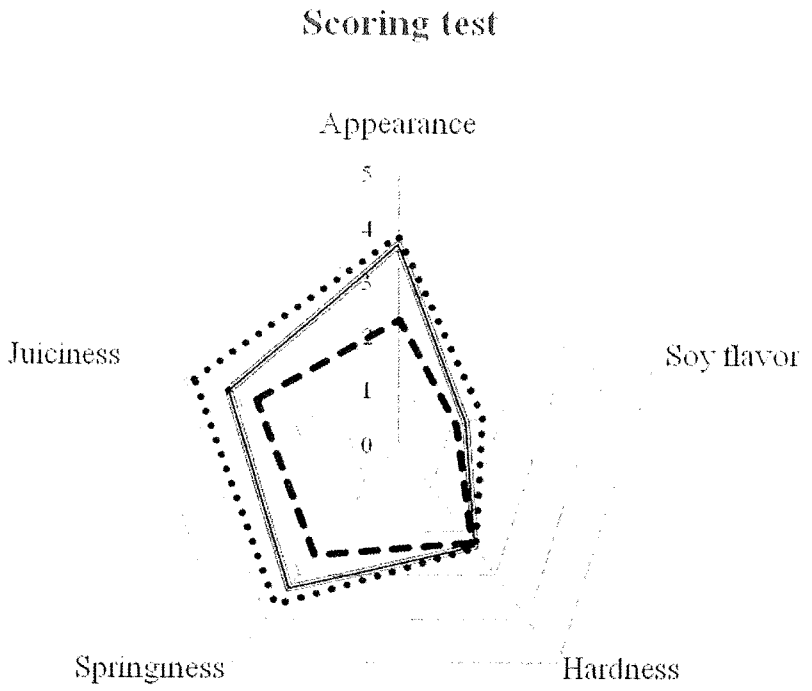
ของโปรตีน จึงทำให้โปรตีนถั่วเหลืองไฮโดรไลเสทมีกลิ่นถั่วเหลืองและกลิ่นเหม็นเขียวลดลง นอกจากนี้การย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์อาจทำให้ได้กรดอะมิโนบางตัวที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติไปเช่น รสขม เปรี้ยว หรือหวานขึ้น จึงทำให้กลิ่นและรสชาติเหล่านี้ไปกลบกลิ่นถั่วและและกลิ่นเหม็นเขียวของโปรตีนถั่วเหลืองได้ (Minc *et al.*, 2010) ลักษณะด้านความแข็งของไส้กรอกที่เตรียมจากไขมันทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกัน (2.25-2.40 คะแนน) ผู้ประเมินไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ แต่ผล TPA จากเครื่อง Texture analyzer พบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีค่าความแข็งมากกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมัน พรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน แต่ค่าไม่ต่างกันมากนัก ส่วนค่าความยืดหยุ่นและความชุ่มฉ่ำ พบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (3.70 และ 3.80 คะแนน) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (3.30 และ 3.15 คะแนน) และหนังไก่ (2.55 และ 2.65 คะแนน) ดังแสดงในตารางที่ 17 และรูปที่ 21 ซึ่งผลของค่าความยืดหยุ่นขัดแย้งกับผลของ TPA ที่พบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ส่วนคะแนนความชุ่มฉ่ำของไส้กรอกอิมัลชันมีความขัดแย้งกับปริมาณความชื้นของไส้กรอกอิมัลชัน ซึ่งพบว่าไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีความชื้นสูงที่สุด อาจเนื่องจากไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีลักษณะค่อนข้างหยาบ จึงทำให้ผู้ทดสอบชิมรู้สึกถึงความชุ่มน้ำน้อยลง

ตารางที่ 17 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ Scoring test

	ลักษณะปรากฏ (ความเนียนละเอียด)	กลิ่นถั่วเหลือง	ความแข็ง	ความยืดหยุ่น	ความชุ่มฉ่ำ
O	3.68 ± 0.47^{a}	1.28 ± 0.51^{b}	2.35 ± 0.48	3.30 ± 0.46^{b}	3.15 ± 0.36^{b}
P	3.85 ± 0.36^{a}	1.60 ± 0.50^{a}	2.40 ± 0.50	3.70 ± 0.46^{a}	3.80 ± 0.40^{a}
CS	2.30 ± 0.46^{b}	1.10 ± 0.30^{b}	2.25 ± 0.44	2.55 ± 0.50^{c}	2.65 ± 0.48^{c}

O, P, CS : ไส้กรอกไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ตามลำดับ

a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)



รูปที่ 21 การประเมินทางประสาทสัมผัส (Scoring test) ของไส้กรอกอิมัลชัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน (═══) ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ (•••••) และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ (▬ ▬ ▬)

4.3.9 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7-Points hedonic scale

จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของไส้กรอกอิมัลชัน โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 40 คน ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7-Points hedonic scale พบว่า ผู้ทดสอบประเมินให้ค่าคะแนนความชอบสำหรับคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวมแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ ผู้ทดสอบให้ค่าคะแนนความชอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ดังแสดงในตารางที่ 18 เนื่องจากไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่มีลักษณะปรากฏค่อนข้างหยาบ แตกออกจากกันได้ง่าย และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์

ตารางที่ 18 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 7-Point hedonic scale

	ลักษณะปรากฏ	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
O	5.60 ± 0.50^{b}	5.13 ± 0.69^{b}	4.95 ± 0.68^{b}	5.58 ± 0.50^{b}
P	6.25 ± 0.54^{a}	5.93 ± 0.73^{a}	5.50 ± 0.51^{a}	6.28 ± 0.60^{a}
CS	3.65 ± 0.48^{c}	4.33 ± 0.57^{c}	4.25 ± 0.59^{c}	4.55 ± 0.60^{c}

O, P, CS : ไส้กรอกไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันเมล็ดทานตะวัน ไส้กรอกที่เตรียมจากน้ำมันพรีอิมัลซิฟายด์ และไส้กรอกที่เตรียมจากหนังไก่ ตามลำดับ

a-c : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่มีตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)