

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 สมบัติของเศษเนื้อนกกระทาจอกเทศดิบ

4.1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระทาจอกเทศดิบ

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระทาจอกเทศดิบ แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกระทาจอกเทศดิบ

รายการ	ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์
โปรตีน (P)	21.0 ± 0.09%
ไขมัน (L)	2.1 ± 0.03 %
ความชื้น (M)	76.4 ± 0.06%
เถ้า (A)	1.1 ± 0.02%
คาร์โบไฮเดรต (C) (By Different)	
= 100 - (% M + % L + % P + % A)	0 %
ค่าพลังงานความร้อน (By Different)	
= (% C x 4) + (% L x 9) + (% P x 4)	103.1 ± 0.05 kcal/100g

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 5 ซ้ำ

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศดิบจากแหล่งอ้างอิง

รายการ	ปริมาณ*	ปริมาณ**
โปรตีน (P)	22.2%	21.2%
ไขมัน (L)	1.6%	1.0%
ความชื้น (M)	75.1%	76.7%
เถ้า (A)	1.1%	1.1%
คาร์โบไฮเดรต (C) (By Different)	0	0
= 100 – (% M + % L + % P + % A)		
ค่าพลังงานความร้อน (By Different)	103.2 kcal/100g	93.8 kcal/100g
= (% C x 4) + (% L x 9) + (% P x 4)		

ที่มา : *Paleari *et al.* (1998) และ**Sales and Hayes (1996)

ตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่าการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศดิบที่ใช้ในงานวิจัยได้ผลสอดคล้องกับค่าจากแหล่งอ้างอิง

4.1.2 ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน (Gluten) และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy Protein Isolated, SPI)

ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน และ SPI ซึ่งเป็นสารยึดเกาะ (Binder) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	ชนิดสารยึดเกาะ (Binder)	
	กลูเตน (Gluten)	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy Protein Isolated)
โปรตีน (%)	74.7±0.09	91.3±0.07
ไขมัน (%)	1.1±0.05	0.7±0.04
ความชื้น (%)	7.7±0.08	3.7±0.07
เถ้า (%)	0.7±0.04	3.8±0.03
คาร์โบไฮเดรต (%)	15.6±0.07	0.4±0.01

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย 5 ซ้ำ

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัดจากแหล่งอ้างอิง

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	ชนิดสารยึดเกาะ (Binder)	
	กลูเตน* (Gluten)	โปรตีนถั่วเหลืองสกัด** (Soy Protein Isolated)
โปรตีน (%)	77	90
ไขมัน (%)	1.1	0.5
ความชื้น (%)	8	4.5
เถ้า (%)	0.7	3.5
คาร์โบไฮเดรต (%)	18	1.5

ที่มา: *ประเสริฐ และคณะ (2527) และ ** ระบบออนไลน์ <http://www.spcouncil.org/SoyProtein.html>

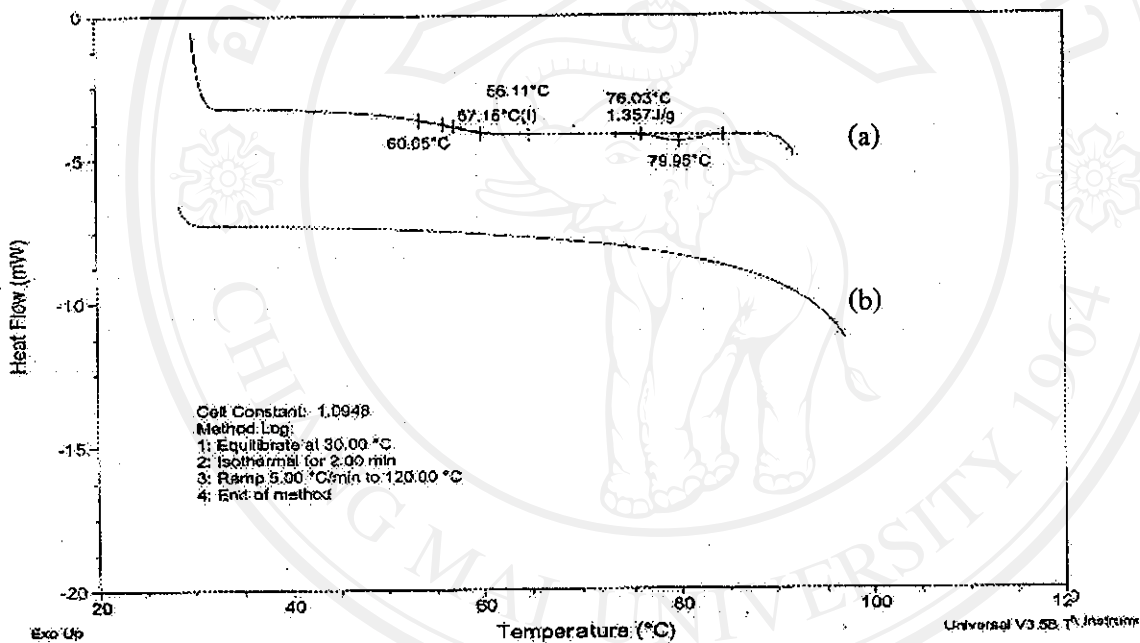
ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่าการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกลูเตน และ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งอ้างอิง

จากส่วนประกอบทางเคมีของ SPI จะพบว่ามีความโปรตีนที่สูงมาก เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการผลิตที่สกัดเฉพาะโปรตีนออกมา ทำให้มีสมบัติที่ใช้เป็นสารยึดเกาะได้ดี (Chin *et al.*, 1999) จากการวิเคราะห์กลูเตน พบว่ามีโปรตีนต่ำกว่าของ SPI เพราะมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตมากกว่า กลูเตน

ประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิดได้แก่ Glutelin และ Gliadin โดยโปรตีน Glutelin ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและเหนียว (Elasticity) ส่วนโปรตีน Gliadin จะทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะที่ดี (Binder) มีค่า Adhesive สูง ทำให้มีลักษณะเหนียว (Apichartsrangkoon, 2001)

ดังนั้นจะเห็นว่ากลูเตน และ SPI เหมาะสมที่จะใช้เป็นสารยึดเกาะ เนื่องจากมีโปรตีนสูง และช่วยพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มขึ้น เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

4.1.3 ศึกษาอุณหภูมิในการเสถียรภาพของโปรตีนเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปดิบ และเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimetry



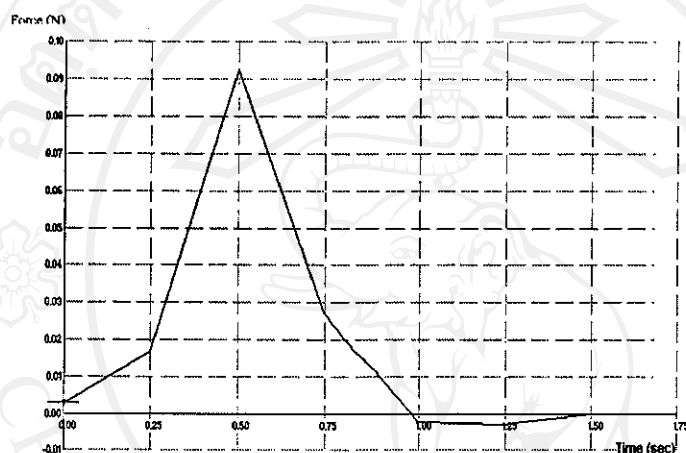
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในการเสถียรภาพของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศดิบและเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

จากรูปที่ 4.1 (a) อุณหภูมิในการเสถียรภาพของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศดิบเกิด Endothermic Peak อยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เกิดการเสถียรภาพของโปรตีนไมโอซิน (Myosin) ที่อุณหภูมิ 60.05 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 2 เกิดการเสถียรภาพของโปรตีนแอคติน (Actin) ที่อุณหภูมิ 79.95 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Comfort and Howell (2003) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ทำให้เศษเนื้อ

นกกระจอกเทศเสียสภาพ คือ อุณหภูมิ 79.95 องศาเซลเซียส ซึ่งถ้านำเศษเนื้อนกกระจอกเทศไปผ่านกระบวนการแปรรูป จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 79.95 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.1 (b) เศษเนื้อนกกระจอกเทศชิ้นรูปที่ผ่านการคัมจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที พบว่าโปรตีนเศษเนื้อนกกระจอกเทศชิ้นรูปได้เสียสภาพอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากไม่พบ Endothermic Peak จึงเหมาะสมที่จะใช้ในกระบวนการผลิตเศษเนื้อนกกระจอกเทศชิ้นรูป

4.1.4 ศึกษาค่าความเหนียวของเจล (Gel strength)



รูปที่ 4.2 ค่าความเหนียวของเจลของเศษเนื้อนกกระจอกเทศดิบ

พบว่าค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Force) ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศดิบ มีค่า 0.94 นิวตัน น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหนียวของเจลของเศษเนื้อนกกระจอกเทศชิ้นรูปสุก ซึ่งอยู่ประมาณ 11.15 – 25.84 นิวตัน (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้เกิดจากโปรตีนของเนื้อในรูปธรรมชาติ (Native Form) มีลักษณะเป็นเจลที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มาก

4.1.5 ศึกษาสมบัติวิเสโคอีลาสติกของเส้นเอ็นกระดูกเทสตีบ พร้อมหาแบบจำลองการพักความเค้นที่เหมาะสม

4.1.5.1 การหาแบบจำลองการพักความเค้นที่เหมาะสมของเส้นเอ็นกระดูกเทสตีบ

จากกราฟการพักความเค้นของเส้นเอ็นกระดูกเทสตีบ ได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 4.3 ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการหาแบบจำลอง

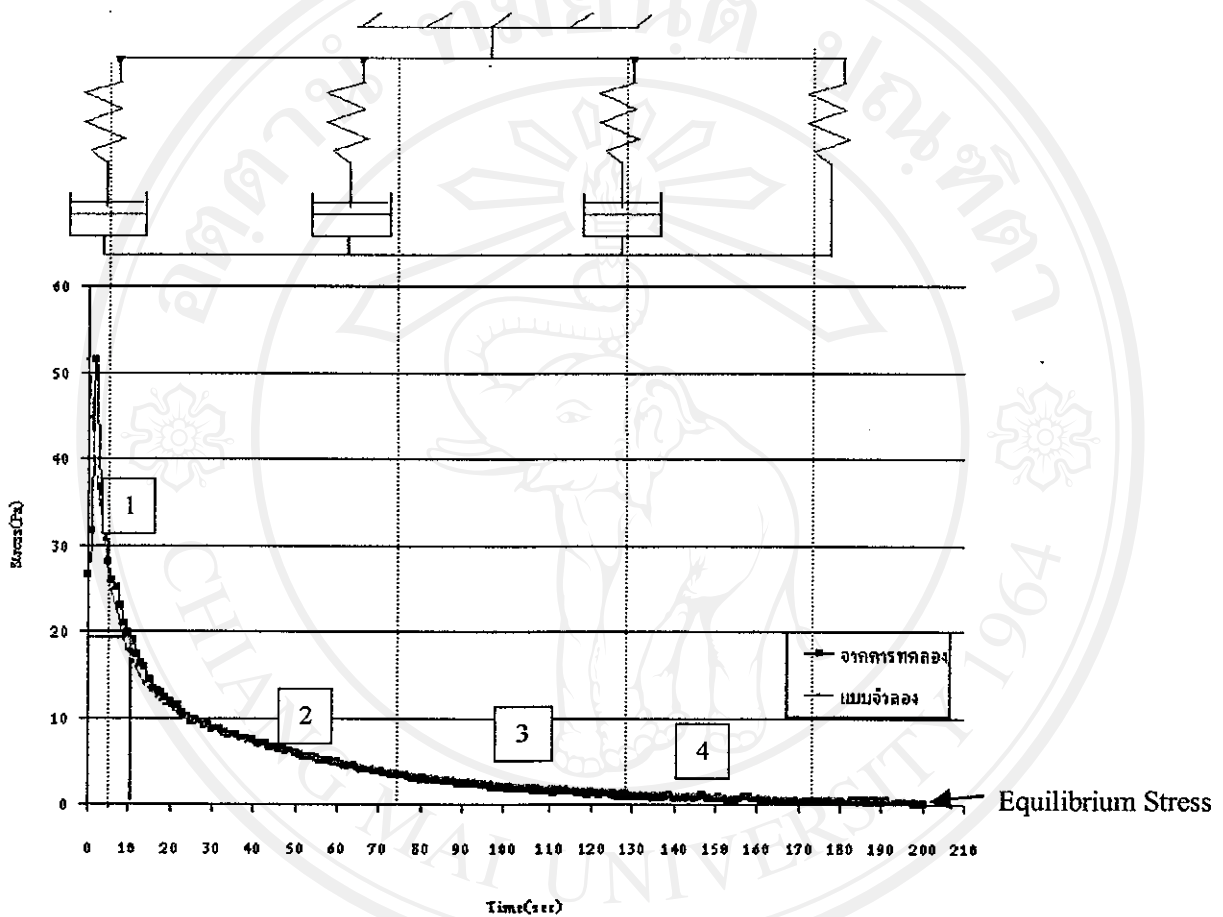
กราฟการพักความเค้นจากการทดลอง มีลักษณะเป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ดังนั้นจึงหาค่าตัวแปรของแบบจำลองจากกราฟ ซึ่งมีค่าตัวแปรดังนี้ $\sigma_0 = 0$, $(\sigma_1 - \sigma_2) = 35.17$ และ $\lambda_{rel1} = 5$ (รายละเอียดในภาคผนวก ค) แทนค่าตัวแปรในสมการของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ แล้ว plot ค่าเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการทดลอง ได้สมการและกราฟเปรียบเทียบดังรายละเอียดในภาคผนวก ค พบว่ายังไม่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 4 องค์ประกอบ มีการปรับค่าตัวแปรและมีการเพิ่มตัวแปรเข้าไปอีก 4 ตัว คือ $\sigma_0 = 0$, $(\sigma_1 - \sigma_2) = 35.17$, $(\sigma_2 - \sigma_3) = 1.99$ $(\sigma_3 - \sigma_4) = 14.29$, $\lambda_{rel1} = 5$, $\lambda_{rel2} = 14$ และ $\lambda_{rel3} = 55$ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sigma(t) = 0 + (35.17) \exp\left[\frac{-t}{(5)}\right] + (1.99) \exp\left[\frac{-t}{(14)}\right] + (14.29) \exp\left[\frac{-t}{(55)}\right] \quad 4.1$$

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองข้างต้น พบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ กับสปริงอิสระ 1 หน่วย มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากกราฟการพักความเค้นระหว่างจากการทดลอง และจากสมการแบบจำลองมีรูปแบบที่ประกบได้สนิท และแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการอธิบายถึงสมบัติวิเสโคอีลาสติกของเส้นเอ็นกระดูกเทสตีบได้

4.5.1.2 สมบัติวิสโคอีลาสติคของเส้นเอ็นกระดูกเทตคียบ

จากแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell Model) 3 องค์ประกอบ และสปริงอิสระ (Free Spring) 1 หน่วย สามารถอธิบายสมบัติวิสโคอีลาสติคของเส้นเอ็นกระดูกเทตคียบได้จากแบบจำลองดังกล่าว พบว่าได้ กราฟการพักความเค้น ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟการพักความเค้นของเส้นเอ็นกระดูกเทตคียบแสดงความสัมพันธ์กับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบและสปริงอิสระ 1 หน่วย

รูปที่ 4.3 กราฟการพักความเค้นประกอบด้วย แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบ ต่อกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ซึ่งสปริง (Spring) ใช้แทนสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) และลูกสูบ (Dashpot) ใช้แทนสมบัติความไหลหนืด (Viscous) ต่อกันแบบอนุกรม เมื่อสปริงเกิดแรงมากกระทำ จึงทำให้ลูกสูบ

เคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ลักษณะการไหลหนืดของแบบจำลองแมกซ์เวลล์เด่นกว่าลักษณะความยืดหยุ่น

จากกราฟการพักความเค้นสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ Stress ลดลงเป็นฟังก์ชันกับเวลา จากกราฟช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ เมื่อเกิดแรงมากจะทำให้ทำให้ลูกสูบไหลลงอย่างรวดเร็ว จากกราฟแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความชันของกราฟลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน ตัวอย่างเนื้อจึงแสดงสมบัติการไหลหนืดมากกว่าความยืดหยุ่น แสดงว่าเกิดการสลายตัวของพันธะหรือเกิดการคลายตัวของโมเลกุล (Apichartsrangkoon and Ledward, 2002)

ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 กราฟช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบ ช่วงนี้ Stress ลดลงอย่างช้า ๆ จนเกือบเข้าสู่จุดความเค้นสมดุล (Equilibrium Stress) สังเกตได้จากความชันของกราฟที่ลดน้อยลง ตัวอย่างเนื้อยังคงแสดงสมบัติการไหลหนืดเด่นชัดกว่าสมบัติความยืดหยุ่น

ช่วงที่ 4 จากกราฟช่วงนี้ประกอบด้วยสปริงอิสระ (Free Spring) เพียงตัวเดียว ซึ่งใช้แสดงสมบัติความยืดหยุ่น แต่ช่วงนี้แรง (Stress) ที่เกิดขึ้นคงที่จนมีค่าเท่ากับ 0 Pa ที่จุดความเค้นสมดุล (Equilibrium Stress) แสดงว่าตัวอย่างเนื้อมีความยืดหยุ่นเหลือ้น้อยมาก (Christensen, 1971)

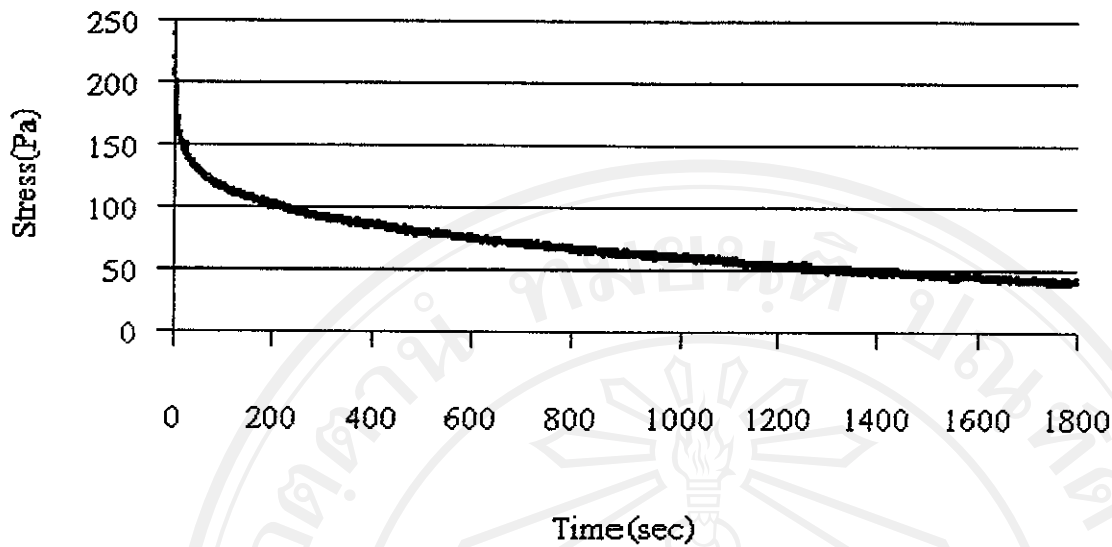
4.2 ศึกษาปริมาณส่วนผสมของกลูเตน (Gluten), โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy protein isolated, SPI), โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripoly phosphate, STPP) และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อคุณภาพของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

4.2.1 ศึกษาสมบัติวิสโคอิลาสติกของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

4.2.1.1 การหาแบบจำลองการพักความเค้นที่เหมาะสมของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

กราฟการพักความเค้นของหน่วยทดลองทั้ง 18 หน่วย (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค) จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการหาแบบจำลอง โดยใช้ กราฟการพักความเค้นของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกหน่วยทดลองที่ 1 มีการผันแปรกลูเตน ร้อยละ 1.01, SPI ร้อยละ 1.01 และ STPP ร้อยละ 0.04 เป็นตัวอย่างในการหาแบบจำลองการพักความเค้นที่เหมาะสม

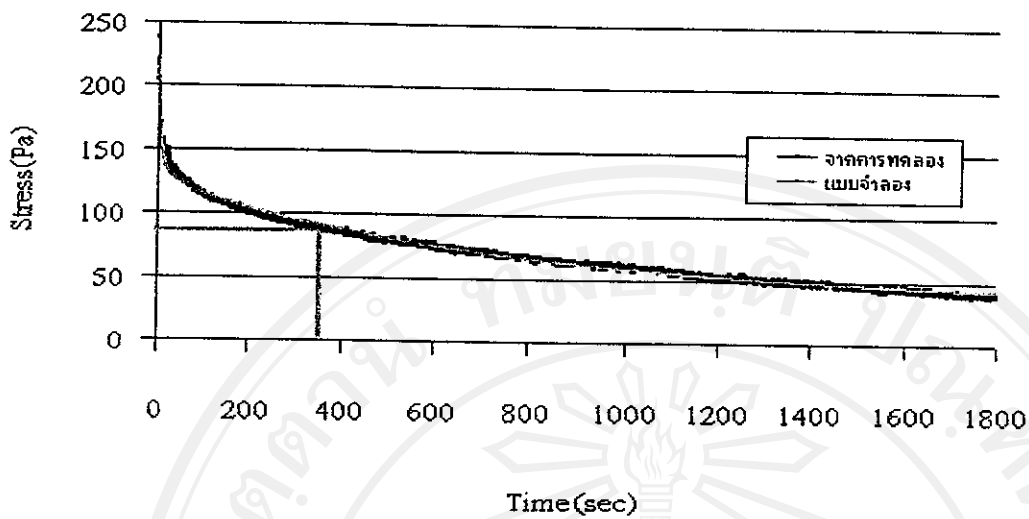
All rights reserved



รูปที่ 4.4 กราฟการพักความเค้นของเศษเนื้อกระดูกกระดูกที่รูปสุกจากการทดลองหน่วยทดลองที่ 1

กราฟการพักความเค้นจากการทดลอง มีลักษณะเป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ดังนั้นจึงหาค่าตัวแปรของแบบจำลองจากกราฟ ซึ่งมีค่าตัวแปรดังนี้ $\sigma_e = 42.28$, $(\sigma_1 - \sigma_2) = 66.25$ และ $\lambda_{rel} = 2.5$ (รายละเอียดในภาคผนวก ค) แทนค่าตัวแปรในแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ แล้ว plot ค่าเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการทดลองจริงได้ ซึ่งพบว่ายังไม่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลองจริง ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย จึงต้องมีการปรับค่าตัวแปร และเพิ่มตัวแปรเข้าไปอีก 4 ตัว คือ $\sigma_e = 42.28$, $(\sigma_1 - \sigma_2)_1 = 66.25$, $(\sigma_2 - \sigma_3)_2 = 32.74$, $(\sigma_3 - \sigma_4)_3 = 96.02$, $\lambda_{rel1} = 2.5$, $\lambda_{rel2} = 22$ และ $\lambda_{rel3} = 502.25$ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sigma(t) = 42.28 + (66.25) \exp\left[\frac{-t}{(2.5)}\right] + (32.74) \exp\left[\frac{-t}{(22)}\right] + (96.02) \exp\left[\frac{-t}{(502.25)}\right] \quad 4.2$$



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบ กราฟการพักความเค้นของเศษเนื้อนกระจอกเทศขึ้นรูปตุ๊ก
จากการทดลองกับกราฟจากสมการที่ 4.2

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองข้างต้น พบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริง
อิสระ 1 หน่วย มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจาก กราฟการพักความเค้นจากการทดลองและแบบจำลอง
สามารถแนบกันได้สนิท นอกจากนี้ยังพบว่าเศษเนื้อนกระจอกเทศขึ้นรูปตุ๊กทั้ง 18 หน่วยทดลอง
เป็นแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วยเช่นกัน และแบบจำลองนี้สามารถ
นำไปใช้ในการอธิบายถึงสมบัติวิสโคอีลาสติกของเศษเนื้อนกระจอกเทศขึ้นรูปตุ๊กต่อไป

แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย ของเสยเนื้อนกระจอกเทศขึ้นรูปตุ๊ก
ทั้ง 18 หน่วยทดลอง

หน่วยทดลองที่ 1

$$\sigma(t) = 42.28 + (66.25) \exp\left[\frac{-t}{(2.5)}\right] + (32.74) \exp\left[\frac{-t}{(22)}\right] + (96.02) \exp\left[\frac{-t}{(502.25)}\right] \quad 4.3$$

หน่วยทดลองที่ 2

$$\sigma(t) = 69.33 + (73.81) \exp\left[\frac{-t}{(3)}\right] + (38.87) \exp\left[\frac{-t}{(27.75)}\right] + (59.2) \exp\left[\frac{-t}{(424.75)}\right] \quad 4.4$$

หน่วยทดลองที่ 3

$$\sigma(t) = 215.23 + (373.66) \exp\left[\frac{-t}{(4.25)}\right] + (114.42) \exp\left[\frac{-t}{(46)}\right] + (274.02) \exp\left[\frac{-t}{(710)}\right] \quad 4.5$$

หน่วยทดลองที่ 4

$$\sigma(t) = 222.06 + (291.98) \exp\left[\frac{-t}{(12)}\right] + (78.52) \exp\left[\frac{-t}{(70)}\right] + (177.94) \exp\left[\frac{-t}{(632.5)}\right] \quad 4.6$$

หน่วยทดลองที่ 5

$$\sigma(t) = 60.37 + (90.22) \exp\left[\frac{-t}{(3.25)}\right] + (34.43) \exp\left[\frac{-t}{(41)}\right] + (91.34) \exp\left[\frac{-t}{(606.75)}\right] \quad 4.7$$

หน่วยทดลองที่ 6

$$\sigma(t) = 116.79 + (148) \exp\left[\frac{-t}{(18)}\right] + (1) \exp\left[\frac{-t}{(61)}\right] + (142) \exp\left[\frac{-t}{(528)}\right] \quad 4.8$$

หน่วยทดลองที่ 7

$$\sigma(t) = 160.62 + (210.24) \exp\left[\frac{-t}{(3.5)}\right] + (91.34) \exp\left[\frac{-t}{(45.25)}\right] + (107.08) \exp\left[\frac{-t}{(538.25)}\right] \quad 4.9$$

หน่วยทดลองที่ 8

$$\sigma(t) = 278.45 + (337.04) \exp\left[\frac{-t}{(4.25)}\right] + (123.43) \exp\left[\frac{-t}{(47.75)}\right] + (167.4) \exp\left[\frac{-t}{(592.25)}\right] \quad 4.10$$

หน่วยทดลองที่ 9

$$\sigma(t) = 113.91 + (107.18) \exp\left[\frac{-t}{(8)}\right] + (37.8) \exp\left[\frac{-t}{(63)}\right] + (39.38) \exp\left[\frac{-t}{(586)}\right] \quad 4.11$$

หน่วยทดลองที่ 10

$$\sigma(t) = 93.73 + (91.32) \exp\left[\frac{-t}{(25)}\right] + (27.12) \exp\left[\frac{-t}{(128)}\right] + (59.1) \exp\left[\frac{-t}{(843)}\right] \quad 4.12$$

หน่วยทดลองที่ 11

$$\sigma(t) = 72.75 + (107.74) \exp\left[\frac{-t}{(3.75)}\right] + (40.6) \exp\left[\frac{-t}{(36.25)}\right] + (104.94) \exp\left[\frac{-t}{(669.25)}\right] \quad 4.13$$

หน่วยทดลองที่ 12

$$\sigma(t) = 332.5 + (409.78) \exp\left[\frac{-t}{(6)}\right] + (127) \exp\left[\frac{-t}{(41)}\right] + (390.88) \exp\left[\frac{-t}{(580)}\right] \quad 4.14$$

หน่วยทดลองที่ 13

$$\sigma(t) = 52.78 + (60.93) \exp\left[\frac{-t}{(20)}\right] + (18.59) \exp\left[\frac{-t}{(118)}\right] + (49.31) \exp\left[\frac{-t}{(800)}\right] \quad 4.15$$

หน่วยทดลองที่ 14

$$\sigma(t) = 132.32 + (132.79) \exp\left[\frac{-t}{(14)}\right] + (1) \exp\left[\frac{-t}{(40)}\right] + (156.68) \exp\left[\frac{-t}{(458)}\right] \quad 4.16$$

หน่วยทดลองที่ 15

$$\sigma(t) = 53.29 + (101.8) \exp\left[\frac{-t}{(12)}\right] + (17.98) \exp\left[\frac{-t}{(49.5)}\right] + (96.21) \exp\left[\frac{-t}{(544.5)}\right] \quad 4.17$$

หน่วยทดลองที่ 16

$$\sigma(t) = 29.8 + (81.47) \exp\left[\frac{-t}{(15)}\right] + (6.91) \exp\left[\frac{-t}{(48.75)}\right] + (97.56) \exp\left[\frac{-t}{(558)}\right] \quad 4.18$$

หน่วยทดลองที่ 17

$$\sigma(t) = 56.14 + (99.91) \exp\left[\frac{-t}{(3.25)}\right] + (26.21) \exp\left[\frac{-t}{(35)}\right] + (97.67) \exp\left[\frac{-t}{(572)}\right] \quad 4.19$$

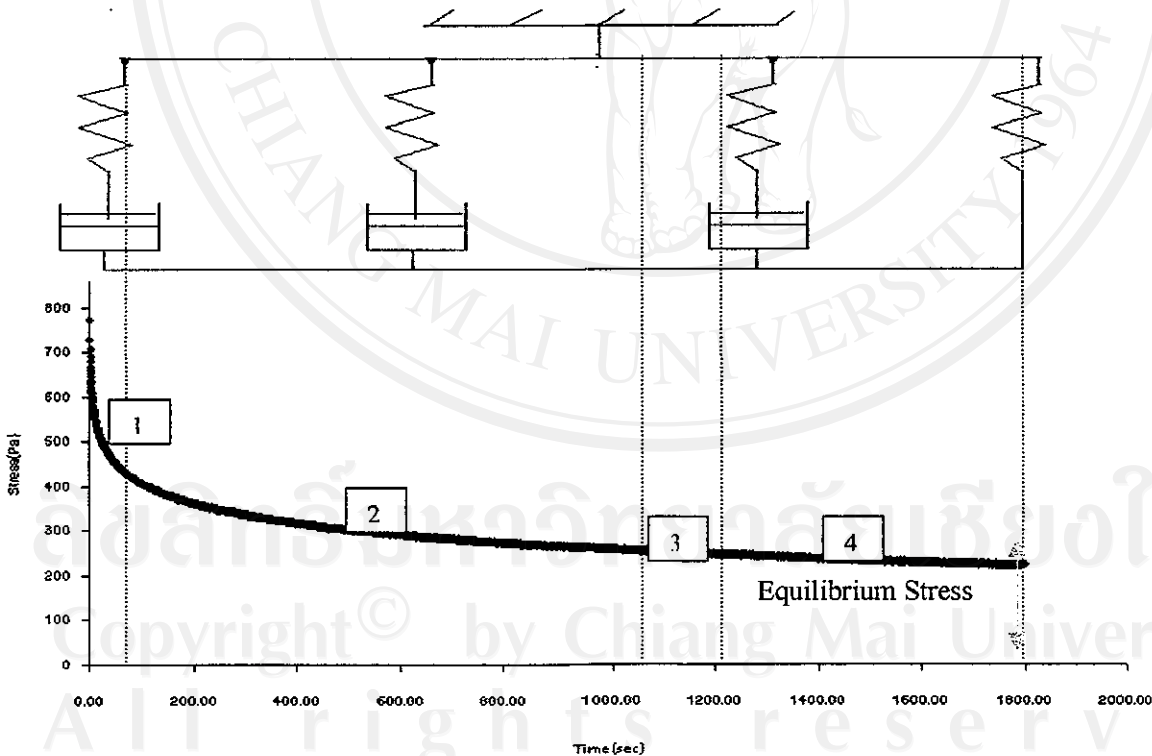
หน่วยทดลองที่ 18

$$\sigma(t) = 49.26 + (80.33) \exp\left[\frac{-t}{(4.25)}\right] + (27.02) \exp\left[\frac{-t}{(38.75)}\right] + (96.12) \exp\left[\frac{-t}{(592)}\right] \quad 4.20$$

จากสมการทั้ง 18 หน่วยทดลองพบว่าแบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่ 1 ค่า λ_1 จะมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากช่วงแบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่ 1 เศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกนั้นแสดงสมบัติไหลหนืด (Viscous) มากที่สุด เพราะตัวอย่างเนื้อสามารถตอบสนองแรงกระทำได้ทันที และค่า λ จะเพิ่มขึ้นตามแบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่เพิ่มขึ้น (Alkin, 1989) โดยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ที่ 3 จะมีค่า λ_3 สูงที่สุด ตัวอย่างเนื้อจะแสดงสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) เนื่องจากตัวอย่างเนื้อไม่สามารถตอบสนองแรงกระทำได้ทันที เกิดจากโครงสร้างถาวรของตัวอย่างเนื้อที่ไม่ผันแปรตามแรงที่ใช้ (มนัส, 2538)

4.2.1.2 สมบัติวิสโคอีลาสติกของเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

จากแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ (Maxwell Model) 3 องค์ประกอบ กับสปริงอิสระ (Free Spring) 1 หน่วย สามารถอธิบายสมบัติวิสโคอีลาสติกของเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกทุกหน่วยทดลองได้จากแบบจำลองดังกล่าว ในที่นี้จึงเสนอตัวอย่างเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกหน่วยทดลองที่ 4 มีการผันแปรกลูเตน ร้อยละ 3.99 SPI ร้อยละ 3.99 และ STPP ร้อยละ 0.04 พบว่าได้กราฟการพักความเค้น ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟการพักความเค้นของเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกแสดงความสัมพันธ์กับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย

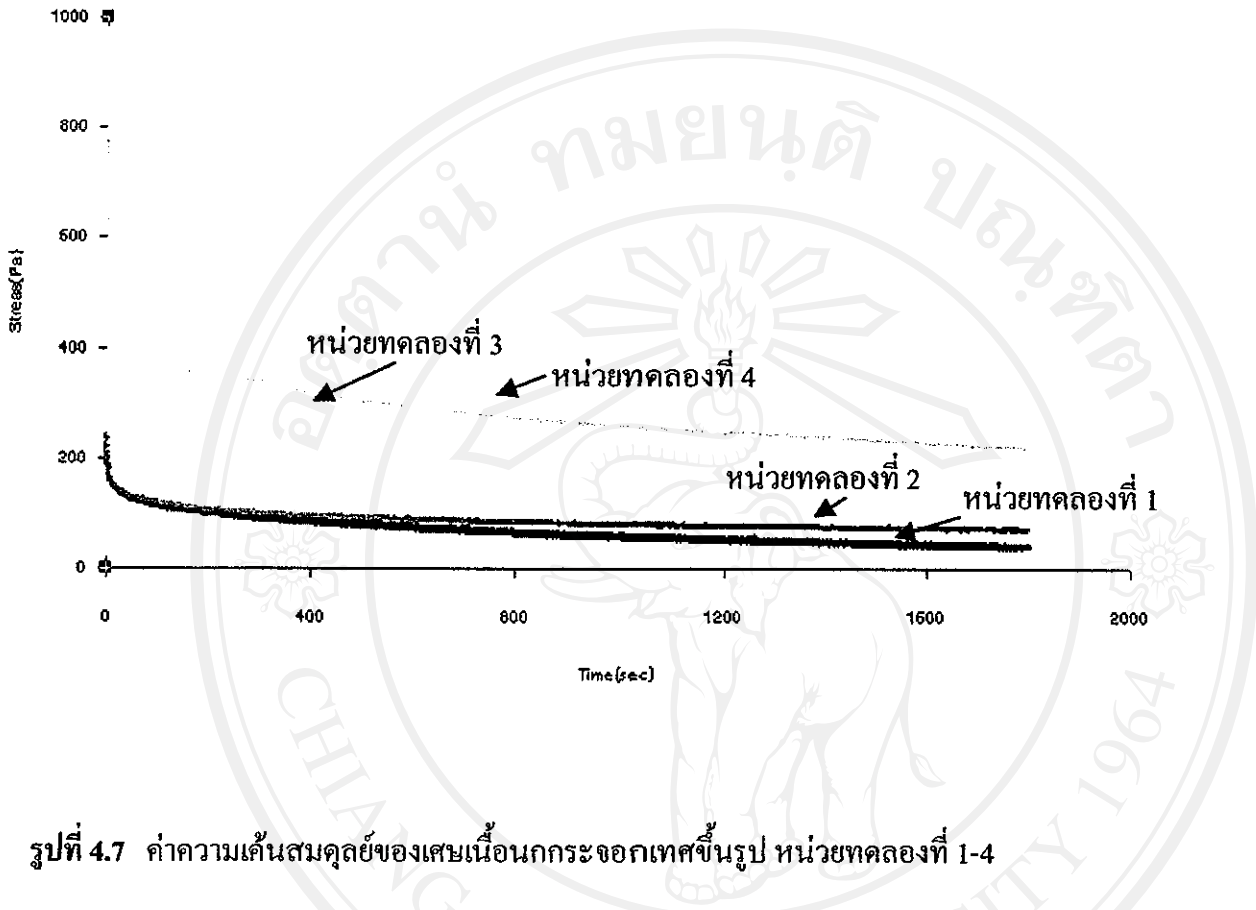
รูปที่ 4.6 กราฟการพักความเค้นประกอบด้วย แบบจำลองแมกซ์เวลล์ 3 องค์ประกอบกับสปริงอิสระ 1 หน่วย สามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 Stress (Pa) ลดลงเป็นฟังก์ชันขึ้นกับเวลา จากกราฟพบว่าช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ เป็นช่วงที่ถูกสูบแสดงสมบัติเด่นกว่าสปริง ถูกสูบเกิดการไหลลง สังเกตได้จากความชันของกราฟที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเนื้อจึงแสดงสมบัติการไหลหนืดมากกว่าความยืดหยุ่น ในส่วนโครงสร้างของตัวอย่างเนื้อช่วงนี้เกิดการคลายตัวของโครงสร้าง สันนิษฐานว่าเป็นการคลายตัวของพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ (noncovalent) ซึ่งเกิดระหว่างเศษเนื้อนกกกระจอกเทศกับกลูเตน, SPI และ STPP ซึ่งเป็นลักษณะของ weak gel (Mittchell, 1980)

ช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 กราฟช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 2 องค์ประกอบ ช่วงนี้ stress ลดลงอย่างช้า ๆ จนเกือบเข้าสู่จุดความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium Stress) สังเกตได้จากความชันของกราฟลดน้อยลง ตัวอย่างเนื้อจึงแสดงสมบัติการไหลหนืด ซึ่งเด่นชัดกว่าสมบัติความยืดหยุ่น

ช่วงที่ 4 เป็นช่วงที่แรงที่เกิดขึ้น (Stress) คงที่จนถึงจุดสมดุลย์ จากกราฟช่วงนี้ประกอบด้วยสปริงอิสระตัวเดียวเป็นช่วงที่ตัวอย่างเนื้อแสดงสมบัติยืดหยุ่นในส่วนโครงสร้างช่วงนี้เกิดจากพันธะที่คงตัวไม่สลายได้ง่าย อาจเป็นพันธะโควาเลนต์และพันธะโควาเลนต์ (Non-Covalent) เช่น พันธะไดซัลไฟด์ (Mittchell, 1980) ซึ่งแสดงใน Electrophoregrams (4.2.6) ในที่นี้พิจารณาว่า Stress ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจนเข้าสู่จุดสมดุลย์ ที่วินาทีที่ 1800 เนื่องจากเป็นจุดสุดท้ายในการทดสอบ (แสดงดังรูปที่ 4.16) ถ้าค่าความเค้นสมดุลย์ มีค่ามากแสดงว่าตัวอย่างเนื้อแสดงสมบัติความยืดหยุ่นมากกว่า แต่ถ้าวัดค่าความเค้นสมดุลย์น้อย แสดงว่าตัวอย่างเนื้อแสดงสมบัติของไหลมากกว่าสมบัติยืดหยุ่น ในช่วงนี้ตัวอย่างเนื้อไม่สามารถคืนรูปได้หมด เนื่องจากลักษณะของความไหลหนืดหน่วงเอาไว้ (Christensen, 1971)

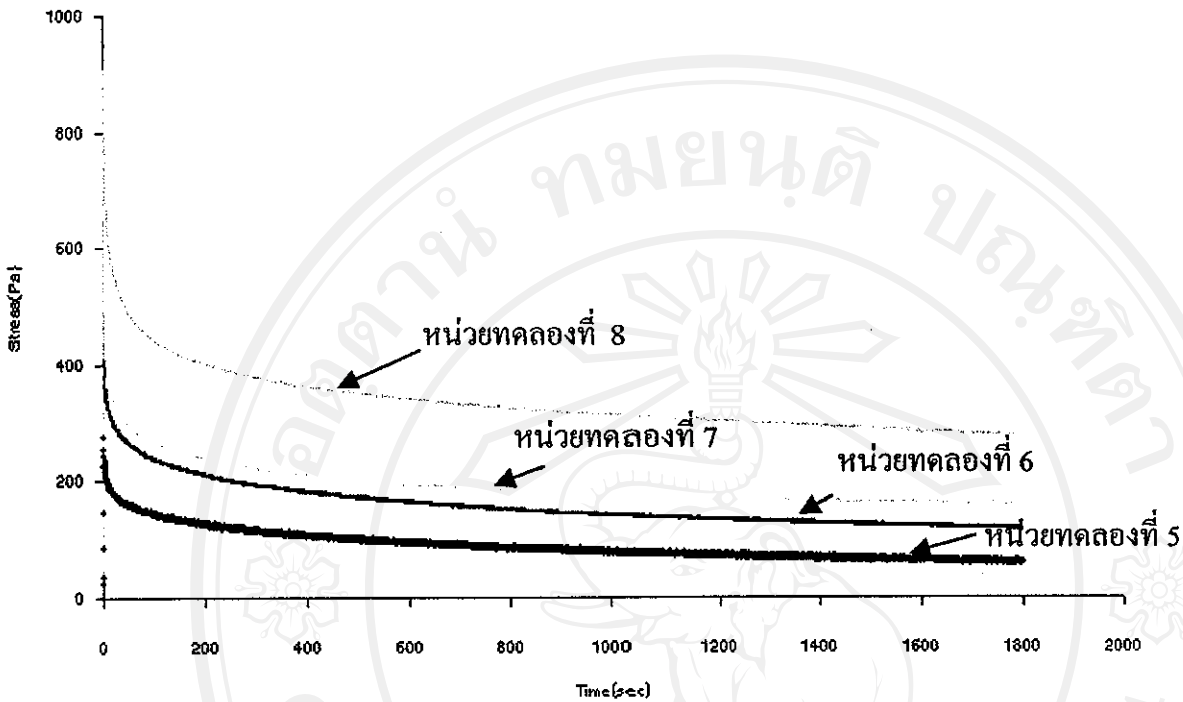
4.2.1.3 ศึกษาค่าความเค้นสมดุลย์ของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก

ค่าความเค้นสมดุลย์ของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก ที่ผ่านการต้มสุกจนได้อุณหภูมิใจกลาง 90 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แสดงผลในรูปที่ 4.7 - 4.9



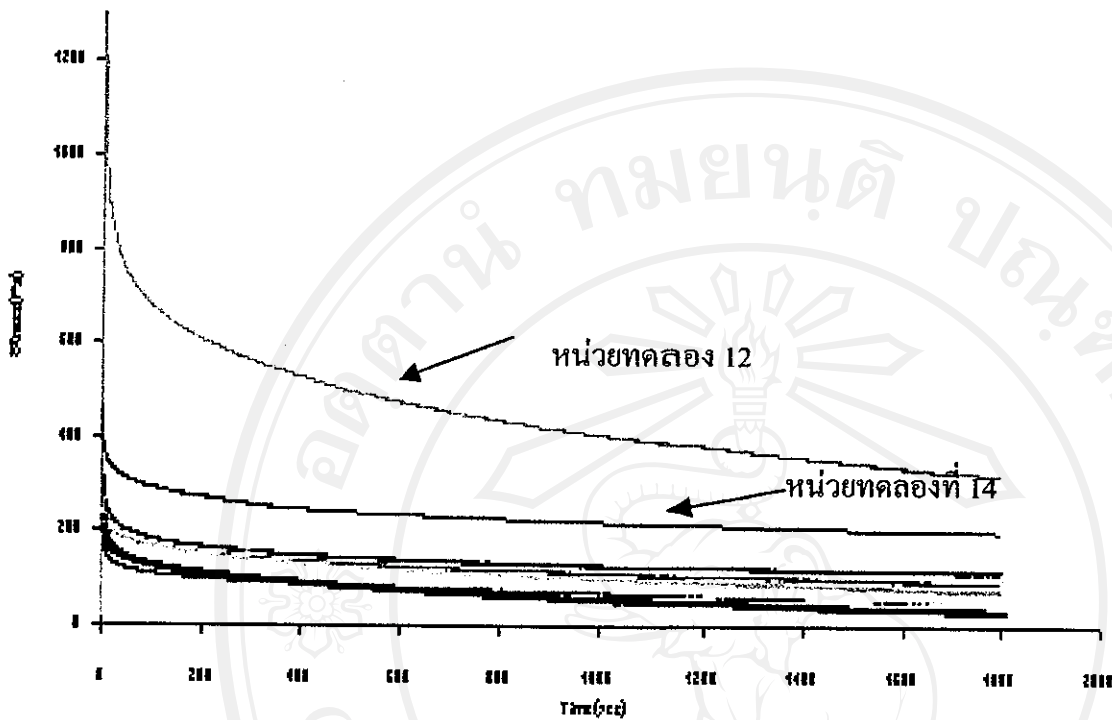
รูปที่ 4.7 ค่าความเค้นสมดุลย์ของเส้นเอ็นกระจอกเทศขึ้นรูป หน่วยทดลองที่ 1-4

ผลการทดสอบค่าความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium Stress) หน่วยทดลองที่ 1-4 พบว่าหน่วยทดลองที่ 4 เดิมกตุเตน, SPI ร้อยละ 3.99 และ STPP ร้อยละ 0.04 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) สูงสุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุลย์ ที่สูงสุดของกราฟเท่ากับ 222.06 Pa และหน่วยทดลองที่ 1 เดิมกตุเตน และ SPI ร้อยละ 1.01 และ STPP ร้อยละ 0.04 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) น้อยสุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุลย์ ที่ต่ำสุดจากกราฟเท่ากับ 34.29 Pa



รูปที่ 4.8 ค่าความเค้นสมดุลย์ของเศษเนื้อกระดูก จอกเทศขึ้นรูปสุก หน่วยทดลองที่ 5-8

ผลการทดลองค่าความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium Stress) หน่วยทดลองที่ 5-8 พบว่าหน่วยทดลองที่ 8 เดิมกระดูก, SPI ร้อยละ 3.99 และ STPP ร้อยละ 0.16 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) สูงสุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุลย์ที่สูงสุดของกราฟเท่ากับ 278.45 Pa และในหน่วยทดลองที่ 5 ที่มีการเติมกระดูก, SPI ร้อยละ 1.01 และ STPP ร้อยละ 0.16 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) น้อยที่สุดโดยสังเกตว่าค่าความเค้นสมดุลย์ที่น้อยที่สุดของกราฟเท่ากับ 66.37 Pa



รูปที่ 4.9 ค่าความเค้นสมดุลของเศษเนื้อกระดูกเทสขึ้นรูปสุก หน่วยทดลองที่ 9-18

ผลการทดลองค่าความเค้นสมดุล (Equilibrium Stress) หน่วยทดลองที่ 9-18 พบว่าหน่วยทดลองที่ 12 เดิมกลูเตนสูงที่สุด ร้อยละ 5, SPI ร้อยละ 2.5 และ STPP ร้อยละ 0.1 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) สูงสุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุล ที่สูงที่สุดเท่ากับ 332.5 Pa และหน่วยทดลองที่ 16 เดิมกลูเตนสูงที่สุด ร้อยละ 2.5, SPI ร้อยละ 2.5 และ STPP ร้อยละ 0.1 มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) น้อยที่สุด โดยสังเกตจากค่าความเค้นสมดุล ที่สูงที่สุดเท่ากับ 29.8 Pa

ดังนั้นจึงนำผลค่าความเค้นสมดุลของทั้ง 18 หน่วยทดลองมาเปรียบเทียบกันทั้งหมดพบว่า ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าความเค้นสมมูลย์ ของเศษเนื้อนกกระจอกเทศชั้นรูปตุก ที่มีการผันแปรกลุเตนและ SPI ร้อยละ 0-5 และ STPP ร้อยละ 0-0.2

หน่วยทดลอง	ปริมาณกลุเตน (%)	ปริมาณ SPI (%)	ปริมาณ STPP (%)	ค่าความเค้นสมมูลย์ (Pa)
1	1.01	1.01	0.04	42.28
2	1.01	3.99	0.04	69.33
3	3.99	1.01	0.04	215.23
4	3.99	3.99	0.04	222.06
5	1.01	1.01	0.16	60.37
6	1.01	3.99	0.16	116.79
7	3.99	1.01	0.16	160.62
8	3.99	3.99	0.16	278.45
9	2.5	0	0.10	113.91
10	2.5	5	0.10	93.73
11	0	2.5	0.10	72.75
12	5	2.5	0.10	332.50**
13	2.5	2.5	0	52.78
14	2.5	2.5	0.2	132.32
15	2.5	2.5	0.1	53.29
16	2.5	2.5	0.1	29.80*
17	2.5	2.5	0.1	56.14
18	2.5	2.5	0.1	49.26

หมายเหตุ ** มีค่าสูงที่สุด

* มีค่าต่ำที่สุด

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS version 10.01 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic Regression Model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ากลูเตน, SPI และ STPP มีผลต่อค่าความเค้นสมดุทธ์ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Equilibrium Stress} = 70.01 + 22.52 (\text{Gluten} * \text{Gluten}) - 62.00 (\text{Gluten}) + 103.95 (\text{SPI} * \text{STPP})$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.885$$

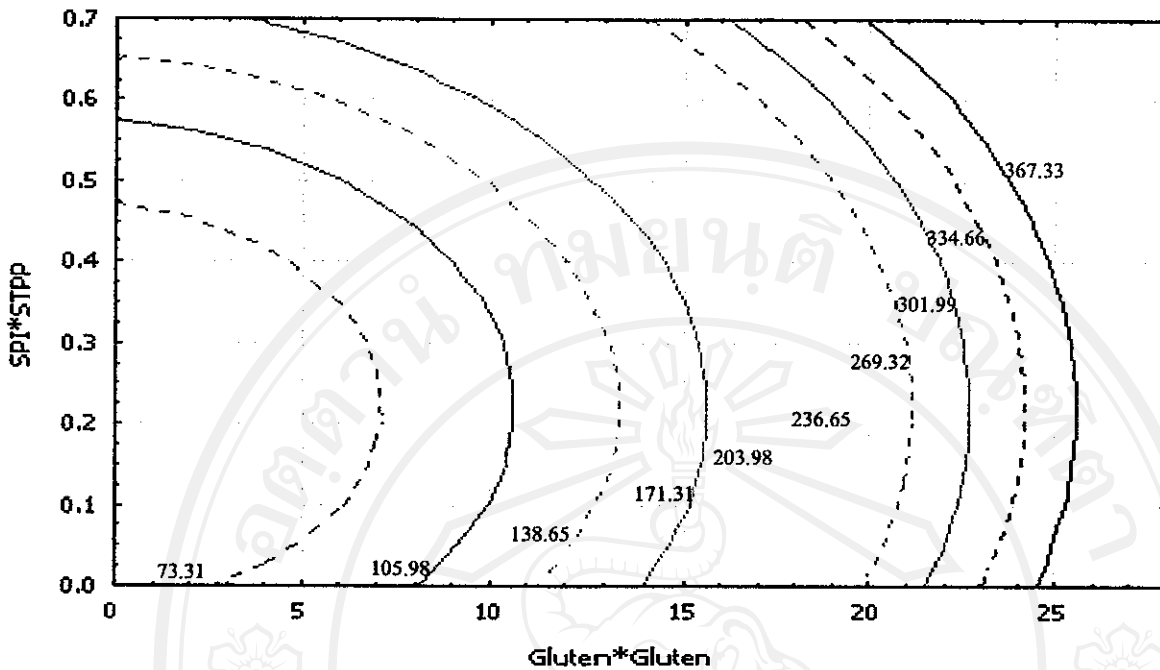
เมื่อ
 Gluten = กลูเตน
 SPI = โพรตีนถั่วเหลืองสกัด
 STPP = โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
 R^2 = Coefficient of Determination

ทำการประมาณค่า เพื่อหาความเค้นสมดุทธ์ที่สูงที่สุดจากสมการ

แทนค่า Gluten, SPI และ STPP ลงในสมการ

$$\begin{aligned} (\text{Gluten} * \text{Gluten}) (5 * 5) \quad (\text{SPI} * \text{STPP}) (2.5 * 0.1) &= 349.00 \\ (\text{Gluten} * \text{Gluten}) (2.5 * 2.5) (\text{SPI} * \text{STPP}) (5 * 0.1) &= 107.74 \\ (\text{Gluten} * \text{Gluten}) (2.5 * 2.5) (\text{SPI} * \text{STPP}) (2.5 * 0.2) &= 107.74 \\ (\text{Gluten} * \text{Gluten}) (2.5 * 2.5) (\text{SPI} * \text{STPP}) (2.5 * 0.1) &= 34.56 \end{aligned}$$

เมื่อนำสมการถดถอยมาสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง เพื่อหาระดับกลูเตน, SPI และ STPP ที่ทำให้ค่าความเค้นสมดุทธ์สูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟพื้นผิวการตอบสนองของ กลูเตน และอันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP ที่มีต่อค่าความเค้นสมมูล

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของกลูเตน, SPI และ STPP ที่มีต่อค่าความเค้นสมมูล พบว่ากลูเตน ร้อยละ 5, SPI ร้อยละ 2.5 และ STPP ร้อยละ 0.1 มีผลให้ค่าความเค้นสมมูลสูงสุดเท่ากับ 349.00 และกลูเตน ร้อยละ 2.5 , SPI ร้อยละ 2.5 และ STPP ร้อยละ 0.1 มีผลให้ค่าความเค้นสมมูลต่ำสุดเท่ากับ 34.56 มี Coefficient of Determination ร้อยละ 88.5

พิจารณาจากกราฟพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกลูเตนในเศษเนื้อนกกระบอกเทศขึ้นรูปสุก จะทำให้ค่าความเค้นสมมูลสูงขึ้น แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) สูง จากการรายงานของ อรอนงค์ (2539) พบว่ากลูเตนเกิดจากการรวมตัวกันของ Glutelin และ Gliadin ซึ่งมีพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) เป็นตัวเชื่อม จึงทำให้กลูเตนมีลักษณะพิเศษ มีโครงร่างที่แข็งแรง ยืดหยุ่น สามารถอุ้มน้ำได้ดี และคงรูปเมื่อได้รับความร้อน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsai *et al.* (1998) และ Apichartsrangkoon และคณะ (2001) กล่าวว่า Glutelin ซึ่งแสดงลักษณะความยืดหยุ่น เกิดจาก Crosslink ของพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) ส่วน Gliadin ทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะ (Binding) ที่ดี

4.2.2 ศึกษาค่าผลผลิตสุก (Cooking Yield)

ผลการวิเคราะห์หาค่าผลผลิตสุก ของเศษเนื้อมนกระจอกเทศชิ้นรูปสุก ซึ่งแสดงเป็นร้อยละ ของเนื้อที่เหลือภายหลังจากการให้ความร้อนที่ 90 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที ดังตารางที่ 4.6

การวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS version 10.01 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic Regression Model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ากลูเตน, SPI และ STPP มีผลต่อค่าผลผลิตสุก ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Cooking Yield} = 70.578 + 19.565(\text{Gluten} * \text{STPP}) + 1.387(\text{SPI})$$

$$\text{ค่า } R^2 = 0.797$$

เมื่อ Gluten = กลูเตน
 SPI = โปรตีนถั่วเหลืองสกัด
 STPP = โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
 R^2 = Coefficient of Determination

ทำการประมาณค่า เพื่อหาค่าผลผลิตสุกที่สูงที่สุด จากสมการ

แทนค่า Gluten, SPI และ STPP ลงในสมการ

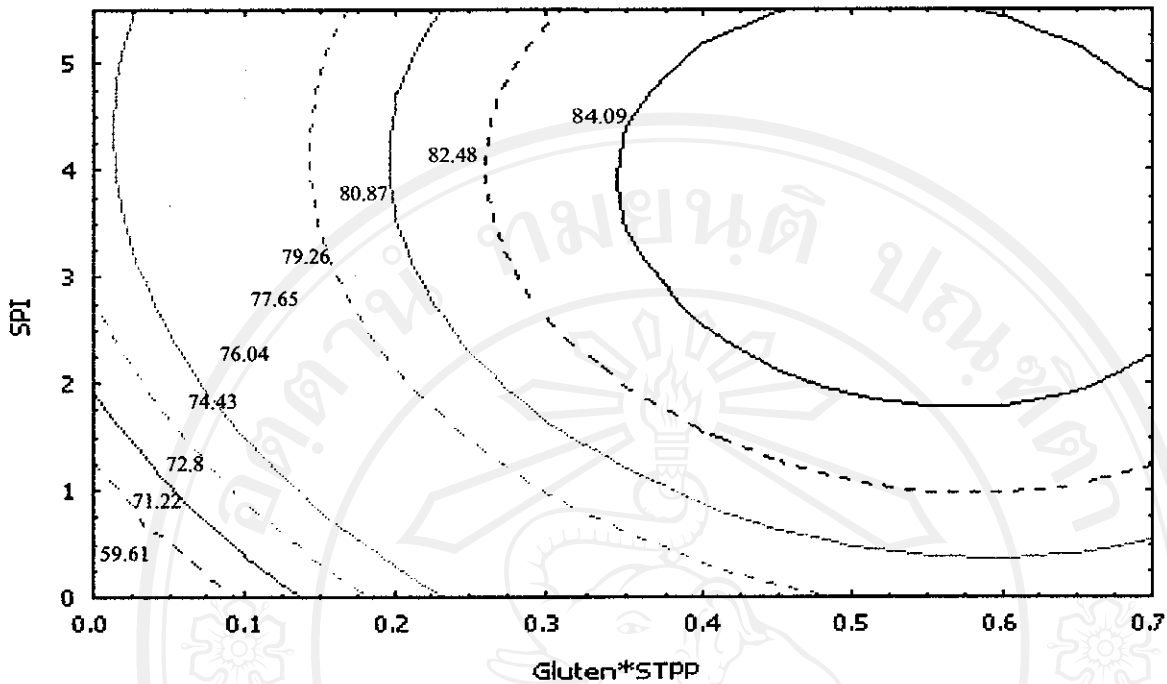
$$(\text{Gluten} * \text{STPP}) (3.99 * 0.16) \quad (\text{SPI}) (3.99) \quad = 88.51$$

$$(\text{Gluten} * \text{STPP}) (2.5 * 0.2) \quad (\text{SPI}) (2.5) \quad = 83.83$$

$$(\text{Gluten} * \text{STPP}) (3.99 * 0.04) \quad (\text{SPI}) (3.99) \quad = 79.23$$

$$(\text{Gluten} * \text{STPP}) (2.5 * 0.1) \quad (\text{SPI}) (0) \quad = 75.47$$

เมื่อนำสมการถดถอยมาสร้างกราฟพื้นที่ตอบสนอง เพื่อหาระดับกลูเตน, SPI และ STPP ที่ทำให้ค่าผลผลิตสุกสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟพื้นผิวการตอบสนองของอันตรกิริยาระหว่างกลูเตนกับ STPP และ SPI ที่มีต่อค่าผลผลิตสูง

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละผลผลิตสุกของเศษเนื้อนกรจระจอกเทศขึ้นรูปสุกที่มีการผันแปรฤดูเตน และ SPI ร้อยละ 0-5 และ STPP ร้อยละ 0-0.2

หน่วยทดลอง	ปริมาณฤดูเตน (%)	ปริมาณ SPI (%)	ปริมาณ STPP (%)	ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%)
1	1.01	1.01	0.04	72.90
2	1.01	3.99	0.04	74.72
3	3.99	1.01	0.04	76.63
4	3.99	3.99	0.04	78.48
5	1.01	1.01	0.16	76.07
6	1.01	3.99	0.16	82.86
7	3.99	1.01	0.16	83.24
8	3.99	3.99	0.16	84.36
9	2.5	0	0.1	72.63
10	2.5	5	0.1	82.48
11	0	2.5	0.1	70.70*
12	5	2.5	0.1	85.46**
13	2.5	2.5	0	72.21
14	2.5	2.5	0.2	85.31
15	2.5	2.5	0.1	80.60
16	2.5	2.5	0.1	80.29
17	2.5	2.5	0.1	81.15
18	2.5	2.5	0.1	80.55

หมายเหตุ ** มีค่าสูงสุด

* มีค่าต่ำสุด

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของฤดูเตน, SPI และ STPP ที่มีผลต่อค่าผลผลิตสุก พบว่าฤดูเตน ร้อยละ 3.99, SPI ร้อยละ 3.99 และ STPP ร้อยละ 0.16 ทำให้ค่าผลผลิตสุกสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 88.51 และไม่เติมฤดูเตน, SPI ร้อยละ 2.5 และ STPP ร้อยละ 0.1 ทำให้ค่าผลผลิตสุกต่ำที่สุด

เท่ากับร้อยละ 74.05 โดยมี Coefficient of Determination ร้อยละ 79.7 นอกจากนั้นยังพบว่าอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับ STPP ที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าผลผลิตสูงสูงขึ้น และมีผลต่อค่าผลผลิตสูงมากกว่า SPI

ค่าผลผลิตสูงเป็นปัจจัยหนึ่งในการบ่งบอกถึงผลผลิตของเนื้อขึ้นรูป ซึ่งถ้ามีค่าผลผลิตสูงสูง แสดงให้เห็นว่าในระหว่างกระบวนการผลิตมีการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์น้อย ซึ่งนอกจากจะช่วยในด้านธุรกิจ คือ ช่วยลดต้นทุนในการผลิต แล้วยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มและฉ่ำน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่แข็งและแห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ

STPP ถือว่าเป็นสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป เพราะมีหน้าที่ช่วยในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยเนื้อที่ผ่านความร้อนสูงจะทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมีการสูญเสียน้ำน้อยลง สาร STPP จะเปลี่ยนแปลงค่า Ph ของเนื้อ ทำให้โมเลกุลของเนื้อประสานเป็นตาข่าย สามารถกั้นไม่ให้ของเหลวในเนื้อไหลออกมา และยังช่วยให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (เขาวลัดกษณ์, 2536)

ปกตินิยมใช้ SPI นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อแปรรูป เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และเพิ่มสมบัติ Water Binding ทำให้เนื้อแปรรูปมีค่าผลผลิตสูงเพิ่มมากขึ้น (Porcell and Sanchez, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Lin and Mai (2000) พบว่า SPI เป็นสารเพิ่มการยึดเกาะ ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปเกาะรวมกันมากขึ้น SPI ช่วยลดการสูญเสียน้ำในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าผลผลิตสูงมากขึ้น และเมื่อมีการใช้ กลูเตน ร่วมกับ SPI ก็จะช่วยช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปยึดเกาะกันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกลูเตน มีสมบัติในการจับตัวรวมกับน้ำและไขมันได้ ทำให้ ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปเกาะรวมเป็นก้อนถาวร (Comfort and Howell, 2003)

4.2.3 ศึกษาค่าการหดตัว (Shrinkage)

ผลการวิเคราะห์ค่าการหดตัวของเศษเนื้อมนกระจอกเทศขึ้นรูปสุก แสดงเป็นร้อยละของเส้นผ่านศูนย์กลางของเศษเนื้อมนกระจอกเทศขึ้นรูปภายหลังจากการให้ความร้อนที่ 90 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แสดงดังตารางที่ 4.7

การวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS version 10.01 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic Regression Model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ากลูเตน, SPI และ STPP มีผลต่อค่าการหดตัว ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Shrinkage} = 18.34 - 11.09(\text{Gluten} * \text{STPP}) - 10.04(\text{SPI} * \text{STPP})$$

$$R^2 = 0.81$$

เมื่อ	Gluten = กลูเตน
	SPI = โปรตีนถั่วเหลืองสกัด
	STPP = โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
	R^2 = Coefficient of Determination

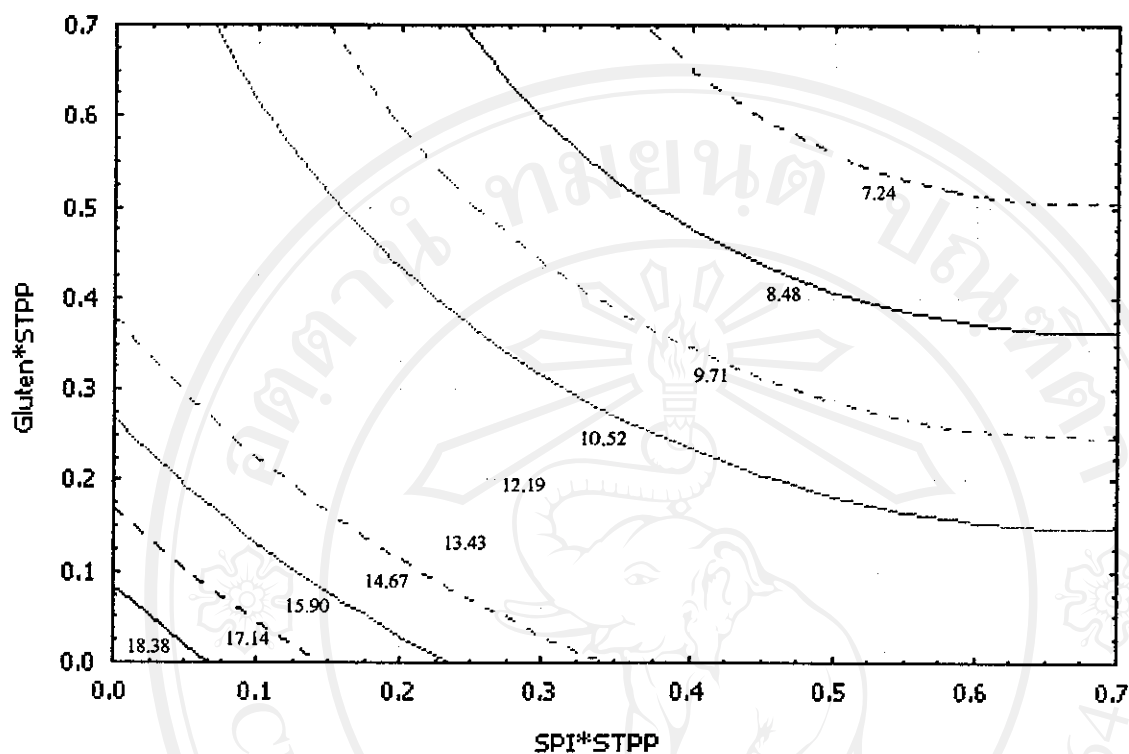
ทำการประมาณค่าเพื่อหาค่าการหดตัวที่ต่ำที่สุด จากสมการ

แทนค่า Gluten, SPI และ STPP ลงในสมการ

(Gluten * STPP) (3.99 * 0.16)	(SPI*STPP) (3.99 * 0.16)	= 4.95
(Gluten * STPP) (2.5 * 0.2)	(SPI*STPP) (2.5 * 0.2)	= 7.77
(Gluten * STPP) (2.5 * 0.1)	(SPI*STPP) (2.5 * 0.1)	= 13.06
(Gluten * STPP) (0 * 0.1)	(SPI*STPP) (2.5 * 0.10)	= 15.83
(Gluten * STPP) (1.01 * 0.04)	(SPI*STPP) (1.01 * 0.04)	= 17.48

All rights reserved

ความสัมพันธ์ของค่าการหดตัว กับกลูเตน, SPI และ STPP แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟพื้นผิวการตอบสนองของอันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP และอันตรกิริยาระหว่าง กลูเตน กับ STPP ที่มีต่อค่าการหดตัว

ตารางที่ 4.7 ค่าการหดตัวของเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกที่มีการผันแปรกลูเตนและ SPI ร้อยละ 0-5 และ STPP ร้อยละ 0-0.2

หน่วยทดลอง	ปริมาณกลูเตน (%)	ปริมาณ SPI (%)	ปริมาณ STPP (%)	ค่าการหดตัว (%)
1	1.01	1.01	0.04	20.40**
2	1.01	3.99	0.04	18.15
3	3.99	1.01	0.04	16.66
4	3.99	3.99	0.04	15.34
5	1.01	1.01	0.16	16.49
6	1.01	3.99	0.16	11.30
7	3.99	1.01	0.16	10.56
8	3.99	3.99	0.16	7.56
9	2.5	0	0.1	16.46
10	2.5	5	0.1	8.16
11	0	2.5	0.1	15.11
12	5	2.5	0.1	7.40
13	2.5	2.5	0	15.54
14	2.5	2.5	0.2	7.070*
15	2.5	2.5	0.1	12.01
16	2.5	2.5	0.1	12.50
17	2.5	2.5	0.1	11.84
18	2.5	2.5	0.1	12.66

หมายเหตุ ** มีค่าสูงสุด

* มีค่าต่ำสุด

แทนค่าในสมการความสัมพันธ์ที่มีผลต่อค่าการหดตัว พบว่าอันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP มีผลต่อค่าการหดตัว มากกว่าอันตรกิริยาระหว่างกลูเตน กับ STPP โดยที่กลูเตน ร้อยละ 3.99, SPI ร้อยละ 3.99 และ STPP ร้อยละ 0.16 ทำให้ค่าการหดตัวต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 4.95 และกลูเตน, SPI ร้อยละ 1.01 และ STPP ร้อยละ 0.04 ทำให้ค่าการหดตัว สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 17.48 มีค่า Coefficient of Determination ร้อยละ 81.1

เมื่อเติมกลูเตน และ SPI ลงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปมีโครงสร้างที่แข็งแรง เกาะเป็นก้อนเดียวกัน และ ทำให้ขึ้นเนื้อเกาะรวมกันได้ดียิ่งขึ้นหลังจากการทำให้อสุก (Linden and Lorient, 2000) นอกจากนี้ SPI ยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป มีปริมาณ โปรตีนเพิ่มขึ้น มีกลิ่นรสที่ดี และละลายได้ดี เมื่อผสมรวมตัวกับเครื่องปรุงอื่น ๆ และโปรตีนยังไม่ตกตะกอน เมื่อถูกความร้อน จึงสามารถรวมตัวได้ดีกับไขมัน (Malthotra and Coupland, 2004) ส่วน STPP จะช่วยกันของเหลวในเนื้อไม่ให้ไหลออกมาระหว่างการทำให้อสุก (Cooked) ช่วยให้การเกาะรวมกันของชิ้นเนื้อดีขึ้น (วารากรณี, 2531 และ Trout and Schmidt, 1984)

4.2.4 ศึกษาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity)

จากการผลิตเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกที่ผันแปรปริมาณ กลูเตน, SPI ในระดับร้อยละ 0 - 5 และ STPP ในระดับร้อยละ 0 - 0.2 โดยนำเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่ผ่านการทำให้อสุกแล้ว ไปวัดค่า Water Holding Capacity (WHC) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.8

การวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS version 10.01 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic Regression Model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ากลูเตน, SPI และ STPP มีผลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$WHC = 67.48 + 128.35 (STPP) - 249.46 (STPP * STPP)$$

$$R^2 = 0.97$$

เมื่อ STPP = โขเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
 R^2 = Coefficient of Determination

ทำการประมาณค่า เพื่อหาค่าความสามารถในการอุ้มน้ำที่สูงที่สุด ของสมการ

แทนค่า STPP ลงในสมการ

$$\text{STPP (0.2)} = 83.19$$

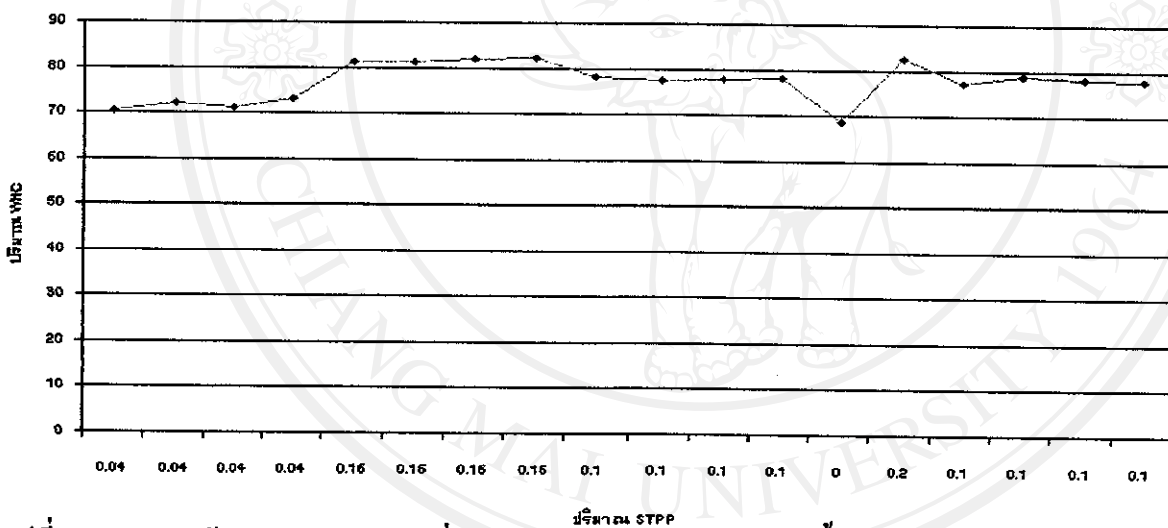
$$\text{STPP (0.16)} = 81.60$$

$$\text{STPP (0.1)} = 77.84$$

$$\text{STPP (0.04)} = 72.23$$

$$\text{STPP (0)} = 67.50$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ กับ STPP ที่ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์สูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟเส้นแสดงของ STPP ที่มีต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ

ตารางที่ 4.8 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเศษเนื้อนกระจอกเทศชั้นรูปสุก ที่มีการผันแปรกตุเตน และ SPI ร้อยละ 0-5 และ STPP ร้อยละ 0-0.2

หน่วยทดลอง	ปริมาณกตุเตน (%)	ปริมาณ SPI (%)	ปริมาณ STPP (%)	ความสามารถในการอุ้มน้ำ (%)
1	1.01	1.01	0.04	70.30
2	1.01	3.99	0.04	71.94
3	3.99	1.01	0.04	71.14
4	3.99	3.99	0.04	73.17
5	1.01	1.01	0.16	81.29
6	1.01	3.99	0.16	81.33
7	3.99	1.01	0.16	81.94
8	3.99	3.99	0.16	82.35
9	2.5	0	0.1	78.21
10	2.5	5	0.1	77.57
11	0	2.5	0.1	77.88
12	5	2.5	0.1	78.24
13	2.5	2.5	0	68.70*
14	2.5	2.5	0.2	82.66**
15	2.5	2.5	0.1	77.00
16	2.5	2.5	0.1	78.75
17	2.5	2.5	0.1	78.29
18	2.5	2.5	0.1	77.94

หมายเหตุ ** มีค่าสูงสุด

* มีค่าต่ำสุด

จากการแทนค่าในสมการ พบว่า ที่ STPP ร้อยละ 0.2 ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุด เท่ากับร้อยละ 83.19 และเมื่อไม่เติม STPP ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 67.50 ซึ่งมี Coefficient of Determination ร้อยละ 96.7 แสดงว่า STPP มีอิทธิพลต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์เศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปมาก

STPP ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปอุ้มน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจาก STPP สามารถเพิ่มความเป็นกรดต่างของเนื้อให้สูงขึ้นจาก Isoelectric Point (สิวาพร, 2535) สอดคล้องกับรายงานของหน่วยผลิตภัณฑ์สัตว์เชียงใหม่ (2544) กล่าวว่า STPP ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียส่วนของของเหลวในเนื้อมากเกินไประหว่างการทำให้สุก เนื่องจาก STPP เป็น alkaline phosphate โดยจะทำปฏิกิริยากับ Actomyosin ทำให้แตกตัวเป็น Actin และ Myosin ช่วยในการอุ้มน้ำของเนื้อได้

4.2.5 ศึกษาค่าความเหนียวของเจล (Gel Strength)

การศึกษาค่าความเหนียวของเจลของเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปสุก ที่มีการผันแปรปริมาณกลูเตน, SPI ในระดับร้อยละ 0 - 5 โดยน้ำหนัก และ STPP ในระดับร้อยละ 0 - 0.2 โดยน้ำหนัก โดยนำเศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่ผ่านการทำให้สุกที่ 90 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที แล้วไปวัดค่าความเหนียวของเจล ผลแสดงดัง ตารางที่ 4.9

การวิเคราะห์สมการถดถอยด้วยโปรแกรม SPSS version 10.01 โดยใช้ความสัมพันธ์แบบ Polynomial ลำดับสองหรือกำลังสอง (Quadratic Regression Model) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) พบว่ากลูเตน, SPI และ STPP มีผลต่อค่าความเหนียวของเจล ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Gel Strength} = 11.83 + 0.40 (\text{Gluten} * \text{Gluten}) + 8.62 (\text{SPI} * \text{STPP})$$

$$R^2 = 0.62$$

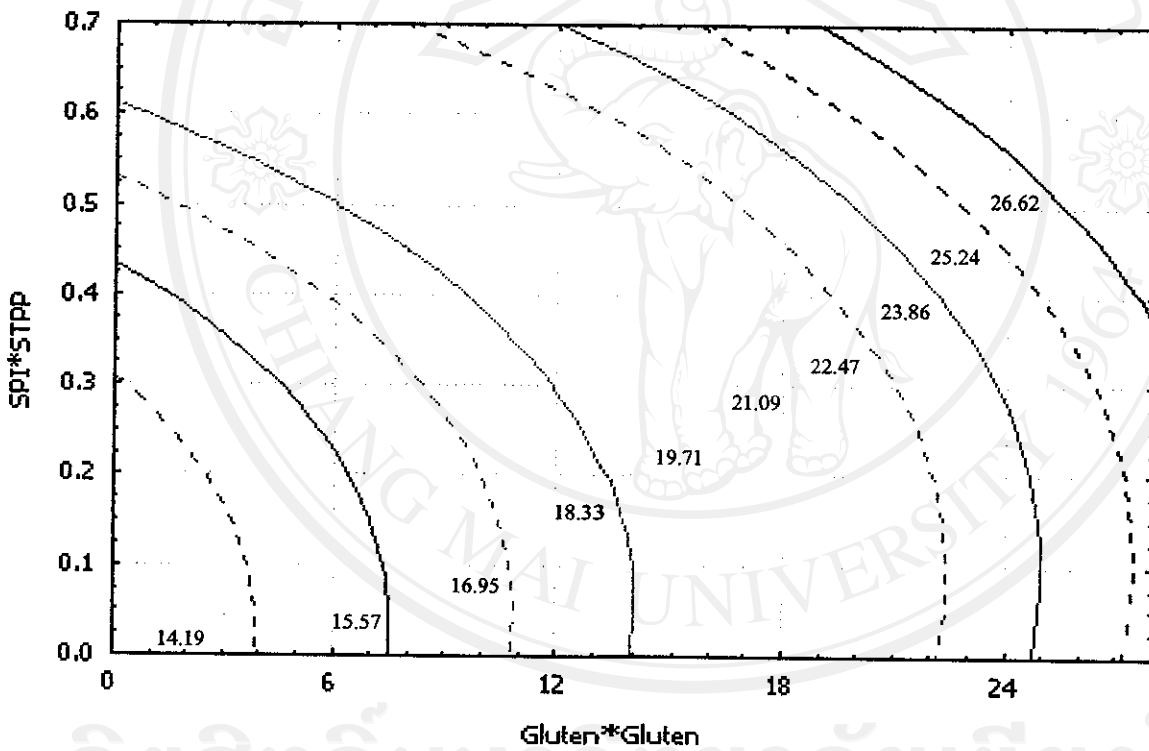
เมื่อ
 Gluten = กลูเตน
 SPI = โปรตีนถั่วเหลืองสกัด
 STPP = โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต
 R^2 = Coefficient of Determination

ทำการประมาณค่า เพื่อหาค่าความเหนียวของเจลที่สูงที่สุด จากสมการ

แทนค่า Gluten, SPI และ STPP ลงในสมการ

(Gluten*Gluten) (5 * 5)	(SPI*STPP) (2.5 * 0.1)	= 24.08
(Gluten*Gluten) (2.5 * 2.5)	(SPI*STPP) (5 * 0.1)	= 18.66
(Gluten*Gluten) (2.5 * 2.5)	(SPI*STPP) (2.5 * 0.1)	= 16.51
(Gluten*Gluten) (1.01 * 1.01)	(SPI*STPP) (1.01 * 0.04)	= 12.59

ความสัมพันธ์ของค่าความเหนียวของเจล กับ กลูเตน, SPI และ STPP แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟพื้นผิวการตอบสนองของอันตรกิริยาของ SPI กับ STPP และอันตรกิริยาของกลูเตน ที่มีต่อค่าความเหนียวของเจล

ตารางที่ 4.9 ค่าความเหนียวของเจลของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปสุกที่มีการผันแปรกลูเตน และ SPI ร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนัก และ STPP ร้อยละ 0-0.2 โดยน้ำหนัก

หน่วยทดลอง	ปริมาณกลูเตน (%)	ปริมาณ SPI (%)	ปริมาณ STPP (%)	ความเหนียวของเจล (N)
1	1.01	1.01	0.04	11.15*
2	1.01	3.99	0.04	15.20
3	3.99	1.01	0.04	18.42
4	3.99	3.99	0.04	23.24
5	1.01	1.01	0.16	19.15
6	1.01	3.99	0.16	20.30
7	3.99	1.01	0.16	23.12
8	3.99	3.99	0.16	25.84**
9	2.5	0	0.1	13.40
10	2.5	5	0.1	18.07
11	0	2.5	0.1	13.19
12	5	2.5	0.1	21.47
13	2.5	2.5	0	14.05
14	2.5	2.5	0.2	14.46
15	2.5	2.5	0.1	14.07
16	2.5	2.5	0.1	14.25
17	2.5	2.5	0.1	14.99
18	2.5	2.5	0.1	14.89

หมายเหตุ ** มีค่าสูงที่สุด

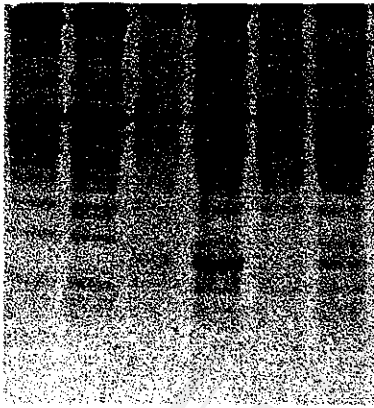
* มีค่าต่ำที่สุด

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของกลูเตน ร้อยละ 5, SPI ร้อยละ 2.5 และSTPP ร้อยละ 0.1 ทำให้ค่าความเหนียวของเจลสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 24.08 และกลูเตน, SPI ร้อยละ 1.01 และ STPP ร้อยละ 0.04 ทำให้ค่าความเหนียวของเจลด้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 12.59 โดยมีค่า Coefficient of Determination เท่ากับ ร้อยละ 61.6 แสดงกลูเตน มีสมบัติเพิ่มการเกาะรวมกันของผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป ทำให้โปรตีนเกาะรวมกันมากขึ้น เนื่องจากไปเพิ่มไอออนลบ ทำให้ค่า Isoelectric Point (pI) ของโปรตีนลดลง (Comfort and Howell, 2003) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lu and Chen (1999) กล่าวว่า กลูเตนมีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุล (Adhesive) มากกว่า SPI จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปที่มีการเติมกลูเตน มีความเหนียวของเจลมากกว่า SPI

STPP ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปยึดเกาะกัน ได้ดี เนื่องจาก STPP ช่วยให้โมเลกุลในชิ้นเนื้อยึดเกาะกันโดยการดึงโมเลกุลที่ละลายน้ำได้มารวมตัวกัน ทำให้เนื้อมีความเหนียวของเจลเพิ่มขึ้น (เขวลักษณ์, 2536)

4.2.6 ศึกษาค่าเจลอิเล็กโตรโพลีซิส (SDS-PAGE)

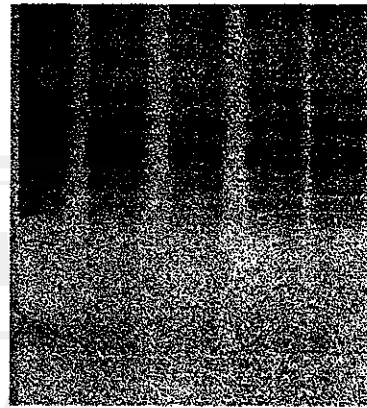
เปรียบเทียบ Electrophoregrams ของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปที่ยังไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนกับ Electrophoregrams ของเศษเนื้อนกกกระจอกเทศขึ้นรูปที่ผ่านการให้ความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.15 –4.17



A B C D E F

รูปที่ 4.15 Electrophoregrams ของเศษเนื้อ
นกกระทาจอกเทศขึ้นรูปที่ยังไม่ผ่านกระบวนการให้
ความร้อน โดยใช้สารละลาย SDS และละลายด้วย
2 – Mercapto Ethanol

- เมื่อ A = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปดิบ
B = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูป
ดิบ และละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol
C = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปดิบ
เติมกลูเตนร้อยละ 5
D = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปดิบ
เติมกลูเตนร้อยละ 5 และละลายด้วย 2 – Mercapto
Ethanol
E = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปดิบ
เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5
F = เนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปดิบ
เติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5 และละลาย
ด้วย 2- Mercapto Ethanol



A B C D E

รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบระหว่าง
Electrophoregrams (Native-PAGE)
ของเศษเนื้อนกกระทาจอกเทศขึ้นรูปที่ยัง ไม่
ผ่านกระบวนการให้ความร้อน

- เมื่อ A = เนื้อนกกระทาจอกเทศดิบ
B = เนื้อนกกระทาจอกเทศดิบเติม
กลูเตนร้อยละ 5
C = เนื้อนกกระทาจอกเทศดิบเติม
โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5
D = เนื้อนกกระทาจอกเทศสุก
เติมกลูเตนร้อยละ 5
E = เนื้อนกกระทาจอกเทศสุกเติม
โปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศดิบ (A กับ B) พบว่าแถบโปรตีนทั้งสองไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเนื้องอกกระจอกเทศดิบไม่มีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) แต่ได้สร้างพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Bond) รูปที่ 4.16 ซึ่งไม่เติมสารละลาย SDS มีปริมาณโปรตีนละลายออกมาน้อยกว่าแถบโปรตีนในรูปที่ 4.15 มาก ส่วนแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศเติมกลูเตนร้อยละ 5 (C กับ D) จะมีแถบโปรตีนที่แตกต่างจากแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศดิบ (A กับ B) โดยเฉพาะแถบโปรตีน D ในรูปที่ 4.15 ที่ละลายด้วย 2-Mercapto Ethanol จะเห็นแถบโปรตีนที่ชัดเจน แสดงว่ามีการสร้างพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) ซึ่งเกิดจากกลูเตน

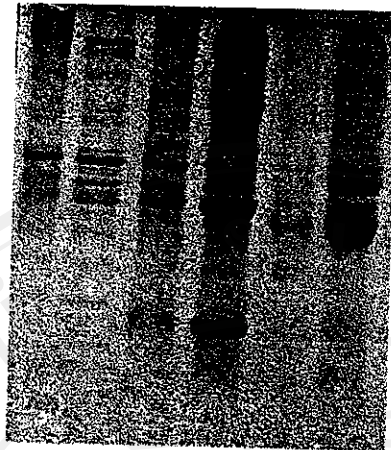
และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศขึ้นรูปดิบ รูปที่ 4.15 เติมกลูเตนร้อยละ 5 และละลายด้วย 2-Mercapto Ethanol กับ แถบโปรตีนเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 5 และละลายด้วย 2-Mercapto Ethanol (D กับ F) พบว่าแถบโปรตีน D เค้นชัดกว่าแถบโปรตีน F โดยเฉพาะโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงว่ากลูเตน มีผลก่อพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) เพิ่มขึ้นมากกว่าผลจากโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ทั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Apichartsrangkoon and Ledward (2002)

จากรูปที่ 4.16 เมื่อเปรียบเทียบแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศ (A) แถบโปรตีนเนื้องอกกระจอกเทศดิบที่เติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 5 (B กับ C) ตามลำดับ แถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศสุกที่มีการเติมกลูเตน และโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 5 (D กับ E) ตามลำดับ จะเห็นว่าแถบโปรตีนทั้งหมดนี้ไม่แตกต่างกัน เพราะว่าสารละลาย SDS ซึ่งปกติย่อยสลายพันธะไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Bond) มีผลต่อการย่อยโมเลกุลของโปรตีน ทำให้เป็นสายโพลีเมอร์ มีขนาดสั้นลง ดังนั้นเมื่อไม่เติมสาร SDS ทั้งเนื้องอกกระจอกเทศดิบและสุก จึงพบแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงน้อยมาก (Apichartsrangkoon, 2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



A B C D E F

รูปที่ 4.17 Electrophoregrams ของเศษเนื้องอกกระจอกเทศที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน โดยใช้สารละลาย SDS ละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol ย่อยสลายโปรตีน

- เมื่อ
- A = เนื้องอกกระจอกเทศสุก
 - B = เนื้องอกกระจอกเทศสุก ละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol
 - C = เนื้องอกกระจอกเทศสุกเติมกลูเตน ร้อยละ 5
 - D = เนื้องอกกระจอกเทศสุกเติมกลูเตน ร้อยละ 5 และละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol
 - E = เนื้องอกกระจอกเทศสุกเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5
 - F = เนื้องอกกระจอกเทศสุกเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 5 และละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol

จากรูปที่ 4.17 จะพบแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศสุกน้อยกว่าแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศดิบ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.15 เนื่องจากแถบโปรตีนได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ทำให้โปรตีนในเนื้อเกิดการเสียสภาพ (Denature) เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง เมื่อละลายในสารละลายต่าง ๆ จึงละลายออกมาได้น้อย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแถบโปรตีนของเนื้องอกกระจอกเทศสุกที่ไม่ละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol กับละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol (A กับ B) พบว่าเนื้องอกกระจอกเทศสุกที่มีการละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol (B) แสดงแถบโปรตีนที่ชัดกว่าแถบโปรตีนที่ไม่ละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol (A) สอดคล้องกับรายงานของ Apichartsrangkoon (2001) ที่รายงานว่าสาร 2 – Mercapto Ethanol ช่วยละลายพันธะไดซัลไฟด์ (S-S)

และที่เด่นชัดคือ เนื้อนกกกระจอกเทศสุกเติมกลูเตนร้อยละ 5 ไม่ละลายด้วย 2 – Mercapto Ethanol กับละลาย 2 – Mercapto Ethanol (C และ D) พบแถบโปรตีนแตกต่างอย่างชัดเจนโดยเฉพาะกับแถบโปรตีน D ที่ละลายด้วย 2- Mercapto Ethanol จะเห็นแถบโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำชัดขึ้น แสดงว่าก่อพันธะไดซัลไฟด์จากกลูเตน (Apichartsrangkoon, 2001) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแถบโปรตีนของเนื้อนกกกระจอกเทศสุกเติมโปรตีนถั่วเหลืองสกัดร้อยละ 5 และละลายด้วย 2- Mercapto Ethanol (F) พบว่าแถบโปรตีน F แสดงแถบโปรตีนที่ชัดเช่นเดียวกับแถบโปรตีน D แสดงว่าโปรตีนถั่วเหลืองสกัดสามารถก่อพันธะไดซัลไฟด์ (S-S) เหมือนกับกลูเตน (Apichartsrangkoon and Ledward, 2002)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University –
All rights reserved