

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาการผลิต และสมบัติของเจลลาตินจากหนังวัวจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง เริ่มจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหนังชนิดต่างๆ เพื่อคัดเลือกชนิดหนังที่เหมาะสม การศึกษาการปรับสภาพเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายต่างๆที่เหมาะสม การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดที่เหมาะสมสำหรับสกัดเจลลาติน การศึกษาสภาวะอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเจลลาตินรวมถึงการปรับปรุงคุณภาพเจลลาติน จากนั้นทำให้แห้งและนำเจลลาตินผงมาวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อสมบัติของเจลลาติน และการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่รสส้มที่นำเจลลาตินที่ผลิตได้มาเป็นส่วนผสม

#### 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหนังวัว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหนังวัวชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.1) พบว่า หนังวัวขาวซีมีปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 67.63% ( $P \leq 0.05$ ) หนังวัวขาวบีและซีมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ในขณะที่หนังวัวขาวดำมีปริมาณเถ้าสูงที่สุดเนื่องจากเป็นหนังชั้นล่างสุดซึ่งประกอบด้วยชั้นไขมันและพังผืด (อนันต์, 2520) และมีปริมาณเศษตะกอนและสิ่งตกค้างอยู่มากจากกระบวนการปรับสภาพหนังจากโรงงาน

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของหนังวัวชนิดต่างๆ

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (% น้ำหนักเปียก)			
	ความชื้น	ไขมัน	เถ้า	โปรตีน
หนังวัวขาวบี	76.05 <sup>a</sup> ± 0.15	4.78 <sup>c</sup> ± 0.06	8.32 <sup>b</sup> ± 0.03	64.01 <sup>b</sup> ± 0.12
หนังวัวขาวซี	76.01 <sup>a</sup> ± 0.13	14.67 <sup>b</sup> ± 0.30	7.97 <sup>c</sup> ± 0.13	67.63 <sup>a</sup> ± 0.36
หนังวัวขาวดำ	72.90 <sup>b</sup> ± 0.14	26.69 <sup>a</sup> ± 0.47	34.03 <sup>a</sup> ± 0.19	32.98 <sup>c</sup> ± 0.53

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

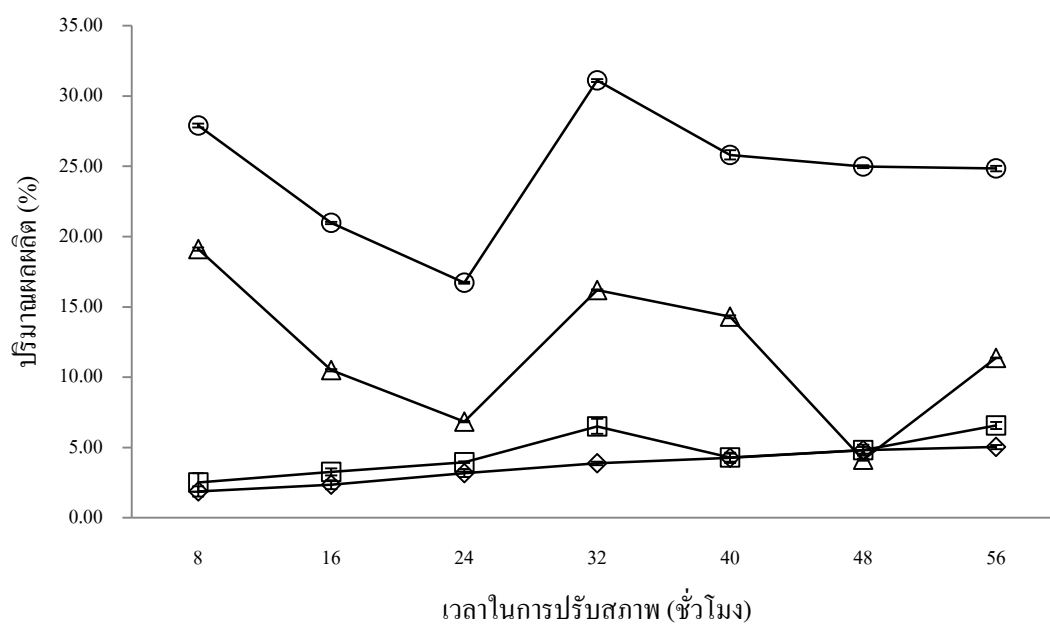
เมื่อพิจารณาจากปริมาณไขมันพบว่า หนักรวักวามีปริมาณไขมันน้อยที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากเป็นหนังสือกลางซึ่งประกอบด้วยโปรตีน เส้นใยและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมากกว่าหนังสืออื่นๆ (อนันต์, 2520) ทำให้มีปริมาณไขมันน้อยและปริมาณโปรตีนมาก หนักรวักวามีจึงถูกเลือกเป็นวัตถุดิบในการศึกษาต่อไป

#### 4.2 การปรับสภาพหนักรวัก

การแช่หนักรวักโดยใช้สารละลายต่าง 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1.5% และ 3% เป็นเวลา 8, 16, 24, 32, 40, 48 และ 56 ชั่วโมง มีผลทำให้สารละลายต่างเปลี่ยนจากสารละลายใสเป็นสีเหลืองขุ่น และมีสีเข้มขึ้นตามระยะเวลาในการแช่หนักรวัก โดยสามารถสังเกตเห็นเศษตะกอนหลุดออกมา หนักรวักที่แช่อยู่มีการพองตัว และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายต่างทำปฏิกิริยากับพันธะเพปไทด์ของคอลลาเจน ทำให้พันธะไฮโดรโฟบิกและพันธะไฮโดรเจนของคอลลาเจนคลายออกจากกันน้ำจึงสามารถซึมเข้าไปจับกับโมเลกุลที่มีขั้วของคอลลาเจนได้ (ณรงค์, 2538) ทำให้หนักรวักมีลักษณะพองตัว และมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นนำหนักรวักที่ผ่านการปรับสภาพสกัดด้วยสารละลายกรดอะซิติกและทำให้แห้ง จนกระทั่งได้เจลาตินผงและนำมาวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตและความแข็งแรงเจล

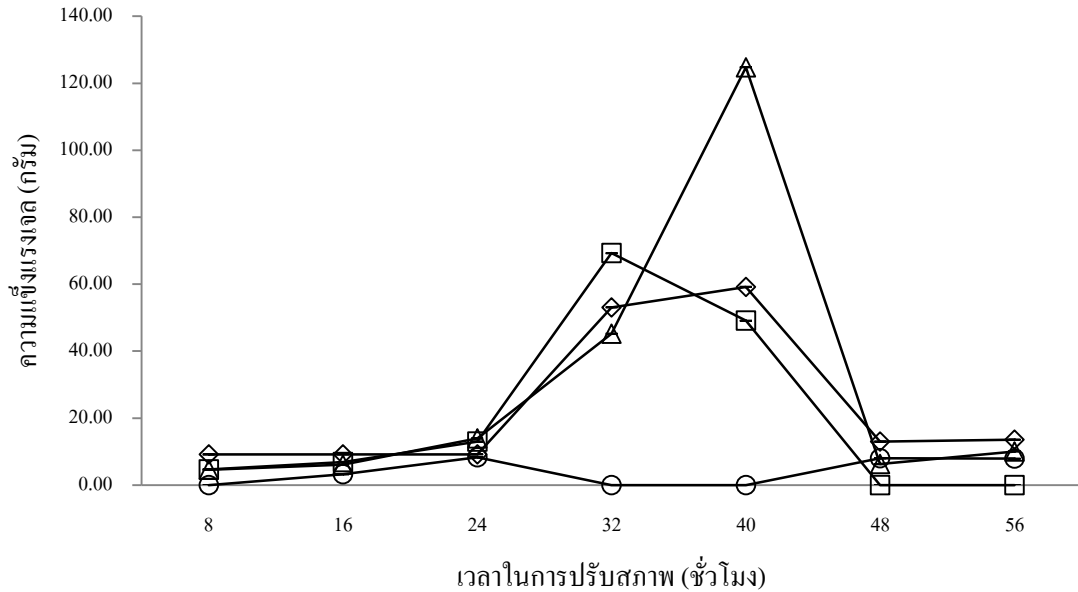
จากการศึกษาปริมาณผลผลิตของเจลาตินที่ได้จากหนักรวักที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายต่างชนิดต่างๆ (ภาพที่ 4.1) พบว่า การปรับสภาพหนักรวักด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 32 ชั่วโมงนั้น ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดถึง 31.10% ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากกระบวนการปรับสภาพหนักรวักก่อนการสกัด ทำให้เส้นใยของหนักรวักเกิดการพองตัวจากการคลายตัวของโปรตีนด้วยการทำลายพันธะนอนโควาเลนต์ ทำให้คอลลาเจนพร้อมต่อการสกัด (Stainsby, 1987) ช่วยให้การสกัดเจลาตินได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



ภาพที่ 4.1 ปริมาณผลผลิตของเเลตตินที่สกัดจากหนังวัวที่ผ่านการปรับสภาพหนังด้วยสารละลาย 1.5% NaOH (△), 3% NaOH (○), 1.5% Ca(OH)<sub>2</sub> (◇) และ 3% Ca(OH)<sub>2</sub> (□)

จากการศึกษาในด้านความแข็งแรงเจล ดังแสดงในภาพที่ 4.2 (ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวก ตารางที่ ก-1) พบว่า ค่าความแข็งแรงของเจลมีค่าสูงสุดเมื่อปรับสภาพหนังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5% เป็นระยะเวลา 40 ชั่วโมง โดยมีค่าความแข็งแรงของเจลถึง 123.87 กรัม รองลงมาคือ การปรับสภาพในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 3.0% นาน 32 ชั่วโมง โดยมีความแข็งแรงเจลเท่ากับ 67.23 กรัม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ในขณะที่การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3.0% ทำให้ได้ปริมาณ โปรตีนและความแข็งแรงของเจลน้อยที่สุด สภาวะความเข้มข้นของไอออนที่สูงจะมีผลทำให้โครงสร้างเเลตตินถูกทำลายมากขึ้นเนื่องจากสภาวะกรดหรือด่างมากเกินไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการเสียหายของโปรตีนได้มากขึ้น (Ward, 1977) ซึ่งตรงกับรายงานของ Ockerman และ Hansen (1988) ซึ่งกล่าวว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงเกินไปจะมีผลทำให้โครงสร้างคอลลาเจนในหนังถูกทำลาย เกิดการฟองตัวที่มากเกินไปของวัตถุดิบ และเกิดการเสียหายซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเเลตติน



ภาพที่ 4.2 ความแข็งแรงเจลาตของเจลาตินที่สกัดจากหนังวัวที่ผ่านการปรับสภาพหนังด้วยสารละลาย 1.5% NaOH (△), 3% NaOH (○), 1.5% Ca(OH)<sub>2</sub> (◇) และ 3% Ca(OH)<sub>2</sub> (□)

ถึงแม้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นต่างแก็เหมือนกัน และมีสมบัติอื่นๆ เช่น ความหนาแน่นใกล้เคียงกันมาก แต่แตกต่างกันในด้านความสามารถในการละลายน้ำอย่างชัดเจน โดยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายในสารละลายที่เป็นน้ำได้ถึง 111% ในขณะที่สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายได้เพียง 0.2% (NIOSH, 2016) จึงทำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีประสิทธิภาพสามารถสกัดเจลาตินออกมาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และให้ค่าการทดลองที่ดีกว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

นอกจากนี้ Ward และ Courts (1977) กล่าวว่า ค่าความแข็งแรงเจลาตของเจลาตินที่ได้นั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของคอลลาเจนแล้ว ยังรวมถึงสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด โดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการสกัดซึ่งรวมถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาในการสกัด จนถึงอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งด้วย

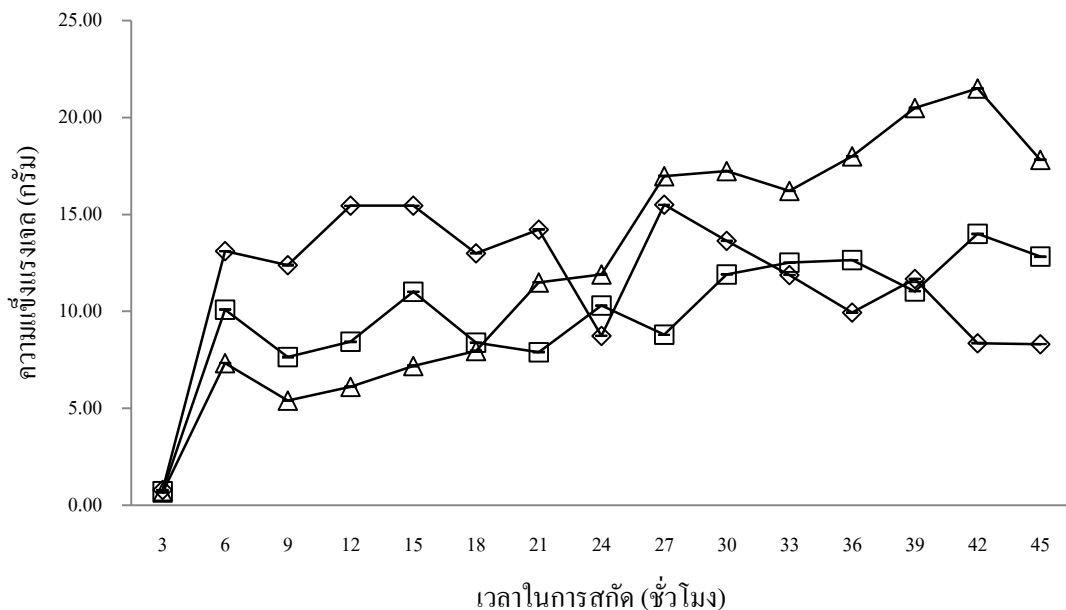
เมื่อพิจารณาจากปริมาณผลผลิตและความแข็งแรงเจลาตร่วมกัน พบว่า การปรับสภาพหนังด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3% เป็นเวลา 32 ชั่วโมง ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุด แต่เนื่องจากความแข็งแรงเจลาตเป็นสมบัติที่สำคัญของเจลาติน สภาวะที่เหมาะสมจึงต้องได้ความแข็งแรงเจลาตที่สูง และปริมาณผลผลิตอยู่ในระดับที่ดี งานวิจัยนี้จึงเลือกการปรับสภาพหนังด้วย

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5% เป็นเวลา 40 ชั่วโมง เป็นสถานะในการศึกษาต่อไป เนื่องจากให้ความแข็งแรงสูงสุด

### 4.3 สถานะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน

#### 4.3.1 ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดแอสซิดิก

จากข้อ 4.2 นำหนังวัวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.5% ใช้เวลา 40 ชั่วโมง มาศึกษาการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสซิดิกที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.05, 0.10 และ 0.15 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 ชั่วโมง จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อสกัดเจลาตินไปได้ 24 ชั่วโมง สารละลายกรดแอสซิดิกที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ให้เจลาตินที่มีค่าความแข็งแรงเจลสูงที่สุด (ภาพที่ 4.3) (ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-3) แต่เมื่อสกัดนานขึ้น ค่าความแข็งแรงเจลกลับลดต่ำลง เนื่องจากการสกัดนานเกินไปทำให้โมเลกุลของคอลลาเจนถูกไฮโดรไลซ์ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงเจล (Cho *et al.*, 2006)



ภาพที่ 4.3 ความแข็งแรงของเจลาตินที่สกัดจากหนังวัวที่สกัดด้วยสารละลายกรดแอสซิดิก ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (◇), 0.10 โมลาร์ (□) และ 0.15 โมลาร์ (△)

ในขณะที่เจลาตินที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายกรดแอสซิดิกที่ความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ มีค่าความแข็งแรงเจลเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่เวลา 42 ชั่วโมงให้ค่าความแข็งแรงเจลสูงที่สุด ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องมาจากสถานะความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรด

เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดต่ำลง ซึ่ง Gomez-Guillien และ Montero (2001) กล่าวว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำช่วยทำให้วัตถุดิบสกัดง่ายมากยิ่งขึ้น โดยเกิดการทำลายพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ที่เชื่อมต่อไปโมเลกุลของคอลลาเจน ทำให้โครงสร้างคอลลาเจนเกิดการคลายตัว น้ำสามารถแทรกเข้าไปภายในโมเลกุลของคอลลาเจน ทำให้วัตถุดิบเกิดการพองตัว คอลลาเจนจึงละลายออกมาขณะสกัดจึงออกมาได้ง่ายขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำช่วยทำให้การสกัดเจลาตินเกิดขึ้นในอัตราสูง และทำให้ความแข็งแรงเจลของเจลาตินที่สกัดได้เพิ่มสูงตามไปด้วย สารละลายกรดแอสซิติคความเข้มข้น 0.15 โมลาร์ จึงถูกเลือกสำหรับการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

#### 4.3.2 สภาวะอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน

จากผลการทดลองข้อ 4.3.1 สารละลายกรดแอสซิติคความเข้มข้น 0.15 โมลาร์จึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดเจลาติน เพื่อหาสภาวะของอุณหภูมิ (60-80 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาในการสกัด (6-48 ชั่วโมง) ที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Method, RSM) โดยค่าที่คำนวณได้จากการทดลองการใช้แบบจำลองค่าตอบสนองและผลจากการทดลองจริง แสดงในตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์ และ P-value แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

แบบจำลองค่าตอบสนองเป็นดังสมการ

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = -7.26 + 0.17X_1 + 0.14X_2$$

$$\text{ความแข็งแรงเจล (กรัม)} = -1533.21 - 55.03X_1 + 8.81X_2 - 0.42X_1^2 - 0.06X_2^2 - 0.11X_1X_2$$

เมื่อ  $X_1$  คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

$X_2$  คือ เวลา (ชั่วโมง)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองค่าตอบสนองของเจลาตินที่สกัดได้ พบว่าแบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ของปริมาณผลผลิตเท่ากับ 85.78% และความแข็งแรงเจลเท่ากับ 95.99% (ตารางที่ 4.4) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองของค่าปริมาณผลผลิตและค่าความแข็งแรงเจลตามระยะเวลาและอุณหภูมิในการสกัดมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปใช้หาค่าสภาวะที่เหมาะสมได้

ตารางที่ 4.2 ค่าจากการทดลองและค่าจากการทำนายของปริมาณผลผลิตและความแข็งแรงเจลของเจลาตินที่สกัดได้

ตัวอย่าง	ระดับของตัวแปร <sup>1</sup>		ปริมาณผลผลิต (% , Y <sub>1</sub> )		ความแข็งแรงเจล (g, Y <sub>2</sub> )	
	อุณหภูมิ (°C, X <sub>1</sub> )	เวลา (h, X <sub>2</sub> )	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง	ค่าจากการทำนาย
1	0 (70)	0 (27)	8.23 ± 0.04	8.42	215.96 ± 17.08	247.12
2	0 (70)	0 (27)	8.33 ± 0.09	8.42	229.13 ± 18.71	247.12
3	-1.2 (58)	0 (27)	7.24 ± 0.03	6.38	232.87 ± 23.03	267.52
4	0 (70)	+1.2 (52)	12.12 ± 0.01	11.92	90.84 ± 31.32	156.37
5	-1 (60)	+1 (48)	8.50 ± 0.04	9.66	217.78 ± 10.58	224.43
6	0 (70)	0 (27)	8.47 ± 0.03	8.42	237.24 ± 16.62	247.12
7	+1 (80)	+1 (48)	11.79 ± 0.01	13.06	8.33 ± 2.29	43.43
8	0 (70)	0 (27)	8.14 ± 0.08	8.42	221.61 ± 23.63	247.12
9	-1 (60)	-1 (6)	3.49 ± 0.02	3.78	250.75 ± 17.85	267.69
10	+1.2 (82)	0 (27)	9.72 ± 0.02	10.46	84.02 ± 18.25	105.76
11	0 (70)	-1.2 (1.8)	2.09 ± 0.03	4.892	267.96 ± 18.25	262.69
12	0 (70)	0 (27)	8.53 ± 0.04	8.42	208.06 ± 7.39	247.12
13	+1 (80)	-1 (6)	8.60 ± 0.00	7.18	137.38 ± 9.44	179.09

<sup>1</sup>ตัวเลขนอกวงเล็บเป็นตัวแปรรหัส (coded variable) ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวแปรจริง (actual variable)

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์และค่าคงที่ของแบบจำลองการสกัดเจลาติน

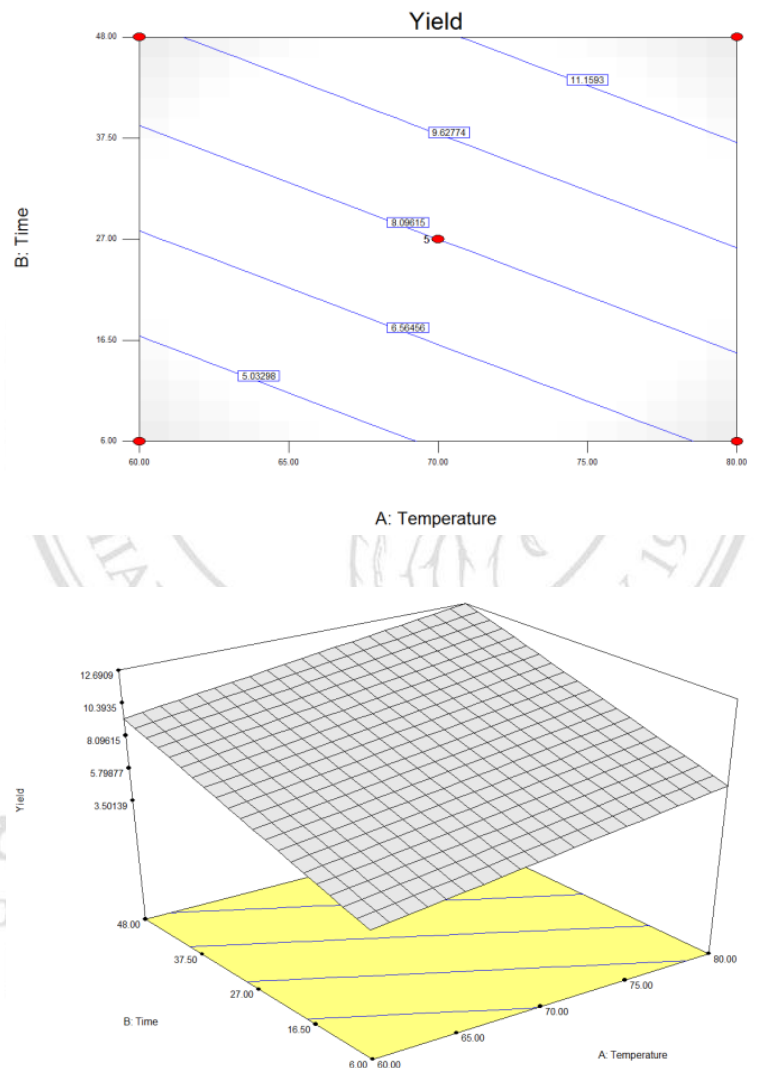
องค์ประกอบของแบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์	
	ปริมาณผลผลิต (%)	ความแข็งแรงเจล (กรัม)
<b>ตัวแปรจริง</b>		
K	-7.26	-1533.21
อุณหภูมิ	0.17	55.03
เวลา	0.14	8.81
อุณหภูมิ <sup>2</sup>	-	-0.42
เวลา <sup>2</sup>	-	-0.06
อุณหภูมิ×เวลา	-	-0.11
<b>ตัวแปรห้ส</b>		
$\beta_0$	8.10	221.85
$X_1$	1.65	-72.88
$X_2$	2.94	-54.44
$X_1^2$	-	-42.31
$X_2^2$	-	-27.76
$X_1 X_2$	-	-24.02

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการสกัดเจลาติน

แหล่งของความแปรปรวน	P-value	
	ปริมาณผลผลิต (%)	ความแข็งแรงเจล (กรัม)
แบบจำลอง(model)	<0.0001	<0.0001
$X_1$	0.0035	<0.0001
$X_2$	<0.0001	0.0002
$X_1^2$	-	0.0034
$X_2^2$	-	0.0250
$X_1 X_2$	-	0.0531
<b>Residual</b>		
Lack of fit	0.0004	0.0519
Adjusted R <sup>2</sup>	0.8578	0.9599

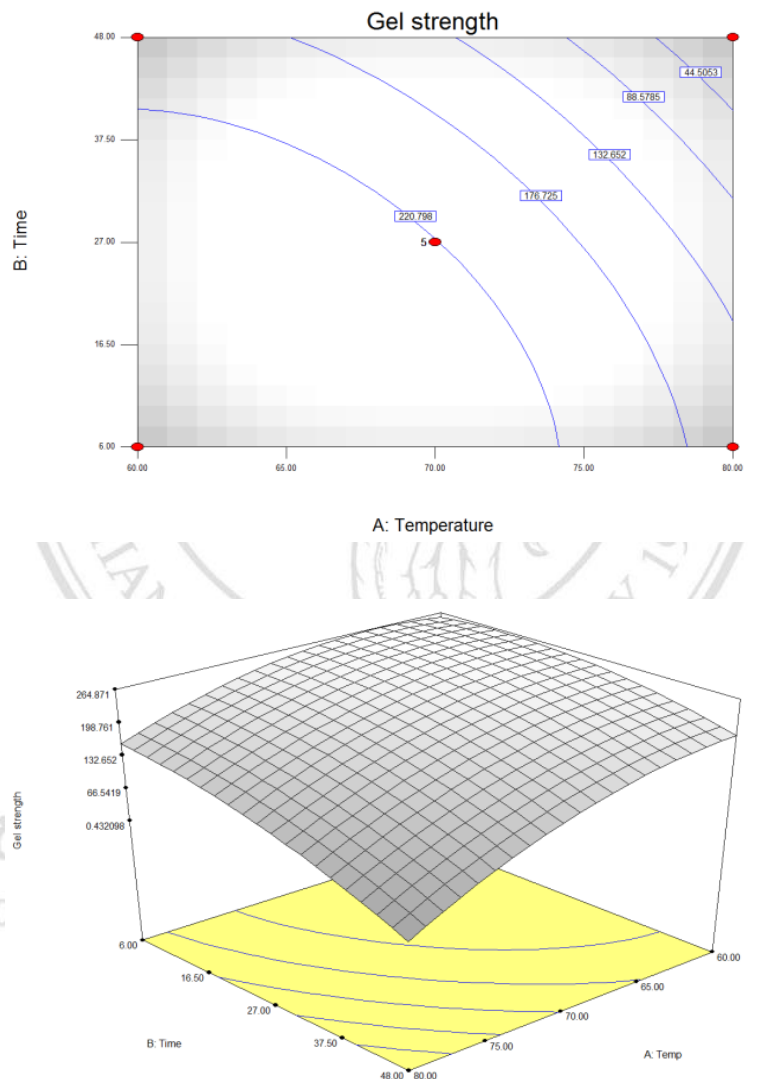


จากกราฟเส้นและกราฟพื้นที่ผิวตอบสนอง แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิต (ภาพที่ 4.4) และค่าความแข็งแรงเจล (ภาพที่ 4.5) ตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด พบว่าเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเจลาตินถูกสกัดที่อุณหภูมิสูง พันธะระหว่างสายโซ่แอลฟาของคอลลาเจนถูกทำลาย โครงสร้างสามมิติกลายเป็นออสซิลลูแลนและสามารถสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sinthusamran *et al.*, 2014) ทำให้มีปริมาณผลผลิตเจลาตินเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4.4 กราฟโครงร่างและกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองของปริมาณผลผลิตตามปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด

แม้การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดจะมีผลทำให้มีปริมาณผลผลิตมากขึ้น แต่ก็ทำให้ค่าความแข็งแรงเจลมีค่าลดต่ำลงเช่นกัน เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดประกอบกับระยะเวลาในการสกัดที่นานส่งผลทำให้เกิดการย่อยสลายของโปรตีนหรือสายเพปไทด์ เกิดการทำลายพันธะภายในโมเลกุลของเจลาติน สายโซ่โปรตีนจึงมีขนาดสั้นลง (Cho *et al.*, 2006) ทำให้เจลาตินไม่สามารถสร้างจุดเชื่อมต่อ (junction zone) ระหว่างโมเลกุลได้ ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงในโครงสร้างของเจล (Karim and Bhat, 2009)



ภาพที่ 4.5 กราฟโครงร่างและกราฟพื้นที่ผิวตอบสนองของความแข็งแรงเจลตามปัจจัยอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินแสดงดังตารางที่ 4.5 โดยสภาวะที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือก ถ้าต้องการความแข็งแรงของเจลสูง ควรสกัดที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ความแข็งแรงเจลเท่ากับ 237.84 กรัม และถ้าต้องการปริมาณผลผลิตในปริมาณสูงควรใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ซึ่งจะมีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 11.79% แต่มีความแข็งแรงเจลเพียง 8.34 กรัม ซึ่งแตกต่างจากค่าการทำนาย (43.43 กรัม) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Harris (1990) ซึ่งได้รายงานว่าการสกัดเจลาตินที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเจลาตินที่ปริมาณสูง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนและพันธะโคเวเลนต์ของคอลลาเจนถูกรบกวน ทำให้สายพันธะ triple-helix ไม่เสถียร และเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า helix-to-coil transition (Montero and Gómez-Guillén, 2000) ซึ่งมีผลทำให้โปรตีนถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น ส่วนการสกัดโดยใช้อุณหภูมิทำให้เจลาตินในปริมาณต่ำ อย่างไรก็ตามการสกัดที่อุณหภูมิสูงและใช้ระยะเวลาสั้นทำให้ได้ผลผลิตของเจลาตินในปริมาณมาก แต่เจลที่ได้มีความแข็งแรงเจลออ่อน เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำลายโครงสร้างภายในโมเลกุล ทำให้โมเลกุลมีสายโซ่ขนาดสั้นลง ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงเจลที่ลดต่ำลง (Cho *et al.*, 2006) ทำให้ค่าจากการทดลองต่ำกว่าค่าการทำนายอย่างมาก

งานวิจัยนี้มุ่งหาสภาวะที่ให้ปริมาณผลผลิตสูงและเจลมีความแข็งแรง ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 4.5 พบว่า สภาวะการสกัดที่เหมาะสมคือ การสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงเจลเท่ากับ 265.45 กรัม และเจลาตินที่มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 4.78% จากปริมาณ โปรตีนแห้งวัวเท่ากับ 64.01% เนื่องจากสูญเสียโปรตีนของหนังในระหว่างการปรับสภาพ (ฉลองขวัญ, 2551) ผลการศึกษามีปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกับ Li *et al.* (2008) ซึ่งรายงานว่าการสกัดหนังวัวที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพหนังมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 14.85% ได้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 4.17% และ Mahmood *et al.* (2008) รายงานว่าการสกัดหนังวัวฟอก มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 20-25% ได้ปริมาณผลผลิตเท่ากับ 13.6%

Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

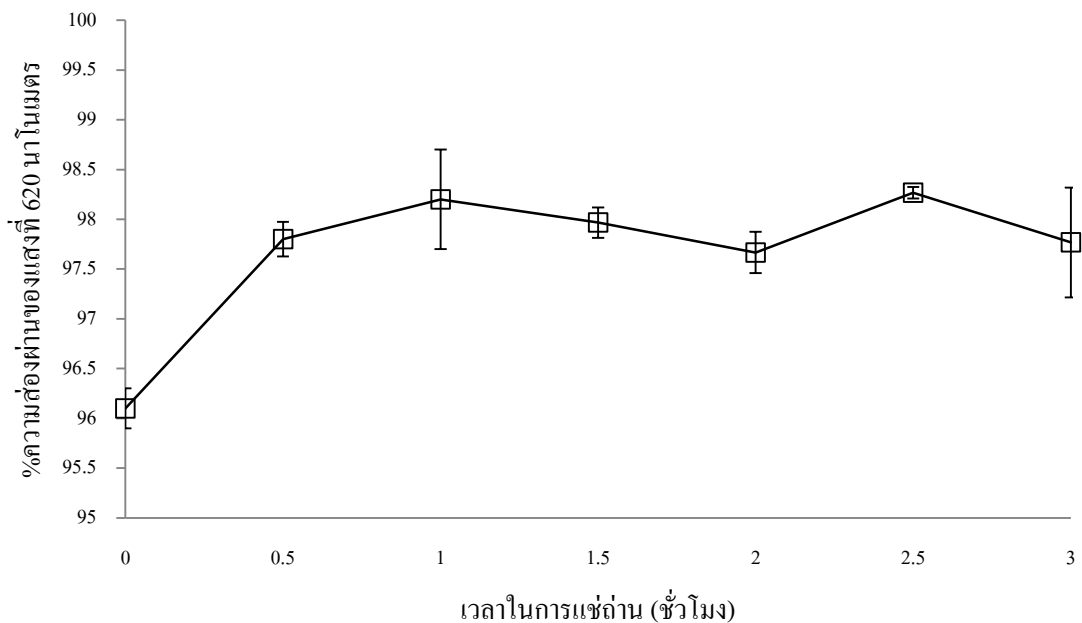
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพเงลาดินผงในการผลิตจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายของสภาวะที่เหมาะสม

สภาวะที่เหมาะสม	สภาวะ		ปริมาณผลผลิต (%)		ความแข็งแรงเจล (กรัม)	
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ค่าจากการทดลอง <sup>1</sup>	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดลอง <sup>1</sup>	ค่าจากการทำนาย
1	80	48	11.79 ± 0.01	13.06	8.34 ± 2.29	43.43
2	63	12	4.64 ± 0.01	5.13	237.84 ± 34.50	280.62
3	70	6	4.78 ± 0.03	5.48	265.45 ± 18.34	265.39

หมายเหตุ: <sup>1</sup>แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากการทดลองกับค่าจากการทำนาย ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

### 4.3.3 การลดความขุ่นของสารละลายเจลาติน

จากการทดลองข้อ 4.3.2 สารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า สารละลายเจลาตินที่ได้มีลักษณะขุ่น ซึ่งความขุ่นของสารละลายอาจเกิดขึ้นได้จากสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ (Norziah *et al.*, 2014) การลดความขุ่นของสารละลายเจลาตินสามารถทำได้โดยการแช่ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ปริมาณ 5% โดยถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างภายในเป็นแบบรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้มีพื้นที่ผิวมากในการดูดซับอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย ทำให้สารละลายมีสีอ่อนลงและใสขึ้น (Ockerman and Hansen, 1988) จากการทดลองสารละลายเจลาตินแช่ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ จากนั้นกรองสารละลายเจลาตินผ่านกระดาษกรองและสำลี พบว่า เมื่อแช่ถ่านกัมมันต์ในเจลาตินสามารถทำให้ความขุ่นลดลงได้ (ภาพที่ 4.6) ซึ่งระยะเวลาในการแช่ถ่านส่งผลต่อค่าความขุ่นของสารละลาย โดยการแช่ถ่าน ที่เวลา 2.5 ชั่วโมงให้ความขุ่นน้อยที่สุด โดยมีความขุ่นเท่ากับ 1.73% ในขณะที่การแช่ถ่านที่ 1 ชั่วโมง ทำให้ได้ความขุ่นเท่ากับ 1.80% ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) (ผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงในภาคผนวกตารางที่ ก-4) จึงเลือกการแช่ถ่านที่ 1 ชั่วโมงเพราะทำให้กระบวนการผลิตใช้เวลาน้อยกว่า



ภาพที่ 4.6 ความขุ่นของสารละลายเจลาตินที่ผ่านการแช่ถ่านกัมมันต์ที่เวลาต่างๆ

#### 4.4 สมบัติของเจลลิตินที่สกัดได้

นำเจลลิตินที่สกัดได้จากการสกัดในสภาวะที่เหมาะสม และผ่านการทำให้ใสโดยการแช่ถ้ำน กัมมันต์ 5% ทำให้แห้งด้วยวิธีอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายกลายเป็น เจลลิตินแผ่น (ความชื้นต่ำกว่า 15%) จากนั้นนำเจลลิตินผงมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ เปรียบเทียบกับเจลลิตินทางการค้า

##### 4.4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเจลลิติน

องค์ประกอบทางเคมีของเจลลิตินที่สกัดได้และเจลลิตินทางการค้า แสดงในตารางที่ 4.6 โปรตีนของเจลลิตินทางการค้ามีค่ามากกว่าเจลลิตินที่สกัดได้ ( $P \leq 0.05$ ) โปรตีนเริ่มต้นของหนังวัว เท่ากับ 64.01% เมื่อนำหนังวัวมาสกัดเจลลิติน ทำให้ได้เจลลิตินที่มีโปรตีนเท่ากับ 61.57% เนื่องจากใน ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก หนังวัวได้ผ่านกระบวนการแช่ในสารละลายต่าง ทำให้หนังวัว สูญเสียโปรตีนไปส่วนหนึ่งและเจลลิตินที่ได้มีโปรตีนน้อยกว่าเจลลิตินทางการค้า

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของเจลลิตินที่สกัดได้และเจลลิตินทางการค้า

องค์ประกอบทางเคมี (% น้ำหนักเปียก)	เจลลิตินที่สกัดได้	เจลลิตินทางการค้า
โปรตีน	61.57 <sup>b</sup> ± 0.51	79.02 <sup>a</sup> ± 1.42
ความชื้น	8.20 <sup>ns</sup> ± 0.08	7.61 <sup>ns</sup> ± 0.39
ไขมัน	10.21 <sup>a</sup> ± 0.07	0.46 <sup>b</sup> ± 0.30
เถ้า	11.45 <sup>a</sup> ± 0.24	0.48 <sup>b</sup> ± 0.05

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )  
<sup>ns</sup> ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

ความชื้นของเจลลิตินที่สกัดได้และเจลลิตินทางการค้ามีค่าตามมาตรฐานของเจลลิติน โดย D'Cruz และ Bell (2005) แนะนำว่าเจลลิตินควรมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า 13% ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เจลลิตินที่สกัดได้สามารถเก็บไว้ได้นานเมื่อเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ที่ป้องกันความชื้นได้

ปริมาณไขมันและเถ้าของเจลลิตินที่สกัดได้มีปริมาณสูงกว่าเจลลิตินทางการค้ามาก เนื่องจาก เจลลิตินทางการค้าผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วโดยใช้เครื่องแยก (separator) ในการกำจัด ไขมัน อีกทั้งยังใช้เครื่องแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanger) ซึ่งในวิธีการนี้สามารถกำจัด ไอออนบวก (cation) ไอออนลบ (anion) และ ไอออนต่างๆ ออกไปได้หมดในครั้งเดียว (Schrieber and Gareis,

2007) แต่เจลลาตินที่สกัดได้ในการศึกษานี้เป็นเพียงเจลลาตินหยาบที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

#### 4.4.2 สมบัติทางกายภาพ

##### 1) ความแข็งแรงเจล (gel strength)

ความแข็งแรงเจลของเจลลาตินที่ได้เปรียบเทียบกับเจลลาตินทางการค้า แสดงในตารางที่ 4.7 โดยพบว่า ความแข็งแรงเจลของเจลลาตินที่สกัดได้มีค่าความแข็งแรงเจลต่ำกว่าเจลลาตินทางการค้า ( $P \leq 0.05$ ) เนื่องจากโครงสร้างสามมิติของเจลลาตินที่จับกันโดยพันธะเพปไทด์มีผลโดยตรงต่อสมบัติความแข็งแรงเจล โดยพอลิเมอร์สายสั้นจะทำให้ความแข็งแรงเจลต่ำและพอลิเมอร์ที่มีสายยาวจะทำให้ความแข็งแรงเจลสูงขึ้น (Whislyer and Daniel, 1990) เมื่อเจลลาตินประกอบด้วยสายพันธะเพปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้ความแข็งแรงเจลลดต่ำลงเช่นกัน (Karim and Bhat, 2009) ซึ่งความแข็งแรงเจลที่ต่ำนั้นมีสาเหตุมาจากกระบวนการเตรียมหนังก่อนฟอกของโรงงานฟอกหนัง การแช่น้ำปูน การกำจัดขนด้วยสารเคมีทำให้หนังดิบสูญเสียสายโซ่พอลิเมอร์และการจับตัวกันของโมเลกุล ซึ่ง Sarbon *et al.* (2013) รายงานว่าคุณลักษณะตั้งต้นของวัตถุดิบมีผลต่อสมบัติความแข็งแรงเจล

โดยทั่วไปคุณภาพของเจลลาตินจะถูกแบ่งออกตามความแข็งแรงเจล คือ เจลลาตินคุณภาพสูงจะมีความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 220-300 กรัม เจลลาตินคุณภาพปานกลางมีความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วง 150-220 กรัม และเจลลาตินคุณภาพต่ำมีความแข็งแรงเจลอยู่ในช่วงน้อยกว่า 150 กรัม (Johnston-Banks, 1990) ซึ่งเจลลาตินที่สกัดได้จัดเป็นเจลลาตินคุณภาพต่ำ

##### 2) สี (color)

ค่าสีของเจลลาตินที่สกัดได้และเจลลาตินทางการค้า แสดงในตารางที่ 4.7 โดยค่าสี  $L^*$  และ  $b^*$  ของเจลลาตินที่สกัดได้มีค่าต่ำกว่าเจลลาตินทางการค้า ในขณะที่ค่า  $a^*$  นั้นมีค่าสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าเจลลาตินที่สกัดได้มีลักษณะออกเป็นสีเหลืองเข้ม ในขณะที่เจลลาตินทางการค้าเป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากเจลลาตินที่สกัดได้ยังเป็นเจลลาตินหยาบที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการเติมสารฟอกสี ในขณะที่การผลิตเจลลาตินทางอุตสาหกรรมนั้นมีการเติมสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างขั้นตอนการผลิต ทำให้สีของสารละลายเจลลาตินทางการค้ามีความสว่างขึ้น (Schrieber and Gareis, 2007)

### 3) ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของเจลาตินที่สกัดได้ต่ำกว่าความหนืดของเจลาตินทางการค้า (ตารางที่ 4.7) เนื่องจากสายโซ่เพปไทด์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งความหนืดของสารละลายเจลาตินบางส่วนถูกควบคุมด้วยน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของมวลโมเลกุล (polydispersity) (Rafieian *et al.*, 2015) ดังแสดงในผลการทดลองเรื่องน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีน ทั้งนี้ความหนืดยังขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ความแข็งแรงเจล ความเข้มข้น และอุณหภูมิของเจลาตินอีกด้วย (Norziah *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตาม ความหนืดของเจลาตินที่ศึกษามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับได้โดยเหมาะสำหรับกระบวนการผลิตเม็ดยาที่ต้องการใช้เจลาตินที่มีความหนืดเท่ากับ 2-3.5 เซนติพอยส์ เป็นส่วนประกอบ (GMIA, 2012)

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางกายภาพของเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้า

สมบัติ	เจลาตินที่สกัดได้	เจลาตินทางการค้า
ความแข็งแรงเจล (กรัม/ลิ)	144.61 <sup>b</sup> ± 0.17	542.32 <sup>a</sup> ± 0.55
L*	60.96 <sup>b</sup> ± 0.06	69.32 <sup>a</sup> ± 0.34
a*	2.31 <sup>a</sup> ± 0.03	1.91 <sup>b</sup> ± 0.04
b*	22.87 <sup>b</sup> ± 0.18	26.47 <sup>a</sup> ± 0.35
ความขุ่น (%T <sub>620 nm</sub> )	78.75 <sup>b</sup> ± 0.37	97.40 <sup>a</sup> ± 0.14
ความหนืด (เซนติพอยส์)	3.32 <sup>b</sup> ± 0.01	9.93 <sup>a</sup> ± 0.16
ความสามารถในการเกิดโฟม (FE, %)	120.00 <sup>b</sup> ± 0.00	150.00 <sup>a</sup> ± 0.00
ความคงตัวของโฟม (FS, %)	22.50 <sup>b</sup> ± 1.18	75.33 <sup>a</sup> ± 2.83
ความเป็นกรด-ด่าง	5.13 <sup>ns</sup> ± 0.02	5.18 <sup>ns</sup> ± 0.03

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )  
<sup>ns</sup>ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

### 4) ความขุ่น (turbidity)

ค่าความขุ่นของเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้าแสดงในตารางที่ 4.7 โดยพบว่าความขุ่นของเจลาตินที่สกัดได้มากกว่าเจลาตินทางการค้า ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งความขุ่นของเจลาตินเกิดจากการตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric haze) หรือจุดสมมูลของประจุสุทธิบนโมเลกุลโปรตีน



เป็นศูนย์ ทำให้โมเลกุลของโปรตีน ไม่มีแรงผลักดันไฟฟ้าสถิตระหว่างโมเลกุล เมื่อโปรตีนเข้าใกล้กันมากพอจึงรวมกันและตกตะกอนลงมาได้ (Scope, 1994) จากผลการทดลองพบว่า เจลาตินที่สกัดได้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.13 โดย Cole (2000) กล่าวว่าเจลาตินที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายด่างมีจุดไอโซอิเล็กทริกอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4-6 ซึ่งเจลาตินที่สกัดได้มีค่าอยู่ในช่วงจุดไอโซอิเล็กทริกจึงทำให้มีการตกตะกอนของโปรตีนและส่งผลต่อความขุ่นของเจลาติน

#### 5) สมบัติของโฟม (foaming properties)

ค่าความสามารถในการเกิดโฟม (FE) และความคงตัวโฟม (FS) ของเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้าแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ความสามารถในการเกิดโฟมและความคงตัวโฟมของเจลาตินทางการค้าสูงกว่าเจลาตินที่สกัดได้ ( $P \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า ขนาดโมเลกุลโปรตีนของเจลาตินที่สกัดได้มีขนาดเล็ก ซึ่ง Karim และ Bhat (2009) รายงานว่า เจลาตินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถเกิดฟิล์มและเก็บกักฟองอากาศได้ดีกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก นอกจากนี้ค่าความคงตัวโฟมของเจลาตินแปรผันตามต่อความเข้มข้นของโปรตีน (Halling, 1981) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนจะทำให้ความคงตัวโฟมและความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย (Lassoued *et al.*, 2014)

#### 6) ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างของเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.13 และ 5.18 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Harris (1990) รายงานว่า เจลาตินที่ดีจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.0-5.8

#### 7) การวิเคราะห์รูปแบบเนื้อสัมผัส

รูปแบบเนื้อสัมผัสของเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้า แสดงในตารางที่ 4.8 โดยพบว่า ค่าเนื้อสัมผัสด้านความเปราะ ความแข็ง การเกาะตัว ความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชั้นอาหาร ความยืดหยุ่น พลังงานการเคี้ยวอาหารแข็ง และพลังงานการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวของเจลาตินที่สกัดได้มีค่าต่ำกว่าเจลาตินทางการค้า ( $P \leq 0.05$ ) เจลาตินที่สกัดได้มีลักษณะเปราะ แตกได้ง่าย อ่อนนุ่ม สามารถยึดติดของอาหารได้น้อย สามารถใช้แรงในการบดเคี้ยวเพียงเล็กน้อยก็ทำให้อาหารแตกเป็นชิ้นเล็กได้อย่างง่ายดาย ทั้งนี้อาจเนื่องจากเจลาตินที่สกัดได้มีโมเลกุลของโปรตีนที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.8 รูปแบบเนื้อสัมผัสของเจลลาตินที่สกัดได้และเจลลาตินทางการค้า

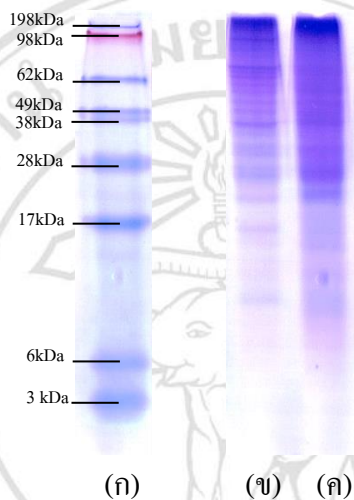
รูปแบบเนื้อสัมผัส	เจลลาตินที่สกัดได้	เจลลาตินทางการค้า
ค่าความเปราะของอาหาร (กรัม)	470.10 <sup>b</sup> ± 211.93	5005.59 <sup>a</sup> ± 349.68
ค่าความแข็ง (กรัม)	856.54 <sup>b</sup> ± 321.75	5678.72 <sup>a</sup> ± 439.77
ค่าการเกาะติดของอาหาร (กรัม·วินาที)	-27.22 <sup>b</sup> ± 2.42	-4.29 <sup>a</sup> ± 3.11
ค่าความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร	0.49 <sup>b</sup> ± 0.21	0.83 <sup>a</sup> ± 0.01
ค่าความยืดหยุ่นของอาหาร	1.03 <sup>b</sup> ± 0.23	1.39 <sup>a</sup> ± 0.03
พลังงานการเคี้ยวอาหารแข็ง	487.08 <sup>b</sup> ± 277.13	6567.64 <sup>a</sup> ± 546.23
พลังงานการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว	442.89 <sup>b</sup> ± 238.76	4713.11 <sup>a</sup> ± 322.21

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

#### 8) การหาน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนด้วยวิธี SDS-PAGE

น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนของเจลลาตินที่สกัดได้และเจลลาตินทางการค้าจากการวิเคราะห์ ด้วยวิธี SDS-PAGE แสดงดังภาพที่ 4.7 โดยพบว่า เจลาตินที่สกัดได้มีน้ำหนักโมเลกุลโปรตีนอยู่ในช่วง 6 ถึง 38 กิโลดาลตัน ในขณะที่เจลลาตินทางการค้ามีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 17 ถึง 98 กิโลดาลตัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของวัตถุดิบเริ่มต้น โดยหนังคิบที่ ได้รับจากโรงงานฟอกหนังนั้นผ่านกระบวนการเตรียมหนังก่อนฟอก ได้แก่ การแช่น้ำปูน การกำจัดขนด้วยสารเคมี แต่หนังที่ใช้ในกระบวนการผลิตเจลลาตินทางการค้าเป็นหนังสดที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ จึงทำให้น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนที่แตกต่างกัน น้ำหนักโมเลกุลของเจลลาตินที่ได้สอดคล้องกับรายงานของปารีชาติ (2548) พบว่า การสกัดเจลลาตินจากเศษหนังสัตว์ใหญ่โดยใช้แอลคาไลน์โปรทีเอส ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะให้เจลลาตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 20 ถึง 96 กิโลดาลตัน ซึ่งค่าความแข็งแรงเจลและความหนืดแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุลของเจลลาติน เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงเจลและความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากการศึกษาการสกัดคอลลาเจนจากเกล็ดปลาของฉลงขวัญ (2551) รายงานว่า การให้ความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารละลายกรด ทำให้เกิดการย่อยโมเลกุลเปปไทด์ขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น สารละลายเจลลาตินที่ได้จึงมีส่วนประกอบของเปปไทด์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ เจลาตินถูกทำลายพันธะโควาเลนต์และนอนโควาเลนต์ทั้งภายในและระหว่างสายเปปไทด์ (Foegeding *et al.*, 1996; Karim and Bhat, 2009) ทำให้เจลลาตินที่ได้เป็นเปปไทด์ที่มีสายสั้น มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่งผลต่อสมบัติทางด้านความแข็งแรงเจลของเจลลาติน เนื่องจากเจลลาตินมีลักษณะเป็นแบบ random coil ซึ่งปฏิกริยาร่างแหเชื่อม โยระหว่างโมเลกุลจะเชื่อม

กันเป็นตาข่าย เมื่อความแข็งแรงเจลลดต่ำลงก็ทำให้มีความหนืดลดลงตามไปด้วย (Weiser, 1969) โดยเจลาตินที่มีค่าความหนืดต่ำจะทำให้เจลาตินละลายได้อย่างรวดเร็ว เจลาตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำนอกจากจะส่งผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงเจลและความหนืดแล้วยังส่งผลต่อเนื่องถึงสมบัติของโฟม โดยเมื่อความหนืดลดลงจะมีผลทำให้สัดส่วนของกรดอะมิโนด้านที่ไม่มีขั้วของเจลาตินลดต่ำลงไปด้วย ผนังของโฟมจึงแตกตัวได้ง่ายขึ้น (Michell, 1986) นอกจากนี้ สมบัติด้านน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเจลาติน เช่น สมบัติด้านความหยุ่นหนืด (viscoelastic property) และจุดก่อเจล (gelling point) อีกด้วย (Tavernier, 1989)



ภาพที่ 4.7 น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนของ (ก) แถบโปรตีนมาตรฐาน (ข) เจลาตินทางการค้า และ (ค) เจลาตินที่สกัดได้

#### 4.4.3 โลหะหนัก

เจลาตินที่สกัดได้มีสารหนูน้อยกว่า 0.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และค่าตะกั่ว 0.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโลหะหนัก 0.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 4.9) แสดงว่า คุณภาพของเจลาตินที่สกัดได้เป็นไปตามมาตรฐานด้านโลหะหนักตาม มอก.799-2548

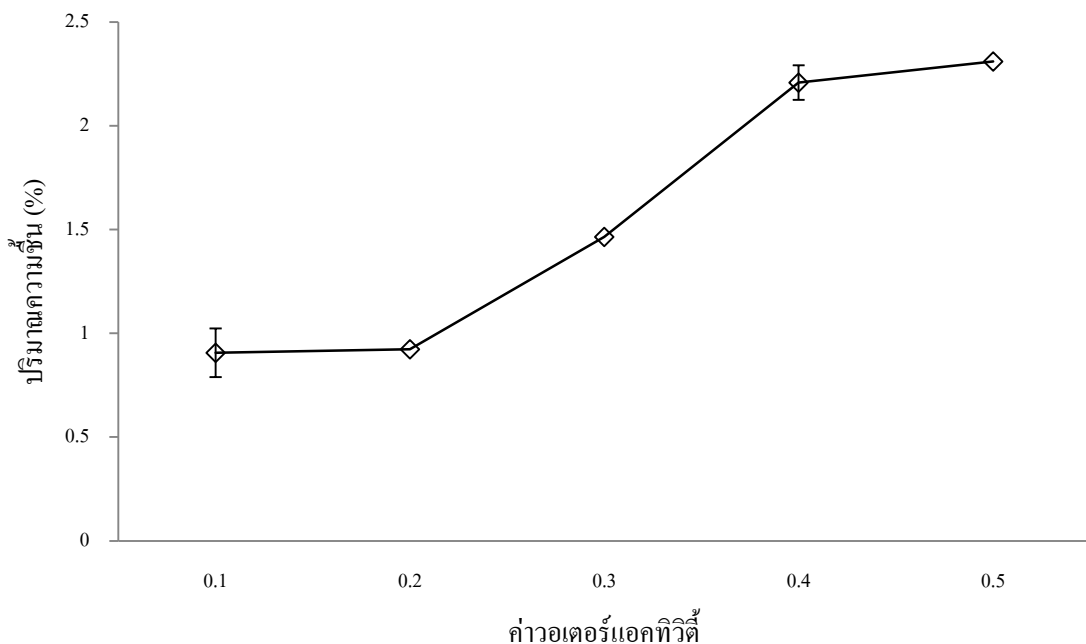
ตารางที่ 4.9 ปริมาณโลหะหนักของเจลาตินผง

โลหะหนัก	ค่าตามมาตรฐาน มอก.799-2548	เจลาตินผงที่สกัดได้
สารหนู (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≤ 1	<0.13
ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≤ 5	0.24
โลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	≤ 50	0.37

## 4.5 ผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อคุณภาพของเจลาตินผง

### 4.5.1 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (moisture sorption isotherm) ของเจลาตินผง

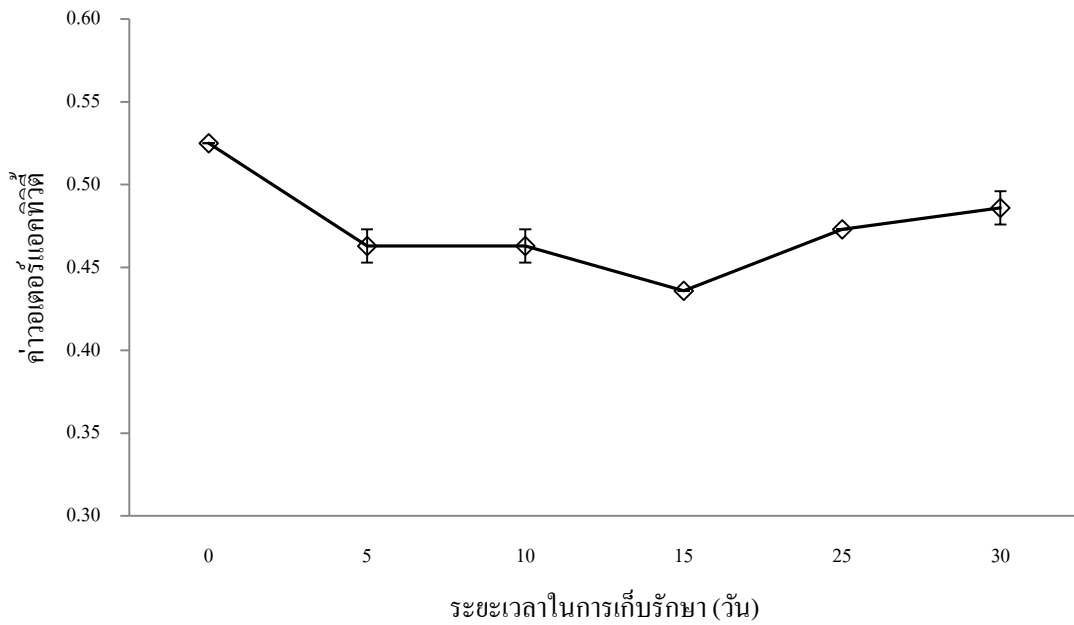
ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (moisture sorption isotherm) ของเจลาตินผงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.8 พบว่า ที่สภาวะการเก็บอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กราฟมีลักษณะเป็น adsorption isotherm โดยเป็นสภาวะการดูดความชื้นกลับของอาหารแห้งหรืออาหารผงเมื่อมีสภาวะความชื้นมากขึ้น จากกราฟแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับน้ำของอาหารจำพวก high hygroscopicity คือ เมื่อนำเจลาตินผงที่สกัดได้ไปเก็บไว้ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2553) ทั้งนี้ deMan (2013) ได้รายงานว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี้ในช่วงระหว่าง 0.35 ถึง 0.45 เป็นช่วงจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพของวัตถุ รวมถึงการสูญเสียลักษณะทางด้านความกรอบและความเหนียวของตัวอย่างผง (Labuza *et al.*, 2004) ดังนั้นจึงควรเก็บเจลาตินผงด้วยบรรจุภัณฑ์ที่มีสภาพการซึมผ่านของไอน้ำต่ำ และควรเก็บเจลาตินผงที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 22% เนื่องจากมีปริมาณความชื้นคงตัว ซึ่งถ้าเก็บรักษาที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 32% ขึ้นไป จะทำให้เจลาตินผงมีลักษณะเหนียว เกาะติดกันเป็นก้อน เนื่องจากสมบัติน้ำไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4.8 ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเจลาตินผงที่สกัดได้

#### 4.5.2 ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ระหว่างการเก็บรักษา

ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ของเจลาตินผง แสดงในภาพที่ 4.9 โดยค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ต่ำกว่า 0.6 ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา เนื่องจากถุงอะลูมิเนียมพอยด์สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำกับอากาศได้ดี



ภาพที่ 4.9 ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ของเจลาตินผงระหว่างการเก็บรักษา

#### 4.6 การศึกษาการประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

##### 4.6.1 คุณภาพของผลิตภัณฑ์เฮลตี้สเต็มผสมเจลาติน

ผลิตภัณฑ์เฮลตี้สเต็มที่มีส่วนประกอบเป็นเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้าถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี ความขุ่น ความแข็งแรงเจล ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยพบว่า เฮลตี้จากเจลาตินที่ได้มีสีเข้ม มีค่าความขุ่นน้อย และความแข็งแรงเจลด้อยกว่าเจลาตินทางการค้า ( $P \leq 0.05$ ) ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี้ มีค่าเท่ากับ 0.88 และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.52 ซึ่งผลิตภัณฑ์เฮลตี้จากเจลาตินที่สกัดได้มีสมบัติทางกายภาพด้อยกว่าผลิตภัณฑ์เฮลตี้จากเจลาตินทางการค้า เนื่องจากสมบัติทางกายภาพแปรผันตรงกับสมบัติทางกายภาพของเจลาตินผงที่สกัดได้ตามที่คาดการณ์ไว้ (ตารางที่ 4.8)

**ตารางที่ 4.10** สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เยลลี่จากเจลาตินที่ได้และเจลาตินทางการค้า

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์เยลลี่จาก เจลาตินที่ได้	ผลิตภัณฑ์เยลลี่จาก เจลาตินทางการค้า
ความแข็งแรงเจล (กรัม) ลี	3231.31 <sup>b</sup> ± 164.30	6649.70 <sup>a</sup> ± 189.67
L*	44.52 <sup>b</sup> ± 0.36	55.06 <sup>a</sup> ± 0.10
a*	11.30 <sup>a</sup> ± 0.18	7.43 <sup>b</sup> ± 0.05
b*	42.18 <sup>a</sup> ± 0.48	40.60 <sup>b</sup> ± 0.33
ความขุ่น (%)	97.03 <sup>a</sup> ± 0.25	93.67 <sup>b</sup> ± 0.35
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.88 <sup>ns</sup> ± 0.00	0.88 <sup>ns</sup> ± 0.00
ความเป็นกรด-ด่าง	5.52 <sup>a</sup> ± 0.02	4.32 <sup>b</sup> ± 0.01

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )  
<sup>ns</sup>ค่าเฉลี่ยตามแนวนอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ )

#### 4.6.2 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยประเมินความชอบของผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อลักษณะด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เยลลี่รสส้มจากเจลาตินที่สกัดได้และเจลาตินทางการค้า ได้แก่ สี ความใส กลิ่น ความอ่อนนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่นและความชอบโดยรวม (ตารางที่ 4.11) ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์เยลลี่จากเจลาตินที่สกัดได้นั้นได้รับคะแนนมากกว่าเยลลี่จากเจลาตินทางการค้าในด้านสี ความใส ความอ่อนนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น และความชอบโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติที่ความแข็งแรงเจลที่น้อยของเจลาตินที่สกัดได้ทำให้ผลิตภัณฑ์เยลลี่รสส้มที่ผลิตได้มีคุณลักษณะที่อ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เยลลี่จากเจลาตินทางการค้ามีความแข็งแรงของเจลมากทำให้ผู้บริโภครู้สึกว่าการเคี้ยวผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวมากเกินไปซึ่งต้องใช้แรงกดในการทำให้ขาดมากขึ้นจึงทำให้คะแนนความชอบในทุกด้านต่ำกว่า อีกทั้งเมื่อนำเจลาตินที่สกัดได้มาผลิตเยลลี่รสส้มนั้นสีของน้ำผลไม้ไม่สามารถปิดบังสีของเจลาตินที่สกัดได้ ทำให้ผู้บริโภคไม่รู้สึกถึงความแตกต่างของสีอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์นั้นผลิตภัณฑ์เยลลี่จากเจลาตินทางการค้า มีคะแนนที่มากกว่า ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เฮลตี้จากเจลาตินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เฮลตี้จากเจลาตินทางการค้า

สมบัติ	ผลิตภัณฑ์เฮลตี้จาก เจลาตินที่สกัดได้	ผลิตภัณฑ์เฮลตี้จาก เจลาตินทางการค้า
สี	7.48 <sup>a</sup> ± 1.13	6.86 <sup>b</sup> ± 1.55
ความใส	7.24 <sup>a</sup> ± 1.10	6.28 <sup>b</sup> ± 1.83
กลิ่น	4.66 <sup>b</sup> ± 2.01	6.06 <sup>a</sup> ± 1.54
ความอ่อนนุ่ม	7.02 <sup>a</sup> ± 1.29	5.02 <sup>b</sup> ± 1.87
ความเหนียว	6.56 <sup>a</sup> ± 1.21	5.52 <sup>b</sup> ± 2.14
ความยืดหยุ่น	6.88 <sup>a</sup> ± 1.30	5.30 <sup>b</sup> ± 1.93
ความชอบโดยรวม	6.98 <sup>a</sup> ± 0.96	5.58 <sup>b</sup> ± 1.67

หมายเหตุ: แสดงข้อมูลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ  
เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่า ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )