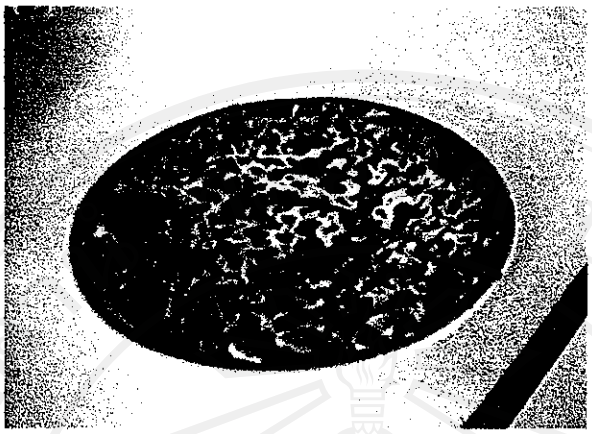
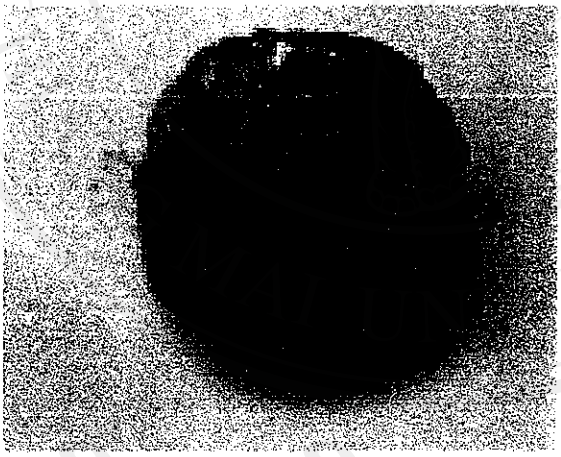
ภาคผนวก ก

รูปภาพประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

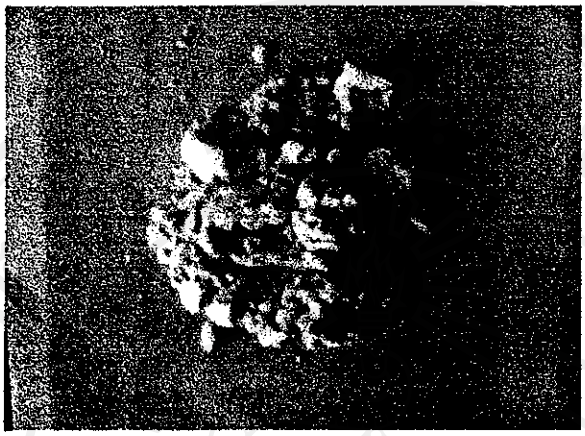


รูปที่ ก.1 เศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศที่ผ่านการตัดแต่งแล้ว หลังจากแช่เย็นที่ –18 องศาเซลเซียส

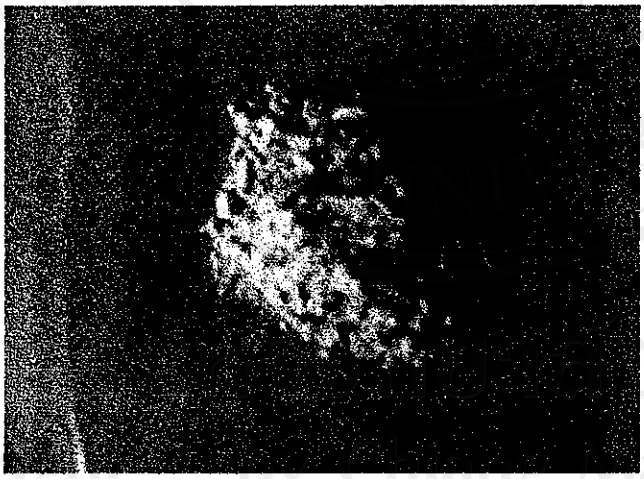


รูปที่ ก.2 เศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปหลังการให้ความร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

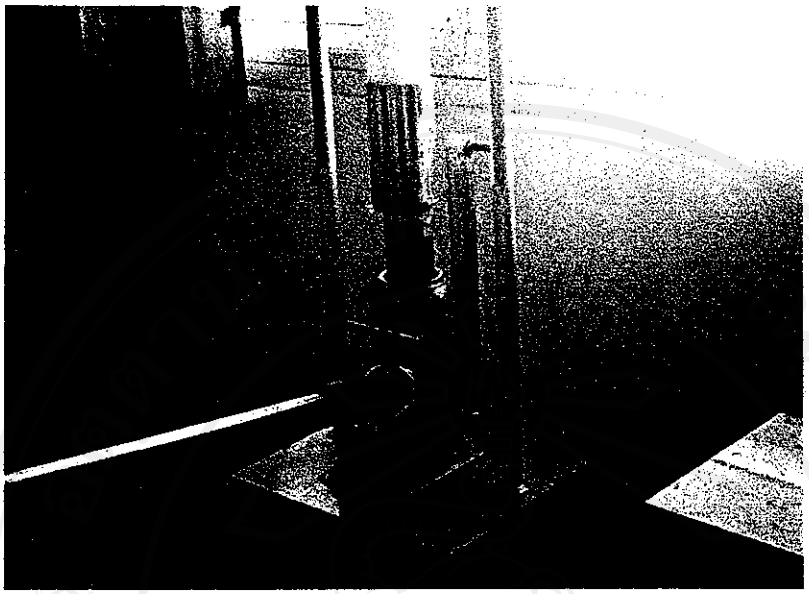


รูปที่ ก.3 โปรตีนถั่วเหลืองสกัดที่ใช้ในการทดลอง

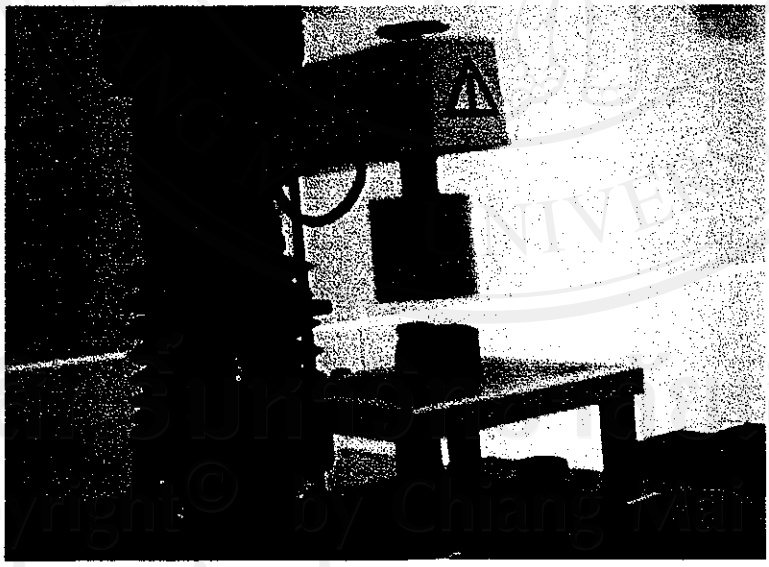


รูปที่ ก.4. กลูเตนที่ใช้ในการทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

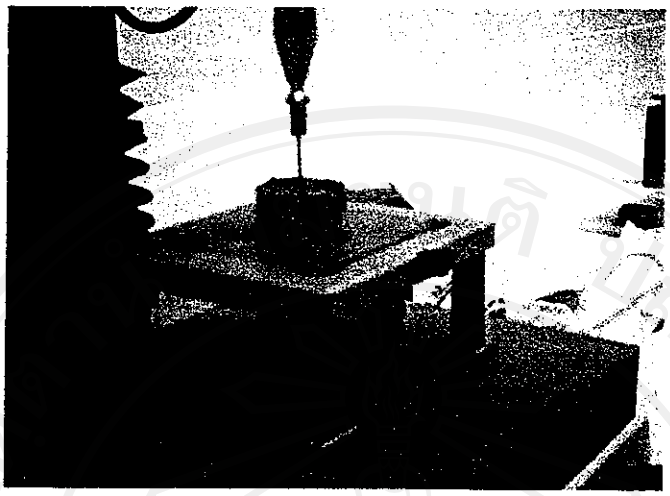


รูปที่ ก.5 เครื่องอัดผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูประบบไฮโดรลิก



รูปที่ ก.6 เครื่องวัดลักษณะทางกายภาพ (Texture Analyser) และหัววัดค่าการพักความเค้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ก.7 หัววัดค่า Gel Strength

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1.1 การวัด relaxation time โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

- เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser ; TA.XT Plus (Stable Micro System, UK)

วิธีการวัด

นำตัวอย่างเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 15 มิลลิเมตร ทำการวัดเวลาในการพักความเค้น ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) ใช้วิธีในการทดสอบเป็น Hold until time โดยกำหนดตัวแปรให้มีการเปลี่ยนแปลงของความสูงคงที่เป็นร้อยละ 3, ความเร็วในการทดสอบเป็น 1 มิลลิเมตรต่อวินาที, ใช้เวลาในการทดสอบ 1,800 วินาที, หัววัดเป็นอะลูมิเนียมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P/50) จะได้ค่าแรงกดของตัวอย่างซึ่งแสดงในรูปกราฟระหว่างค่าแรงกดเป็นนิวตัน (N) กับเวลา (sec) บันทึกผล นำกราฟที่ได้หาค่าตัวแปรต่อไป

วิธีปรับมาตรฐาน

1. เข้าโปรแกรมเลือก TA setting ปรับมาตรฐานน้ำหนักโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 2,000 กรัม
2. เลือก TA setting ปรับมาตรฐานความสูงโดยกำหนดให้สูงกว่าตัวอย่าง จากงานวิจัยนี้ตัวอย่างสูง 15 มิลลิเมตรจึงกำหนดเป็น 20 มิลลิเมตร

1.2 การวัด Gel strength โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

- เครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture analyser ; TA.XT Plus (Stable Micro System, UK)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการวัด

นำตัวอย่างเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่มีขนาดเท่ากัน วัด Gel Strength ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyser) โดยใช้วิธีในการทดสอบเป็น Return to start ในการวัดกำหนดระยะทางที่กด (Distance) 10 มิลลิเมตร, ความเร็วในการทดสอบเป็น 2 มิลลิเมตร, ใช้หัววัดเป็นสแตนเลสทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (P/2), ตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และมีความสูง 15 มิลลิเมตร จะได้ค่าแรงกดของตัวอย่างซึ่งแสดงในรูปกราฟระหว่างค่าแรงกดเป็นนิวตัน (N) กับเวลา (sec) บันทึกผล นำกราฟที่ได้หาค่าตัวแปรต่อไป

วิธีปรับมาตรฐาน

1. เข้าโปรแกรมเลือก TA setting ปรับมาตรฐานน้ำหนักโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 2,000 กรัม
2. เลือก TA setting ปรับมาตรฐานความสูงโดยกำหนดให้สูงกว่าตัวอย่าง จากงานวิจัยนี้ตัวอย่างสูง 15 มิลลิเมตรจึงกำหนดเป็น 20 มิลลิเมตร

2. การตรวจวิเคราะห์โปรตีนด้วย SDS-Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
2. บีกเกอร์ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
3. ไมโครปิเปต 10, 100 และ 1,000 ไมโครลิตร
4. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50, 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
5. ชุดสำหรับทำอิเลคโทรโฟรีซีส (Mini vertical hoefer apparatus : Hoefer pharmacia biotech Inc. , Sweden)

สารเคมี

1. Glycine
2. Bromophenol blue
3. Tris (hydroxymethyl aminomethane)
4. 2-mercapto ethanol
5. Acrylamide

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. Sodium dodecylsulfate
7. Coomassie brilliant blue R
8. Ammonium persulfate
9. N,N-methylene-bis acylamide
10. N, N, N, N,-tetramethyl ethylenediamine (TEMED)
11. Methanol
12. Hydrochloric acid
13. Glycerine
14. Acetic acid

การเตรียมสารละลายสำหรับทำอิเลคโตรโฟริซิส

1. **Monomer solution** (30.8%T, 2.7%C)

Bisacrylamide (MW 154.2)	0.8	กรัม
ละลายในน้ำกลั่น	25	มิลลิลิตร
40%T Acrylamide	75	มิลลิลิตร

จะได้ Stock acrylamide ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. **4X Running gel buffer** (1.5M Tris-HCl, pH 8.8)

Tris (MW 121.1)	3	กรัม
น้ำกลั่น (ต้มเพื่อไล่อากาศ)	150	มิลลิลิตร

ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 8.8 ด้วย HCl ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 200 มิลลิลิตร

3. **4Xstacking gel buffer** (0.5M Tris-HCl, pH 6.8)

Tirs (MW121.1)	3	กรัม
น้ำกลั่น (ต้มเพื่อไล่อากาศ)	40	มิลลิลิตร

ปรับความเป็นกรด-ด่างให้ได้ 6.8 ด้วย HCl ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 50 มิลลิลิตร

4. **10% SDS** เตรียมโดยชั่ง SDS 10 กรัม ละลายน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร
5. **10% Ammonium persulfate** เตรียมโดยชั่ง Ammonium persulfate 0.1 กรัม ละลายน้ำกลั่นให้ครบ 1 มิลลิลิตร "เตรียมก่อนใช้"

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. Sample buffer

4X stacking gel buffer	2.5	มิลลิลิตร
สารละลาย SDS ความเข้มข้น 10%	4	มิลลิลิตร
glycerol	2	มิลลิลิตร

เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เมื่อจะใช้งานให้ผสม sample buffer 0.98 มิลลิลิตร เข้ากับ 2% Mercaptoethanol จำนวน 20ไมโครลิตร แล้วต้มในน้ำเดือดนาน 3 นาที

7. Tank buffer (0.025 M Trism, 0.192 M Glycine, 0.1% SDS, pH 8.3)

Tris (MW 121.1)	3.028	กรัม
Glycine	14.413	กรัม
SDS	1.0	กรัม

8. TEMED ไม่ต้องทำการเจือจาง

9. Staining solution (0.025% Coomassie brilliant blue R250, 40% Methanol, 7% Acetic acid)

Coomassie brilliant blue R250	0.125	กรัม
Methanol	200	มิลลิลิตร

คนจนสารสีละลายหมดแล้วเติม Acetic acid ลงไป 35 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

10. Destain solution I (40% Methanol, 7% Acetic acid)

Methanol	200	มิลลิลิตร
Acetic acid	35	มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

11. Destain solution II (7% Acetic acid, 5% Methanol)

Methanol	25	มิลลิลิตร
Acetic acid	35	มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศที่ผสมกลูเตน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 0.05 กรัม ต่อ sample buffer 1 มิลลิลิตร

ชั่งเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศที่ผสมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 0.05 กรัม ต่อ sample buffer 1 มิลลิลิตร

การเตรียมเจล

สารละลาย Running gel (12.5% gel)

ผสม Monomer solution	4.2	มิลลิลิตร
4X Running gel buffer	2.5	มิลลิลิตร
10% SDS	0.1	มิลลิลิตร
น้ำกลั่น	3.2	มิลลิลิตร
Ammonium persulfate	50	ไมโครลิตร
TEMED	3.3	ไมโครลิตร

เขย่าวนเบา ๆ ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ (เตรียมแล้วใช้ทันที)

วิธีการทำอิเลคโทรโฟรีซีส

1. ในการเตรียมเจล 1 แผ่น จะใช้ Notched alumina กับ Glass plate อย่างละ 1 อัน และ spacer 2 อัน นำมาประกบกันให้แน่น โดยใช้ spacer คั่นขอบ 2 ข้างระหว่าง Notched alumina กับ Glass plate แล้วยึดแผ่นให้ติดกันด้วยที่หนีบขันสกรูให้แน่น ทั้งนี้แผ่นแก้วต้องสะอาดและแห้ง

2. เตรียมสารละลาย Running gel แล้วใช้ ไมโครปิเปตดูดเจลใส่ลงช่องระหว่างแผ่นแก้ว จนกระทั่งต่ำกว่า plate ด้านบนประมาณ 3 เซนติเมตร ต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ และทำอย่างรวดเร็วก่อนเจลจะแข็งตัว

3. ใช้ ไมโครปิเปตอันใหม่ดูดน้ำกลั่นใส่ลงบริเวณใกล้ ๆ spacer เพื่อให้ปิดหน้าเจลไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน ตั้งทิ้งไว้ให้เจลแข็งตัวประมาณ 1 ชั่วโมง

4. เตรียมสารละลายของ Stacking gel (7.5%)

5. เทน้ำที่ปิดหน้าเจลออก ซับให้แห้งด้วยกระดาษกรอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. ใช้ไมโครปิเปตดูดเจลค่อย ๆ ใส่ลงช่องระหว่างแผ่นแก้วจนกระทั่งต่ำกว่าด้านบนของ Glass plate ประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ สอดหวี (Comb) ลงในชั้น Stacking gel เพื่อให้เกิดหลุม (Well) ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศในแต่ละหลุม ตั้งทิ้งไว้จนเจลแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ (ประมาณ 1 ชั่วโมง) จากนั้นเอาหวีออก จะได้ช่องว่างสำหรับใส่ตัวอย่าง ระวังอย่าให้เจลเกิดฉีกขาด

7. วาง Well-locating decal ให้แนบกับ Glass plate เพื่อให้เห็นหลุมชัดเจนก่อนจะเติมสารตัวอย่าง แล้วเติม Tank buffer ที่เตรียมไว้ลงใน Sample well และ Upper buffer chamber เติมสารตัวอย่างปริมาณ 10 ไมโครลิตร โดยใช้ไมโครปิเปตค่อย ๆ หยอดผ่านบัฟเฟอร์ลงในช่องที่เตรียมไว้

8. คลายตัว Caster ออก เอาเจลที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยวางลงใน Lower buffer chamber เติม Tank buffer ลงใน Lower buffer chamber ให้ท่วม Electrode

9. ใส่ Safety lid แล้วต่อขั้วไฟฟ้าลบและบวกจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply) เข้ากับขั้วไฟฟ้าใน Chamber โดยให้ขั้วสีแดงต่อกับสีแดง ขั้วสีดำต่อกับสีดำ ผ่านกระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมแปร์ที่ 280 โวลต์ (ต่อ 2 เจล) จนกระทั่งเห็นสีน้ำเงินของ Bromophenol blue เคลื่อนที่ถึงด้านล่างของ Plate ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงต่อเจล 2 แผ่น ปิดเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าเอาปลั๊กออกแล้วดึง Safety lid ออก

10. เทบัฟเฟอร์ออกจาก Chamber แล้วเอาที่หนีบออก ค่อย ๆ เอา Spacer ออกทางด้านข้างแล้วใช้ Spatula งัดเบา ๆ เอา Glass plate ออก เจลจะติดอยู่ที่ Noteched alumina ให้ยกไปทั้งแผ่นแล้วค่อย ๆ เทลงในถาดย่อม

การย้อมสี

1. นำแผ่นเจลที่ได้ แช่ใน TCA นาน ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปแช่ Staining solution นานประมาณ 4 ชั่วโมง หรือตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

2. เทกำจัด Staining solution ออกแล้วเติม Destaining solution I ลงไป เขย่าช้า ๆ ประมาณ 30 นาที เพื่อกำจัดสีส่วนที่เกินออก

3. เทกำจัด Destaining solution I ออกแล้วเติม Destaining solution II ลงไป โดยเปลี่ยน 2 ครั้งต่อ 1 วัน จนกว่าจะเห็นแถบน้ำเงินของโปรตีนอย่างชัดเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

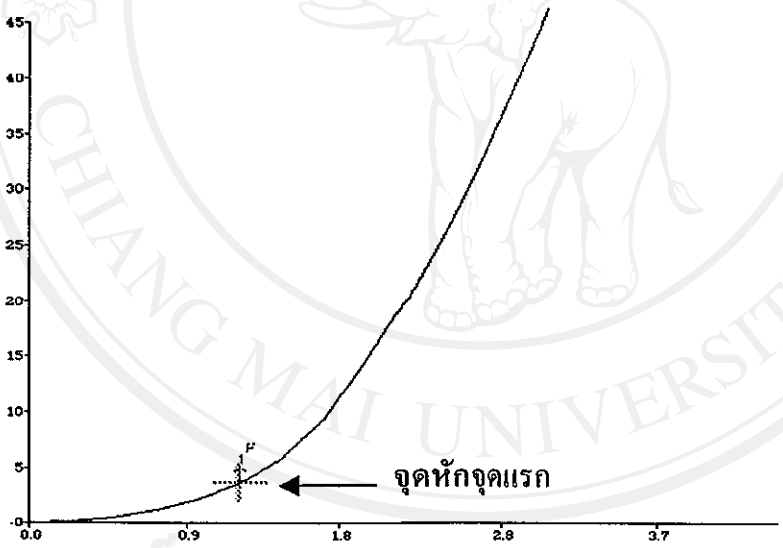
แรงในการทดสอบและการหาแบบจำลองที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบแรงที่ทำให้แตก (Maximum Force)

เป็นการหาแรงในการที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่าง เนื่องจากตัวอย่างแต่ละชนิดสามารถรับแรงได้ไม่เท่ากัน ก่อนทำการทดสอบเวลาในการพักความเค้น จึงต้องหาแรงที่ไม่ทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยมีวิธีการ คือ

1. นำตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบโดยนำตัวอย่างที่แตกต่างกันมาก เช่น แข็งที่สุดและนิ่มที่สุด ทำการทดลองก่อน
2. เข้าโปรแกรม TEE32 กำหนดให้กดลงไปโดยให้ % Strain เปลี่ยนไป 75%
3. พิจารณารูปกราฟที่ได้ โดยพิจารณาจุดที่มีการหักจุดแรก ซึ่งมีค่าประมาณ 3.5 นิวตัน ดังรูปที่ ค.1 จุด F เป็นจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงใช้แรงที่น้อยกว่า คือ เลือกการเปลี่ยนแปลงความสูงร้อยละ 3 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงความสูงที่ไม่ทำให้โครงสร้างเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปเปลี่ยนแปลง



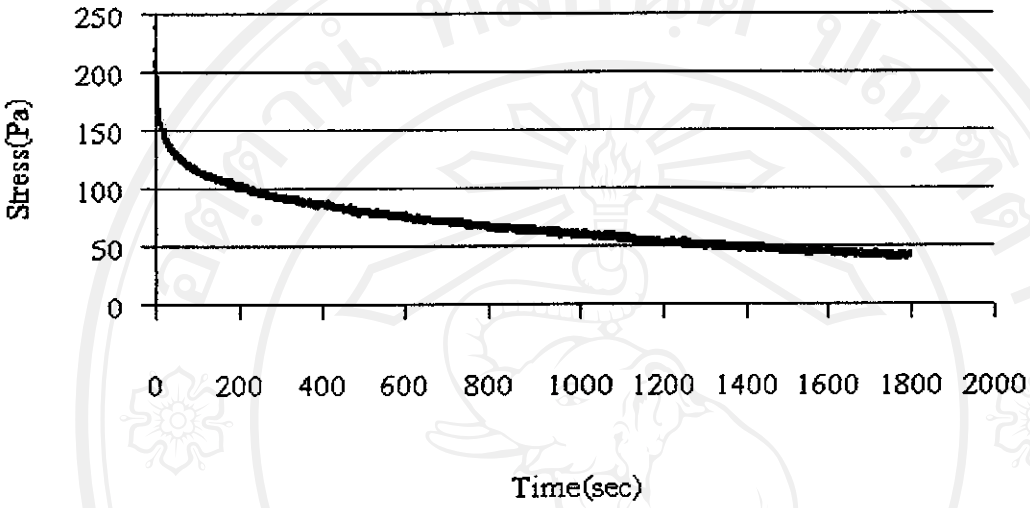
รูปที่ ค.1 กราฟแสดงแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเครียดของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป

หมายเหตุ : การทดสอบแรงที่ทำให้แตกนี้ทดสอบด้วยเครื่อง Texture analyse ; TA.XT Plus (Stable Micro System, UK)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

ขั้นที่ 1 พิจารณากราฟ Relaxation curve ที่หาได้ จากนั้นนำมา Plot กราฟให้แกน x เป็น time(sec) และแกน y เป็น Stress (Pa) ดังรูป



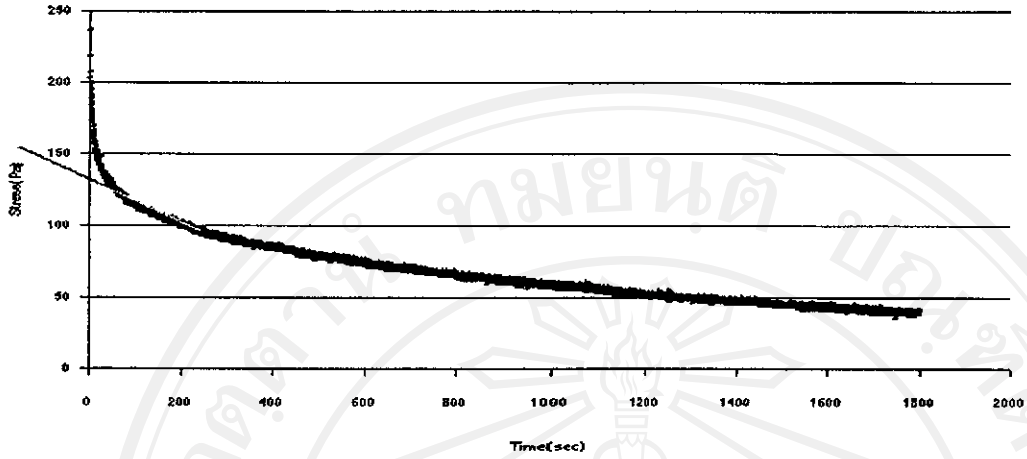
รูปที่ ค.2 กราฟ Relaxation curve ของหน่วยทดลองที่ 1

ขั้นที่ 2 พิจารณาแบบจำลอง 1 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 องค์ประกอบ และสปริงอิสระ 1 หน่วย มีสมการดังนี้

$$\sigma(t) = \sigma_e + (\sigma_1 - \sigma_2) \exp\left[\frac{-t}{(\lambda rel)}\right]$$

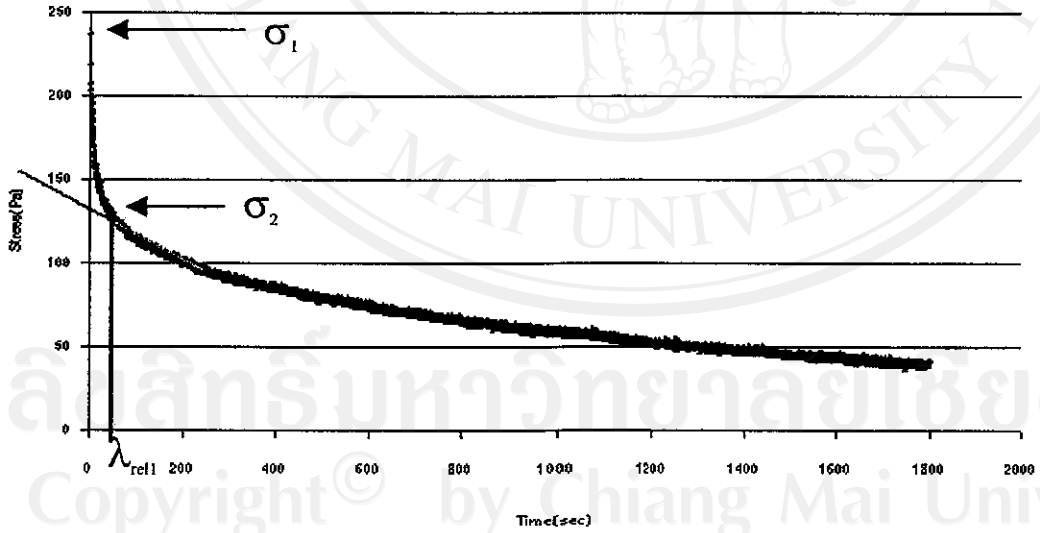
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นที่ 2 ลากเส้นตรงมาตัดที่กราฟการพักความเค้น เพื่อพิจารณาหาค่า σ_1 และ σ_2



รูปที่ ค.3 การลากเส้นตัดกราฟการพักความเค้น

ขั้นที่ 3 หาค่า λ_{rel1} จากสมการแต่ละองค์ประกอบของกราฟ โดยนำค่า σ_1 มาคูณกับ 0.37 แล้วนำไปบวกกับค่า σ_2 เพื่อหาค่าการพักความเค้น จากนั้นนำไปเทียบค่า Stress ว่าอยู่ ณ เวลาที่เท่าไร ใช้เวลานั้น เป็นค่า λ_{rel1}



รูปที่ ค.4 การหา λ_{rel1} ของกราฟการพักความเค้น

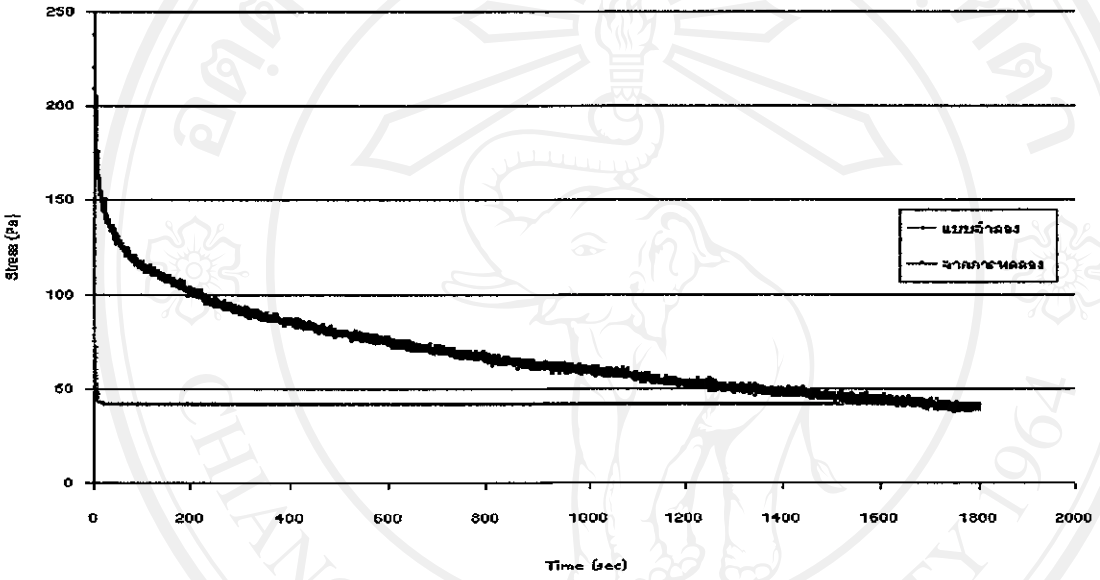
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นที่ 4 หาค่า σ_e โดยการนำค่าโดยใช้ค่า Stress ที่วินาทีที่ 1800

ขั้นที่ 5 นำค่าที่หาได้มาแทนลงในสมการ

$$\sigma(t) = 42.28 + (237.29 - 171.04) \exp\left[\frac{-t}{(2.5)}\right]$$

จากนั้นนำค่าที่ได้ไป Plot กราฟที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับกราฟจาก ดังรูปที่ ค.5

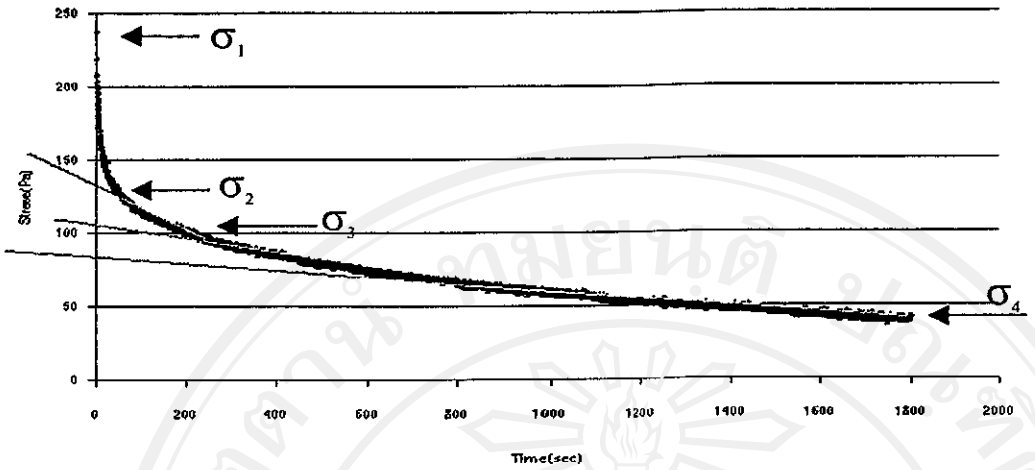


รูปที่ ค.5 กราฟการพักความเค้นระหว่างจากการทดลองกับจากแบบจำลอง 1 องค์ประกอบ

ขั้นที่ 6 ในกรณีนี้เป็นแบบจำลอง 3 องค์ประกอบ และสปริงอิสระ 1 หน่วย จึงหาค่า $(\sigma_2 - \sigma_3)$, $(\sigma_3 - \sigma_4)$, λ_{rel2} , λ_{rel3} และค่า σ_e เพื่อแทนลงในสมการ

$$\sigma(t) = \sigma_e + (\sigma_1 - \sigma_2) \exp\left[\frac{-t}{(\lambda rel1)}\right] + (\sigma_2 - \sigma_3) \exp\left[\frac{-t}{(\lambda rel2)}\right] + (\sigma_3 - \sigma_4) \exp\left[\frac{-t}{(\lambda rel3)}\right]$$

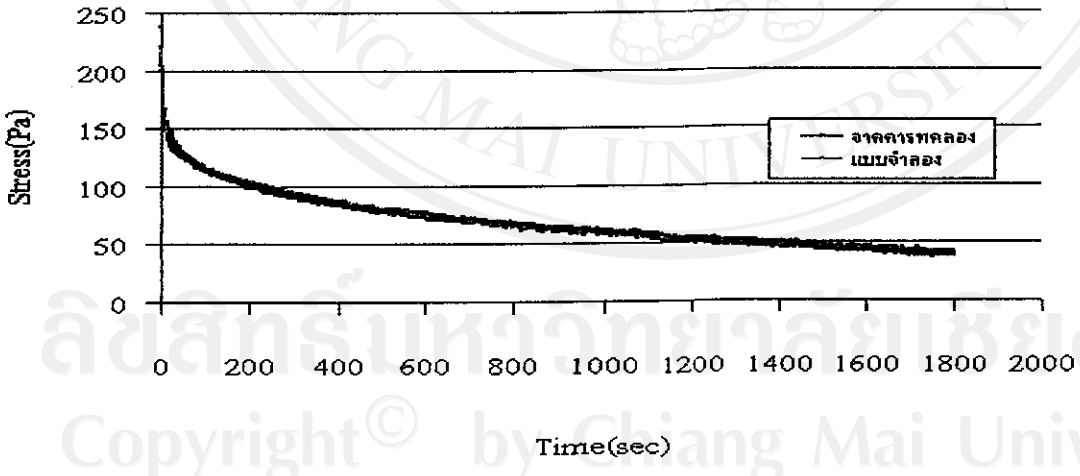
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ค.6 กราฟแสดงการค่า $(\sigma_2 - \sigma_3)$ และ $(\sigma_3 - \sigma_4)$

ขั้นที่ 7 จากนั้นนำค่าที่หาได้มาแทนค่าลงในสมการแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ แล้วลอง Plot กราฟ และเปรียบเทียบกราฟจากการทดลองกับกราฟจากแบบจำลอง ถ้ามีรูปที่สอดคล้องกันพอดีจะเป็นแบบจำลองที่เหมาะสม

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



รูปที่ ค.7 กราฟแสดงแบบจำลองแมกซ์เวล์ 3 องค์ประกอบและสปริงอิสระ 1 หน่วย ที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

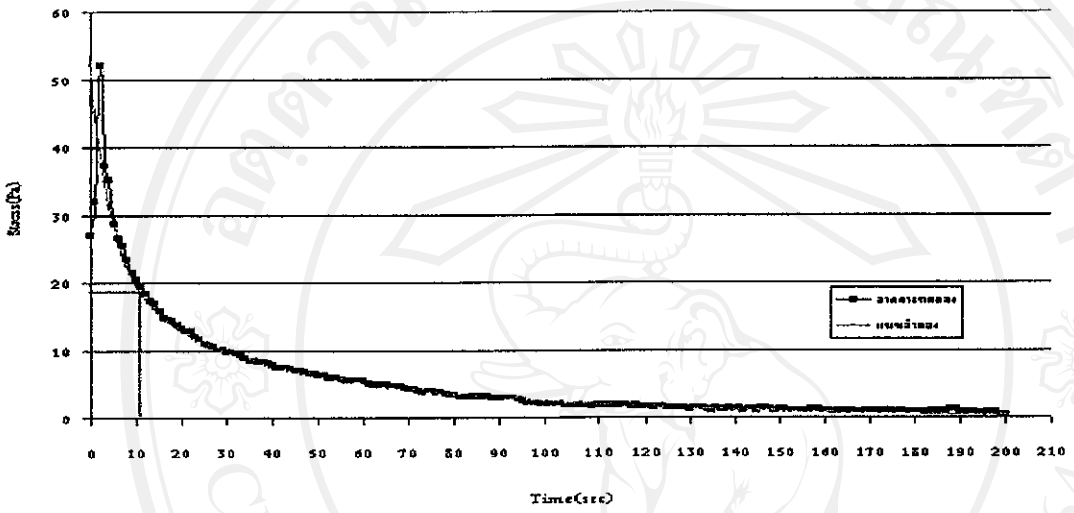
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศดิบ และขึ้นรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศดิบ

เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 11 sec

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



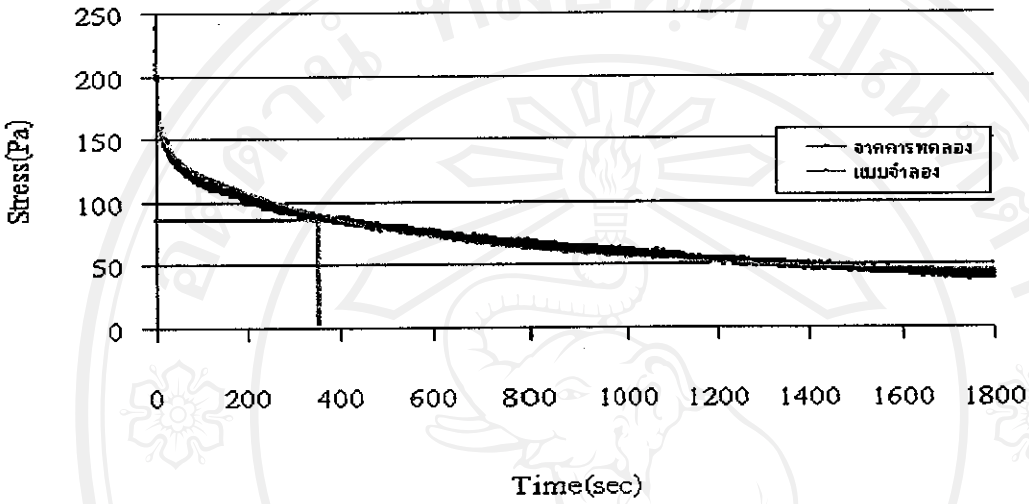
รูปที่ ง.1 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศดิบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป

หน่วยทดลองที่ 1 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 398 sec

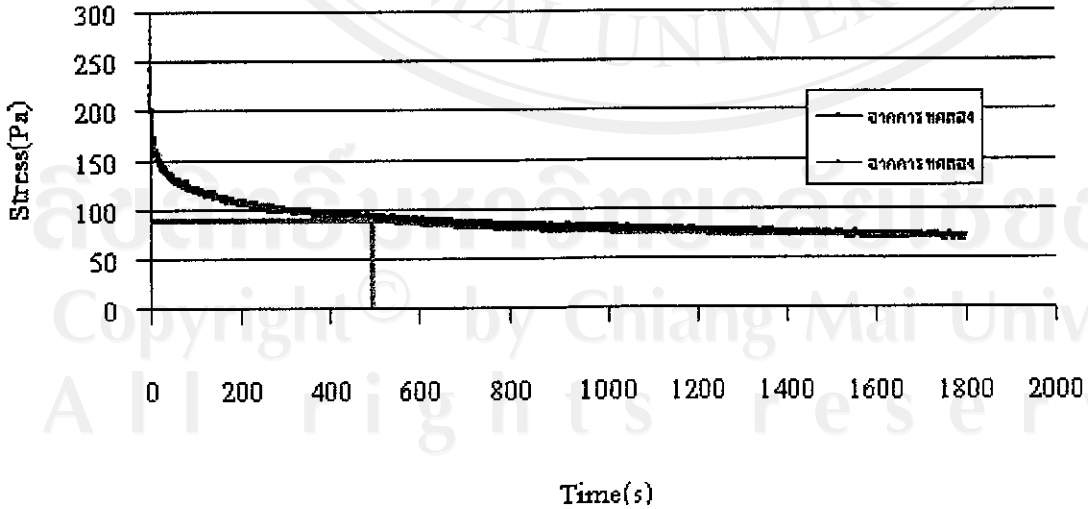
$$\sigma(t) = 42.28 + (66.25)\exp\left[\frac{-t}{(2.5)}\right] + (32.74)\exp\left[\frac{-t}{(22)}\right] + (96.02)\exp\left[\frac{-t}{(502.25)}\right]$$



รูปที่ ง.2 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 1

หน่วยทดลองที่ 2 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 503 sec

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

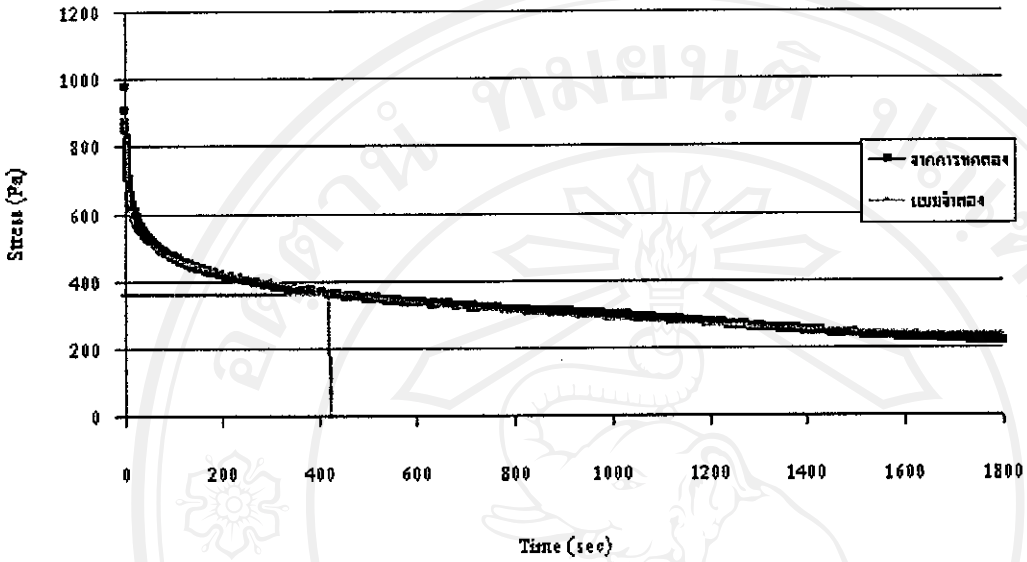


รูปที่ ง.3 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 3 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 411 sec

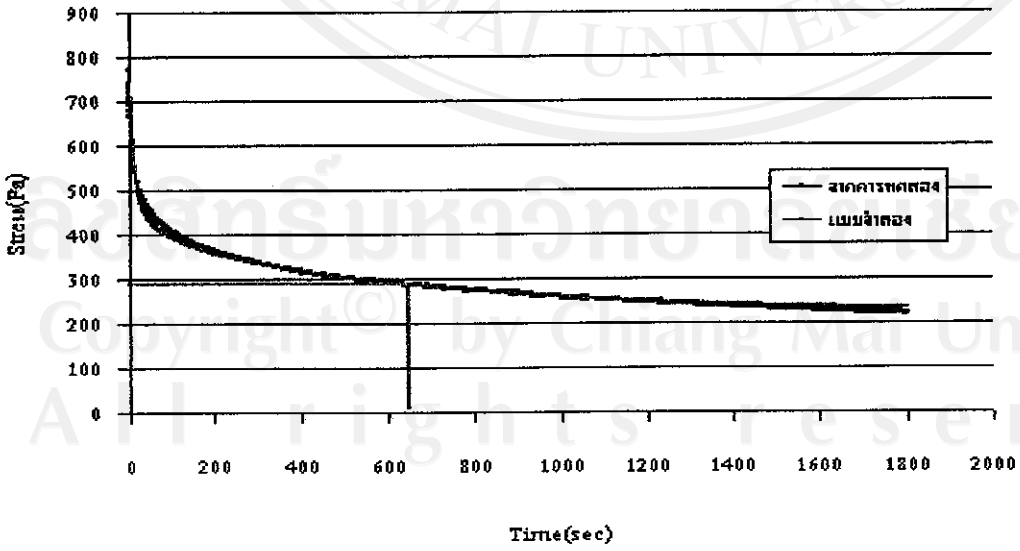
$$\sigma(t) = 215.23 + (373.66)\exp\left[\frac{-t}{(4.25)}\right] + (114.42)\exp\left[\frac{-t}{(46)}\right] + (274.02)\exp\left[\frac{-t}{(710)}\right]$$



รูปที่ ง.4 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 3

หน่วยทดลองที่ 4 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 640 sec

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

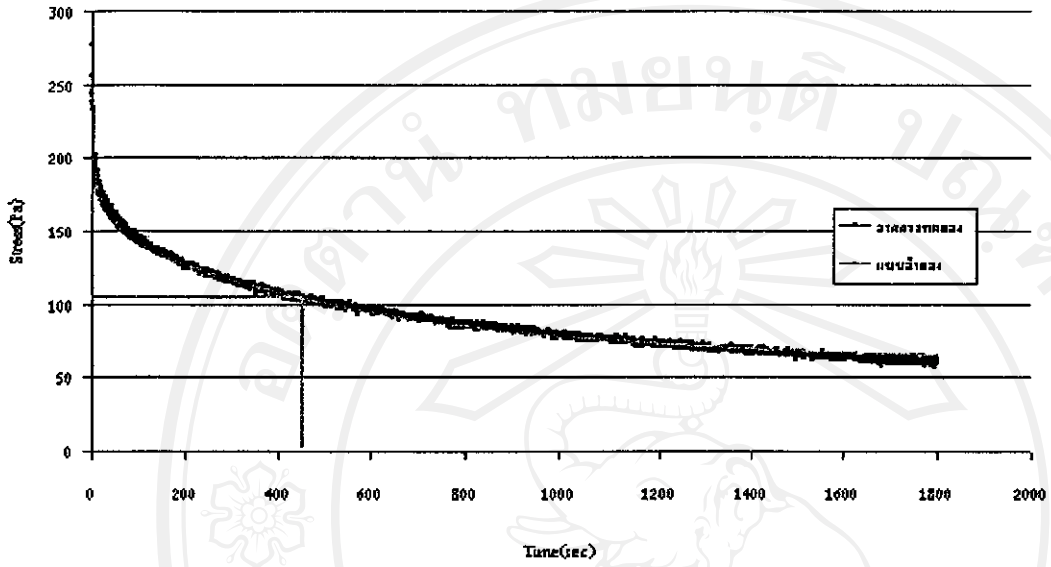


รูปที่ ง.5 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 5 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 462 sec

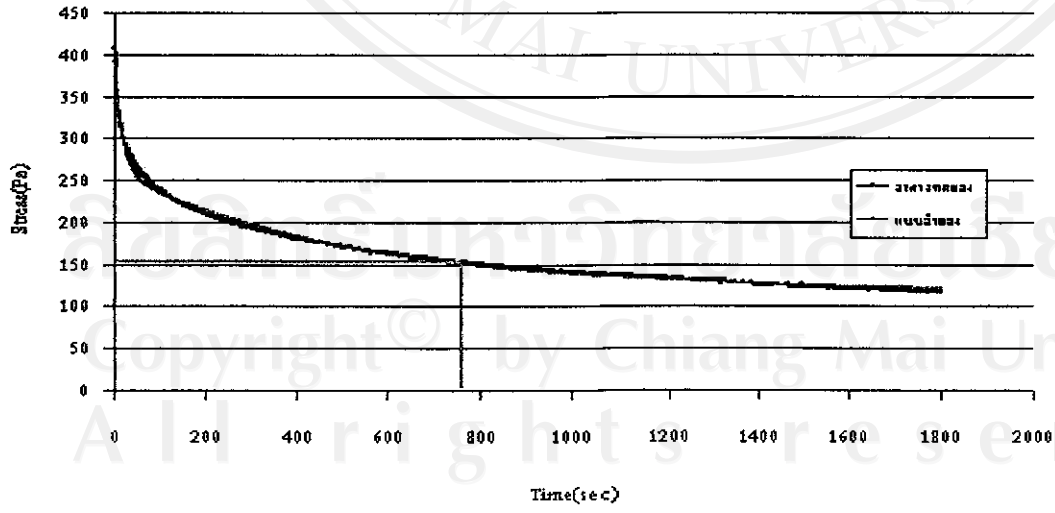
$$\sigma(t) = 60.37 + (90.22)\exp\left[\frac{-t}{(3.25)}\right] + (34.43)\exp\left[\frac{-t}{(41)}\right] + (91.34)\exp\left[\frac{-t}{(606.75)}\right]$$



รูปที่ ง.6 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 5

หน่วยทดลองที่ 6 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 783 sec

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

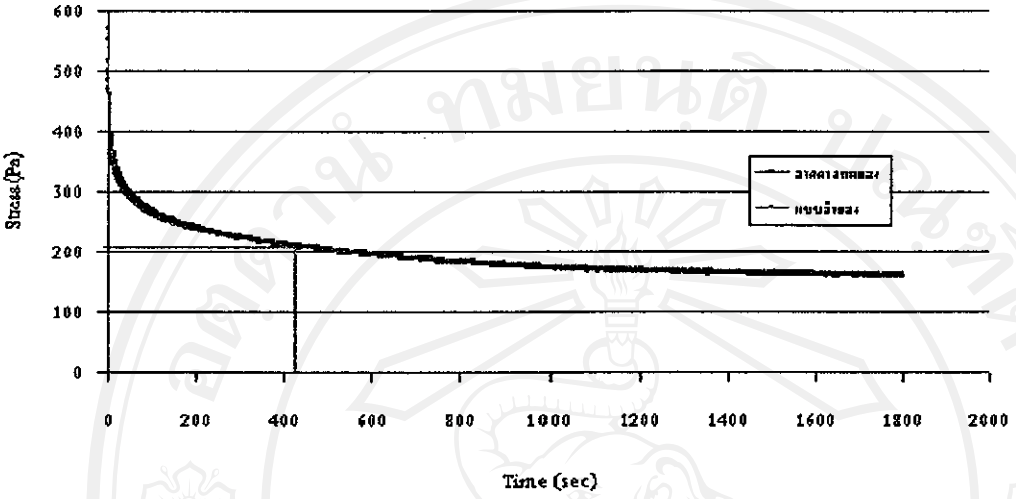


รูปที่ ง.7 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยการทดลองที่ 7 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 392 sec

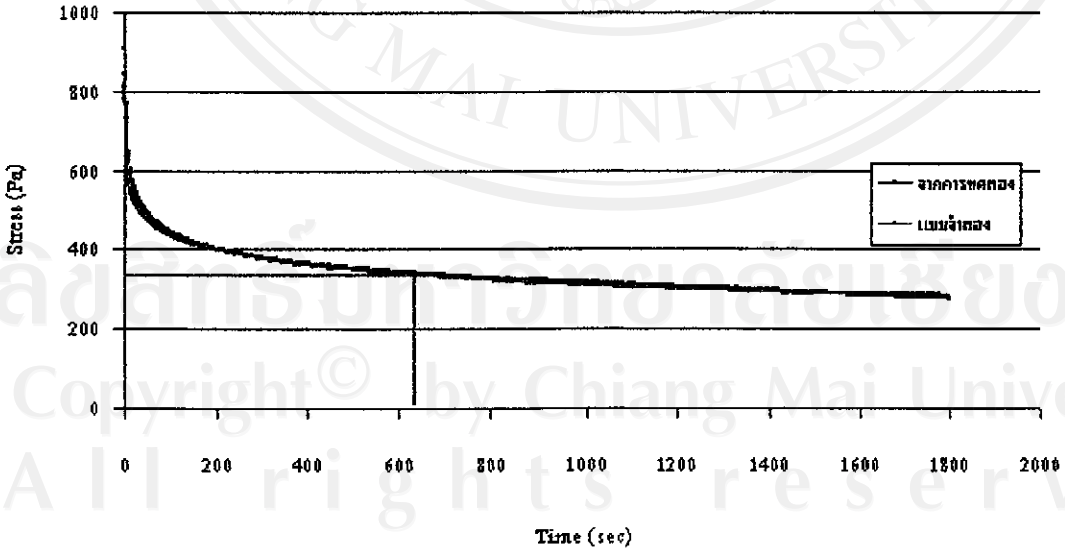
$$\sigma(t) = 160.62 + (210.24)\exp\left[\frac{-t}{(3.5)}\right] + (91.34)\exp\left[\frac{-t}{(45.25)}\right] + (107.08)\exp\left[\frac{-t}{(538.25)}\right]$$



รูปที่ ง.8 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 7

หน่วยทดลองที่ 8 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 670 sec

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

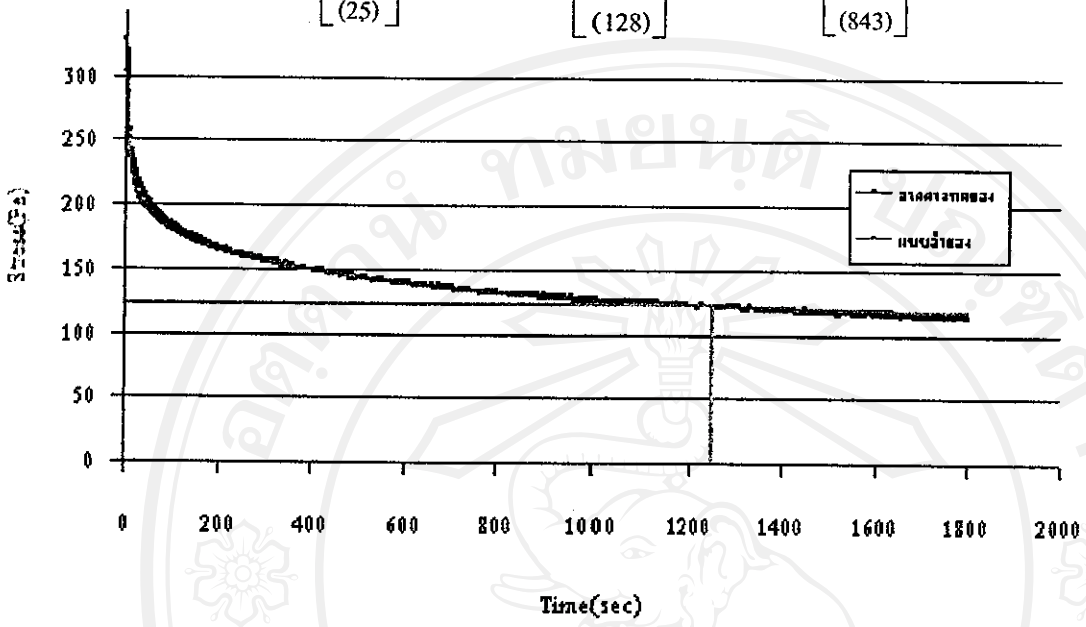


รูปที่ ง.9 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 9 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 1,268 sec

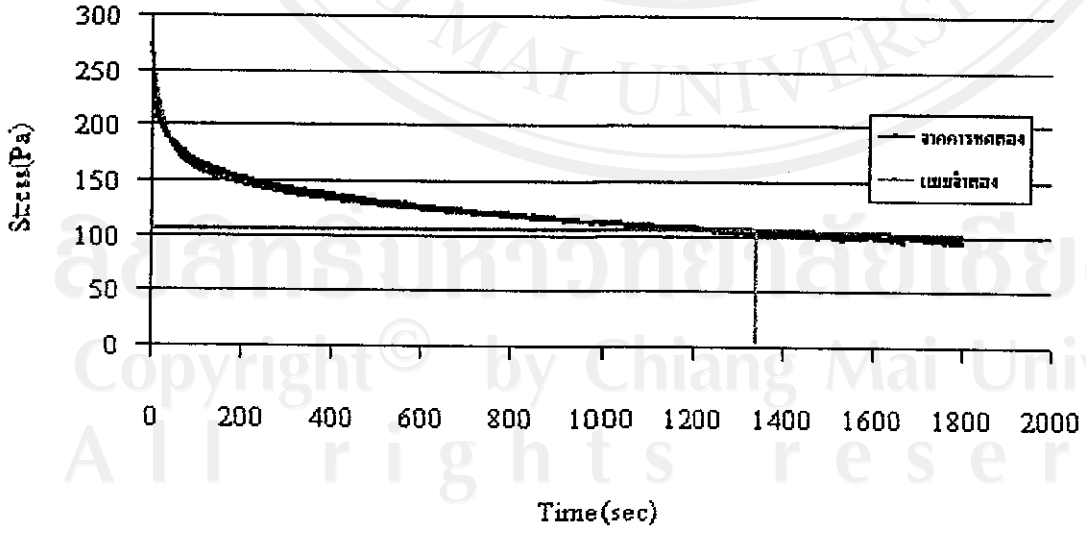
$$\sigma(t) = 93.73 + (91.32)\exp\left[\frac{-t}{(25)}\right] + (27.12)\exp\left[\frac{-t}{(128)}\right] + (59.1)\exp\left[\frac{-t}{(843)}\right]$$



รูปที่ ง.10 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 9

หน่วยทดลองที่ 10 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 1,362 sec

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

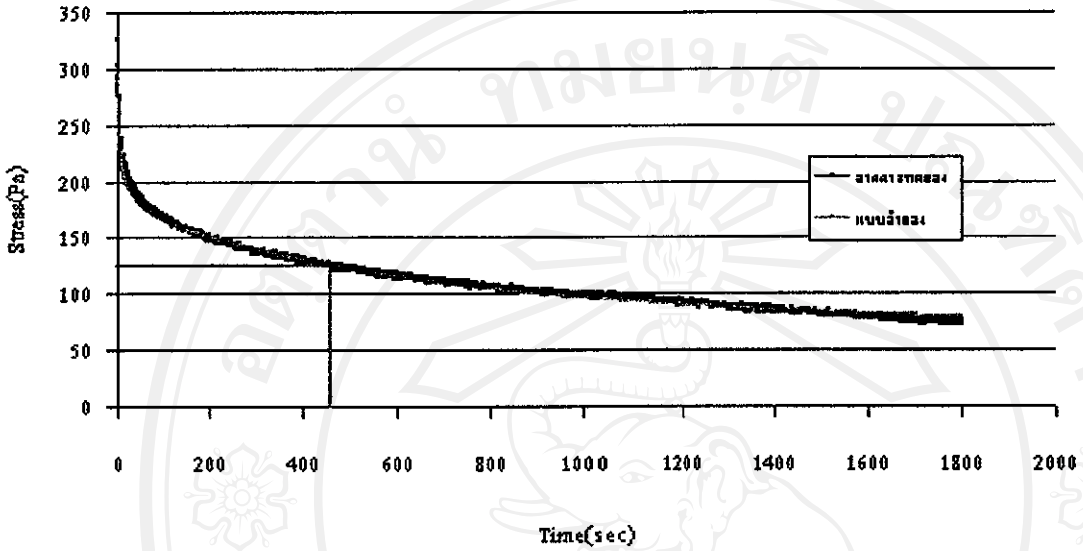


รูปที่ ง.11 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 11 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 509 sec

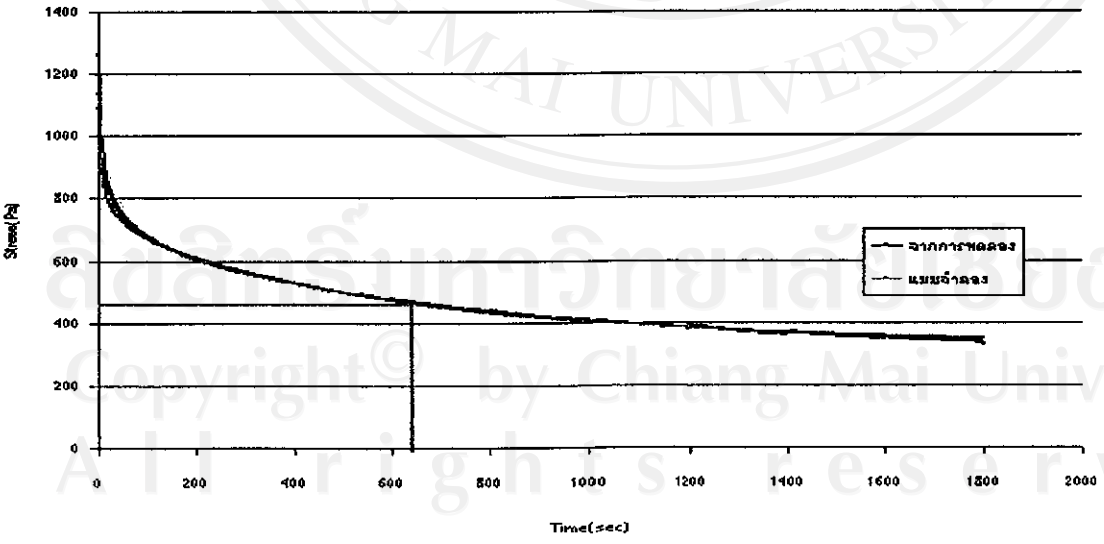
$$\sigma(t) = 72.75 + (107.74)\exp\left[\frac{-t}{(3.75)}\right] + (40.6)\exp\left[\frac{-t}{(36.25)}\right] + (104.94)\exp\left[\frac{-t}{(669.25)}\right]$$



รูปที่ ง.12 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 11

หน่วยทดลองที่ 12 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 634 sec

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

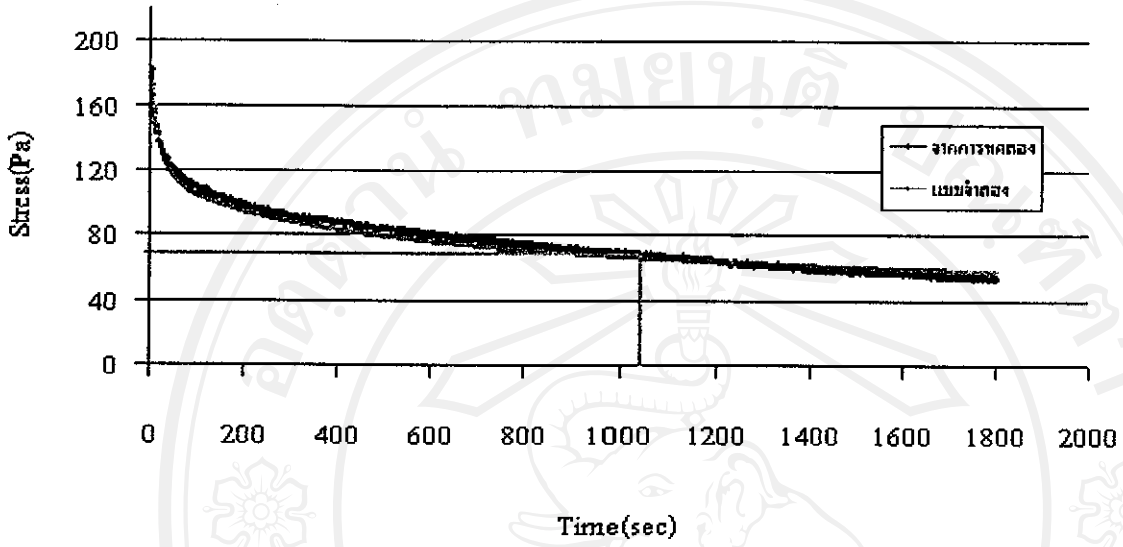


รูปที่ ง.13 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 12

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 13 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 1,084 sec

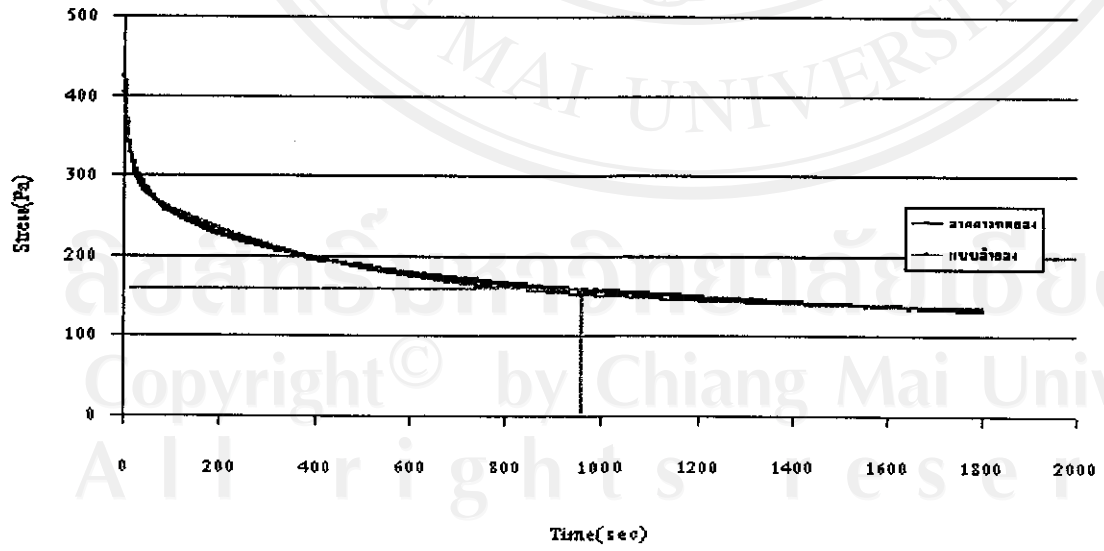
$$\sigma(t) = 52.78 + (60.93)\exp\left[\frac{-t}{(20)}\right] + (18.59)\exp\left[\frac{-t}{(118)}\right] + (49.31)\exp\left[\frac{-t}{(800)}\right]$$



รูปที่ ง.14 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 13

หน่วยทดลองที่ 14 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 975 sec

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

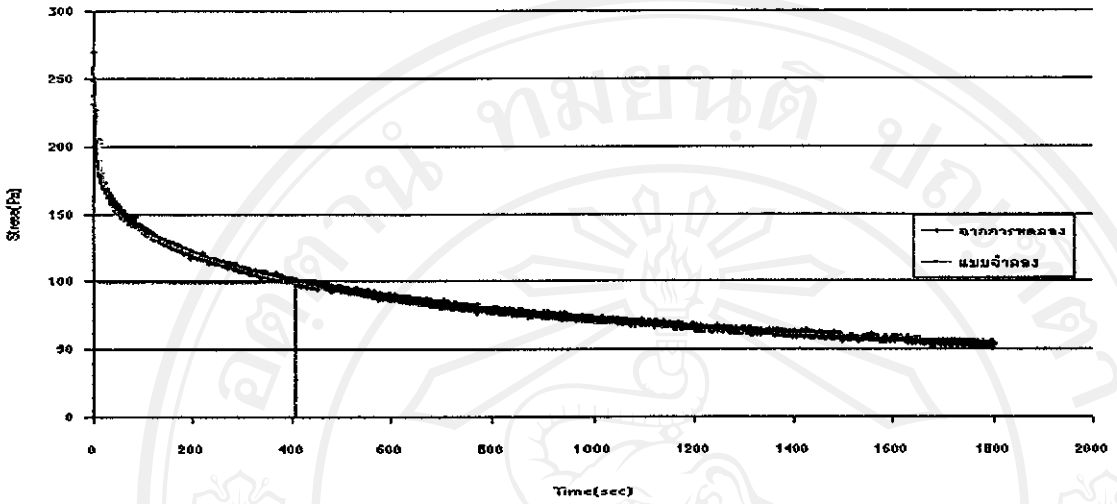


รูปที่ ง.15 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 15 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 412 sec

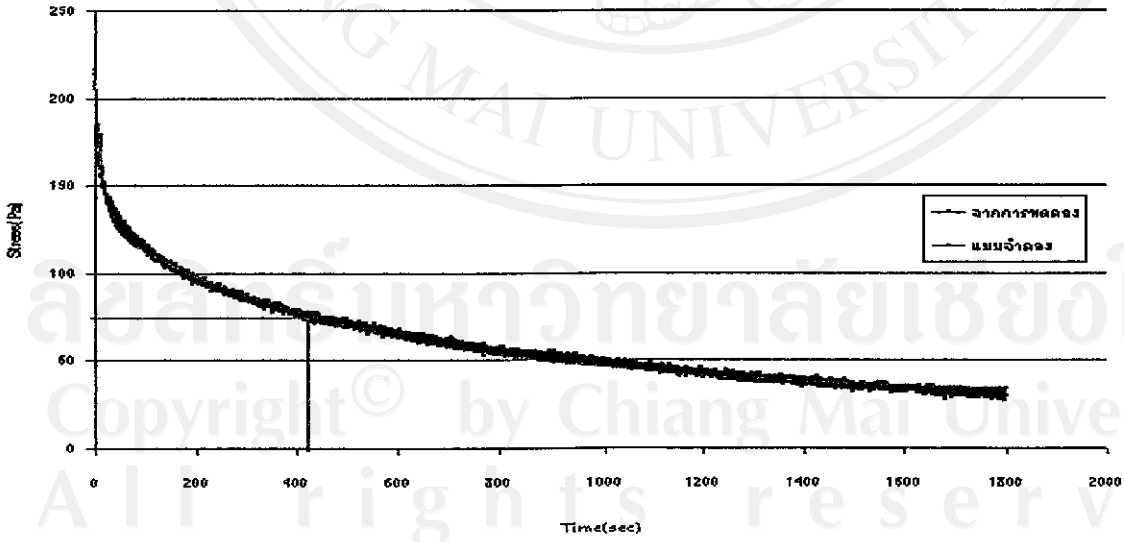
$$\sigma(t) = 53.29 + (101.8)\exp\left[\frac{-t}{(12)}\right] + (17.98)\exp\left[\frac{-t}{(49.5)}\right] + (96.21)\exp\left[\frac{-t}{(544.5)}\right]$$



รูปที่ ง.16 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 15

หน่วยทดลองที่ 16 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 403 sec

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

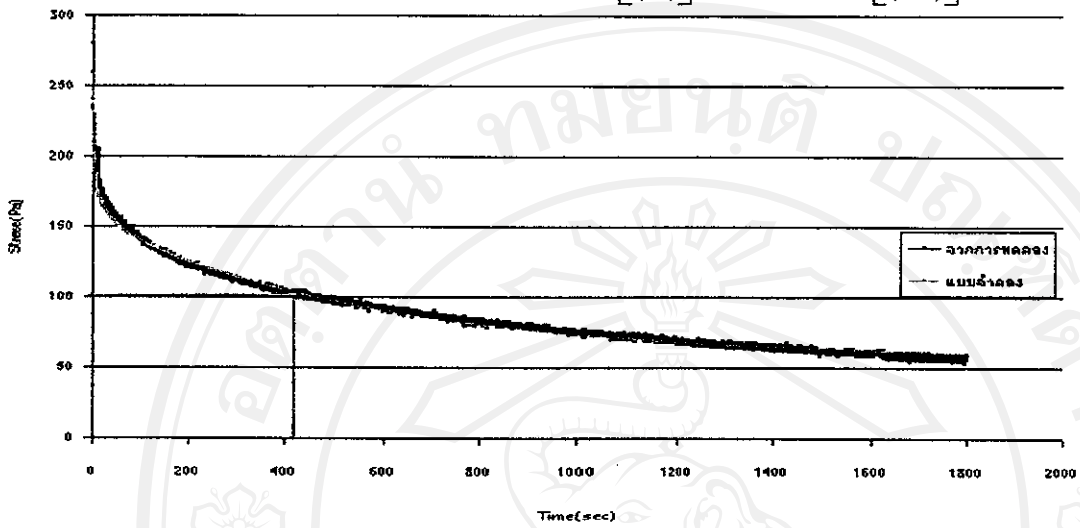


รูปที่ ง.17 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน่วยทดลองที่ 17 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 401 sec

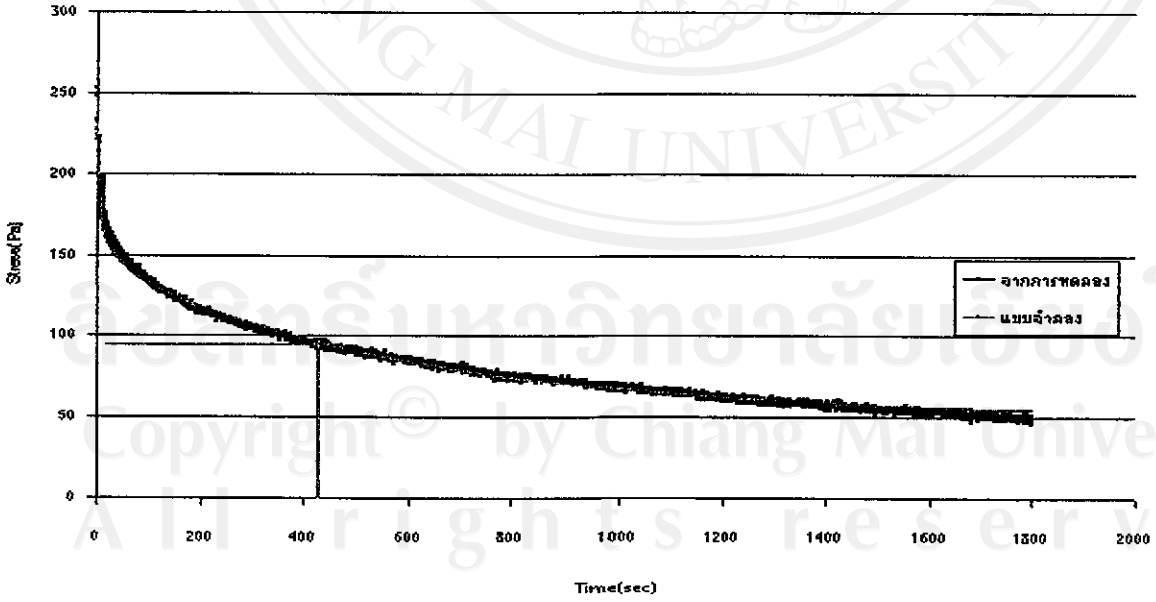
$$\sigma(t) = 56.14 + (99.91)\exp\left[\frac{-t}{(3.25)}\right] + (26.21)\exp\left[\frac{-t}{(35)}\right] + (97.67)\exp\left[\frac{-t}{(572)}\right]$$



รูปที่ ง.18 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 17

หน่วยทดลองที่ 18 เวลาการพักความเค้น มีค่าเท่ากับ 415 sec

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



รูปที่ ง.19 กราฟเปรียบเทียบการพักความเค้นหน่วยทดลองที่ 18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 5 : อาหารปลอดภัย พัฒนาไทยสู่ครัวโลก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป เสริมโปรตีนถั่วเหลือง ชนิดโปรตีนไอโซเลต, กลูเตน และโซเดี่ยมไตรโฟลีฟอสเฟต

Viscoelastic Properties of Restructure Ostrich Meat Added Soy Protein Isolate, Gluten and Sodium Tripolyphosphate

อรุณี อภิชาติสรางกูร, วสาวี พิชัย และ ธวัธชัย ศุภวิทิตพัฒนา
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โทรศัพท์ 053-948244 โทรสาร 053-948245

Abstract

Restructured ostrich meat which were added two types of binding agent, Soy protein isolate (SPI) and Gluten 0 – 5 % and Sodiumt ripolyphosphate (STPP) 0 – 0.2 % were produced and viscoelastic characteristic by stress relaxation. It was found that increasing gluten and SPI gave rise to increase equilibrium stress of the product. Also the interaction between SPI and STPP could increase their gel properties

บทคัดย่อ

การผลิตเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปโดยการเติมสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะ 2 ชนิด คือ โปรตีนไอโซเลต (SPI) และกลูเตน (Gluten) ในระดับ 0 – 5 % และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) ในช่วง 0 – 0.2 % วัดสมบัติวิสโคอีลาสติก (Stress relaxation) ของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป จากการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณ กลูเตน และ SPI มากขึ้นจะทำให้ค่า Equilibrium stress เพิ่มขึ้น แสดงว่าเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปมีสมบัติการยืดหยุ่น (Elastic) เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่า อันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP มีผลในการเพิ่มค่าความแข็งของเจล (Gel strength)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

คำนำ

ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปทั่วไป มักพบปัญหา โครงสร้างของกล้ามเนื้อมีแรงยึดเกาะน้อยและแยกจากกันระหว่างหั่น จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูปไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ทั้งลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และสีของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้ Sodium Tripolyphosphate (STPP) และสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะ 2 ชนิดคือ โปรตีนไอโซเลต (SPI) และกลูเตน (Gluten)

STPP ที่เติมใน Restructured meat จะช่วยเพิ่มค่า Water holding capacity, Cooking yield, Emulsion stability. (Beom Jun Lee และคณะ, 1998)

จากการวิจัยของ Siegel et al. (1979) พบว่า การเติมสารช่วยเพิ่มการยึดเกาะลงในผลิตภัณฑ์เนื้อขึ้นรูป Gluten จะมีแรง Adhesive มากกว่า SPI

นอกจากนี้ Tsai (1998) ศึกษาผลการใช้ SPI ความเข้มข้นร้อยละ 2 จะทำให้คุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส คือ ค่า Hardness, Gumminess, Cohesiveness, Springiness และ Chewiness ของ เนื้อวัวขึ้นรูปเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้อุณหภูมิที่สูงขึ้น

จึงได้ประยุกต์ใช้ศาสตร์ทางวิทยากระแส (Rheology) ในการอธิบายลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จะสมบูรณ์กว่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสทั่วไป ซึ่งเป็นการวัดมิติเดียว (Single point measurement)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร Texture Analyzer รุ่นTA-XT Plus (Stable Micro System,UK),

2. วิธีการทดลอง

ผันแปรปริมาณโปรตีนไอโซเลต (SPI) และกลูเตน (Gluten) ในช่วง 0-5% และปริมาณ Sodiumtripolyphosphate (STPP) ในช่วง 0 – 0.2% ในการผลิต โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. การผลิตเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป

- นำเศษเนื้อนกกระจอกเทศมาตัดแต่งเอาเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ไขมันและเอ็นออก จากนั้นหั่นให้ได้ขนาดประมาณ 1 x 1 x 1 เซนติเมตร แล้วนำไปแช่แข็งในห้องเย็นอุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- นำเนื้อที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเนื้อมานวดผสม โดยที่ความเร็ว 1 เป็นเวลา 1 นาที แล้วเติมเกลือร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ผสมที่ความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 1 นาที แล้วเติมน้ำร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เติม STPP ในช่วง 0-2% แล้วเติม SPI และ Gluten ทำการแปรผันปริมาณในช่วง 0-5%
- บรรจุเนื้อที่ผสมเสร็จแล้วลงในไส้บรรจุที่เตรียมไว้ แล้วนำไปอัดบรรจุด้วยเครื่องอัดบรรจุระบบไฮดรอลิค โดยใช้ระดับความดัน 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คงอยู่ที่ระดับความดันนี้นาน 20 นาที แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา ประมาณ 12 ชั่วโมง
- ให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือดจนอุณหภูมิใจกลางก้อนเนื้อเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 5 นาที จะได้เนื้อขึ้นรูปที่พร้อมจะนำไปวิเคราะห์

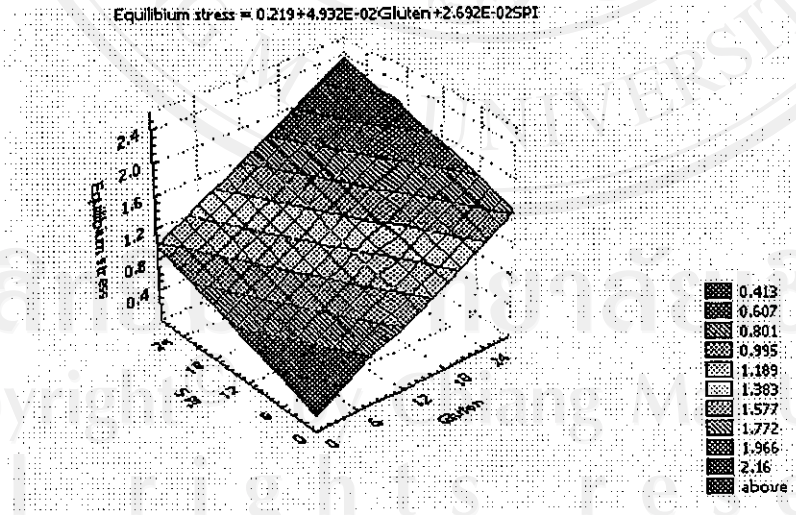
2. ศึกษาสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป

นำเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่ได้จากข้อ 1 มาวิเคราะห์การพักความเค้น (Stress relaxation time) ที่ความเร็ว 0.1mm/sec, ใช้ผลิตภัณฑ์หนา 15 mm, ความเครียด 3%, เวลา 1800 วินาที

3. ศึกษาค่าความแข็งของเจล (Gel strength)

หาค่า Gel strength ของผลิตภัณฑ์ โดยวิธี Compression ใช้เครื่อง Texture Analyser TA-XT Plus (Stable Micro Systems, UK) ที่ความเร็ว 0.1mm/sec, ใช้ผลิตภัณฑ์หนา 15 mm, ระยะทางที่กด 10 mm

ผลการทดลองและวิจารณ์

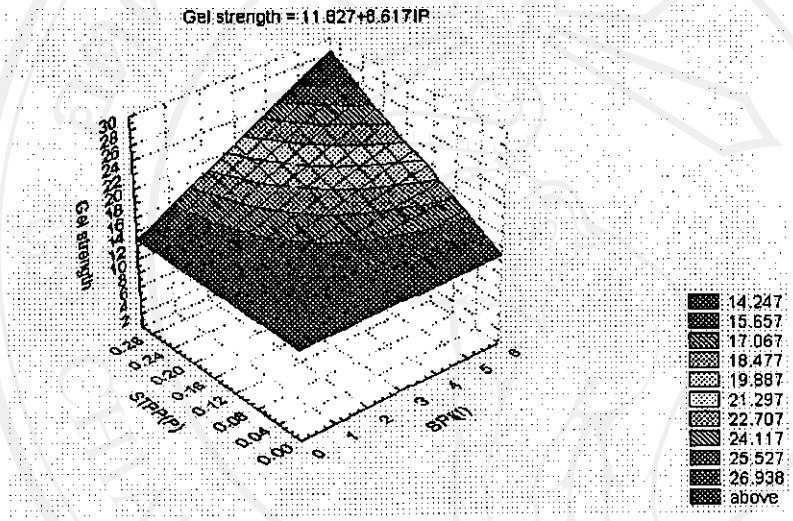


รูปที่ 1 : แสดงผลการเติม SPI และ Gluten ที่มีต่อค่า Equilibrium stress

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระดับการใช้โปรตีนไอโซเลต (SPI) และกลูเตน (Gluten) แปรผันในช่วง 0-5% และ Sodiumtripolyphosphate (STPP) ในช่วง 0 – 0.2% ในการผลิตเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป พบว่าเมื่อเพิ่มระดับการใช้ SPI และ Gluten มีผลทำให้ค่าความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium stress) เพิ่มขึ้น

สมการจากรูปที่ 1 คือ Equilibrium stress = 0.219 + 4.932E-02Gluten + 2.692E-02Isolate ค่า R^2 = 0.808 การเติม SPI และ Gluten มีผลตอบสนองทางบวกต่อค่า Equilibrium stress ซึ่งมีผลทำให้เศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปยึดเกาะกันได้ดียิ่งขึ้น (A.Apichartsrangkoon ,2002) ค่า Equilibrium stress มีค่าความเชื่อมั่น 80.8 % ส่วนที่เหลือมาจากปัจจัยอื่น ๆ



รูปที่ 2 : แสดงผลการเติม SPI และ STPP ที่มีต่อ Gel strength

รูปที่ 2 แสดงผลการทดลอง Gel strength พบว่าอันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP มีผลต่อค่า Gel strength ในทางบวก ทำให้ค่าความแข็งของเจล (Gel trength) เพิ่มขึ้น (A.Apichartsrangkoon and D.A.Ledward, 2002) ค่า Gel strength มีค่าความเชื่อมั่น 61.6 % ส่วนที่เหลือมาจากปัจจัยอื่น ๆ

สมการที่ได้จากรูปที่ 2 คือ Gel strength = 11.827 + 8.617IP ค่า R^2 = 0.616

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสมบัติวิสโคอิลาสติกของเศษชิ้นเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูป โดยใช้ดัชนีบ่งชี้ คือ ค่าความเค้นสมดุลย์ (Equilibrium stress) พบว่าการเติม SPI และ Gluten มีผลทำให้ค่า Equilibrium stress เพิ่มขึ้น

อันตรกิริยาระหว่าง SPI กับ STPP มีผลทำให้ Gel strength เพิ่มขึ้น

ดังนั้นผลิตภัณฑ์เศษเนื้อนกกระจอกเทศขึ้นรูปที่มีการเสริมยึดเกาะ และสารช่วยอุ้มน้ำ จะช่วยเพิ่มมูลค่าแก่วัตถุดิบอละสามารถใช้เป็นวัสดุเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์แปรรูปต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] A.Apichartsrangkoon and D.A.Ledward. (2002). *Dynamic viscoelastic behaviour of high pressure treated gluten-soy mixtures*. Food Chemistry, 77,317-323

[2] A.Apichartsrangkoon. (2002). *Dynamic Viscoelastic Properties of Heated Gluten/Soy Protein Gels*. Journal of Food Science, 67(2),653-657

[3] Beom Jun Lee, Deloy G. Hendricks, & Daren P. Cornforth. (1998). *Effect of Sodium Phytate, Sodium Pyrophosphate and Sodium Tripolyphosphate on Physico-chemical Characteristics of Restructured Beef.* Journal of Meat Science, 50(3), 273-283

[4] Siegel, D.R. and G.R. Schmidt. (1979). *Crude Myosin Fractions as Meat Binders.* Journal of Food Science. 44:1129-1131

[5] Tsai, S.J., N. Unklesbay, K. Unklesbay and A. Clarke. (1998). *Textural Properties of Restructured Beef Products with Five Binders at Four Isothermal Temperatures.* Journal of Food Quality. 21(5) : 397 – 410.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาววสาวี พิชัย
วัน เดือน ปี	8 มกราคม 2522
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมปลายโรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2544
ประสบการณ์ ปี 2545-2546	ผู้ช่วยตรวจประเมินโครงการยกระดับสถานประกอบการ ผลิตอาหาร (GMP) สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved