สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงสมบัติด้านการเป็นตัวประสานของเจลาตินที่ได้จากการไฮโดรไลซิสเศษหนัง โดยศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสกัด เวลาที่ใช้ในการสกัด ชนิดของหนัง และอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งกับน้ำ โดยพิจารณาจากความเข้มข้นโปรตีนของเจลาตินที่สกัดได้ ความหนืด การสลายตัวของเศษหนัง และ ค่าของแข็งที่ละลาย (Total dissolved solid)

4.1 ปริมาณโปรตีนของสารละลายเจลาตินที่สกัดได้

4.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด

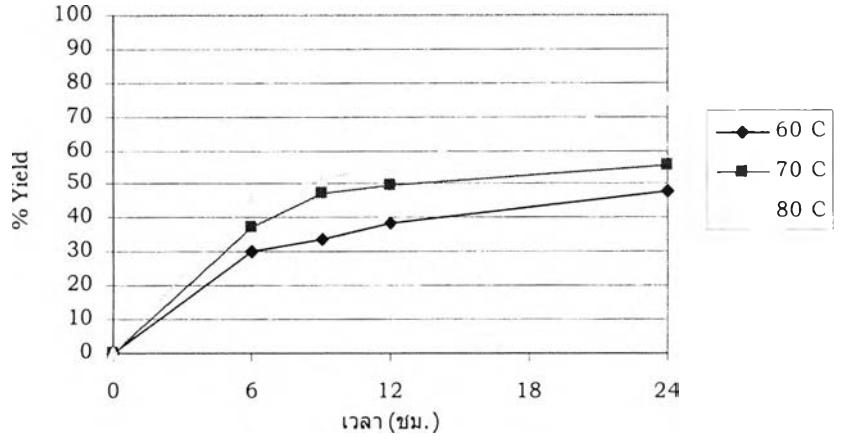
ในการทดลองส่วนของการสกัดเจลาติน โดยศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด จะทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และเก็บตัวอย่างที่เวลา 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง การหาความเข้มข้นของเจลาตินที่สกัดได้ ทำโดยวิธีของ Lowry แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณของเจลาตินที่สกัดได้ในรูปของ %Yield โดยที่

$$\%Yield = \frac{\text{ความเข้มข้นของเจลาติน*ปริมาตรของสารละลาย*100\%}}{\text{น้ำหนักของเศษหนังแห้ง}}$$

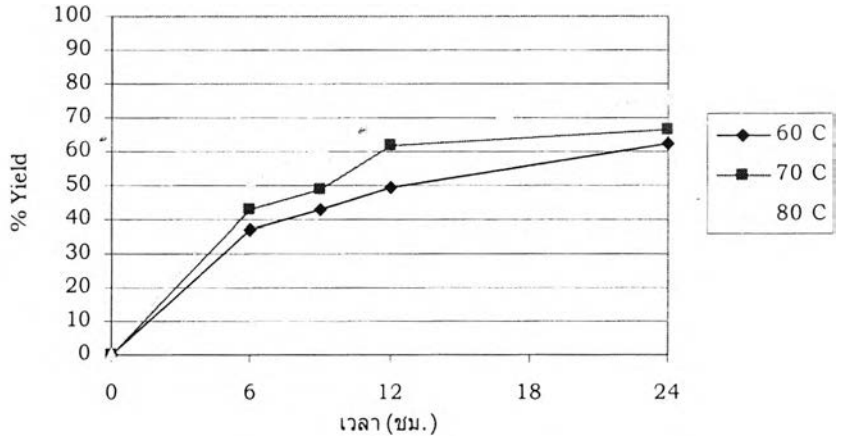
ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเจลาติน พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดจะมีผลทำให้ความเข้มข้นของเจลาตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในส่วนของหนัง A ฟอก (รูปที่ 4.1) และ C (รูปที่ 4.2) ในทุกอัตราส่วนที่ใช้ในการสกัด

ทั้งนี้เนื่องจากในการไฮโดรไลซิสนั้น โมเลกุลน้ำจะแพร่เข้าสู่โครงสร้างโมเลกุลของหนังโดย H^+ และ OH^- จะเข้าไปตัดพันธะเปปไทด์ โดย H^+ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโน ส่วน OH^- จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิล (Hansen และคณะ, 1992) เป็นผลให้พันธะเปปไทด์ถูกทำลาย สายโซ่ของคอลลาเจนสั้นลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำไปตัดพันธะเปปไทด์ได้เร็วขึ้น สายโซ่ที่ถูกตัดละลายลงไปในน้ำได้มากขึ้น เมื่อนำสารละลายที่ได้มาทำการวัดปริมาณโปรตีนจึงได้ค่าที่สูงกว่าการสกัดที่อุณหภูมิต่ำกว่า ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซิสพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลให้ค่าความเข้มข้นโปรตีนที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเวลาในการสกัดที่สูงขึ้นมีผลให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดมากขึ้น

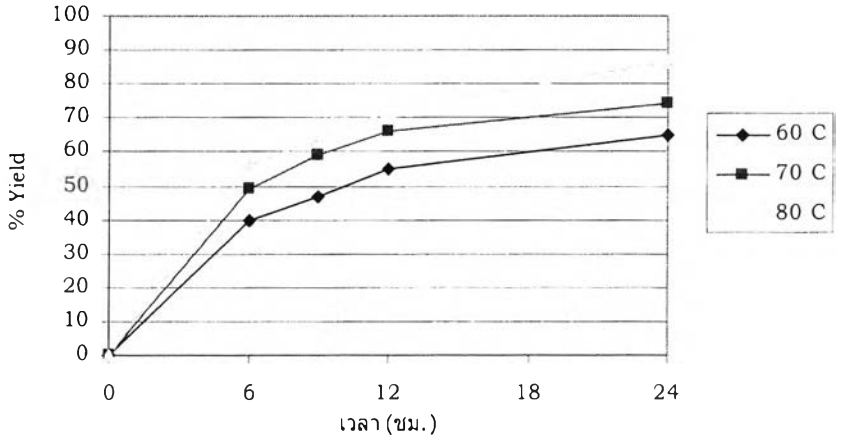
(ก)



(ข)

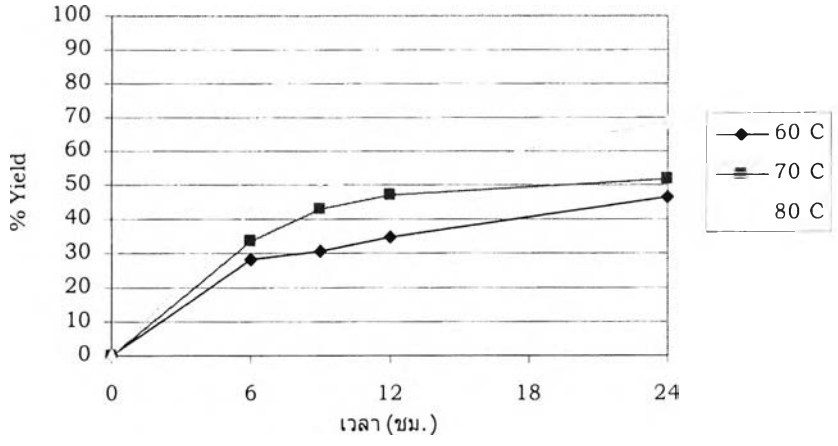


(ค)

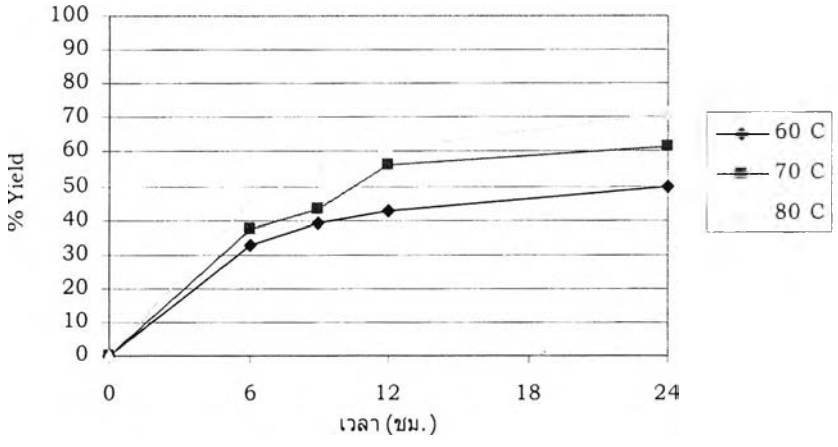


รูปที่ 4.1 %Yield ของเจลาตินที่สกัดได้จากหนังซนิด A ฟอก ที่อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำเท่ากับ (ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

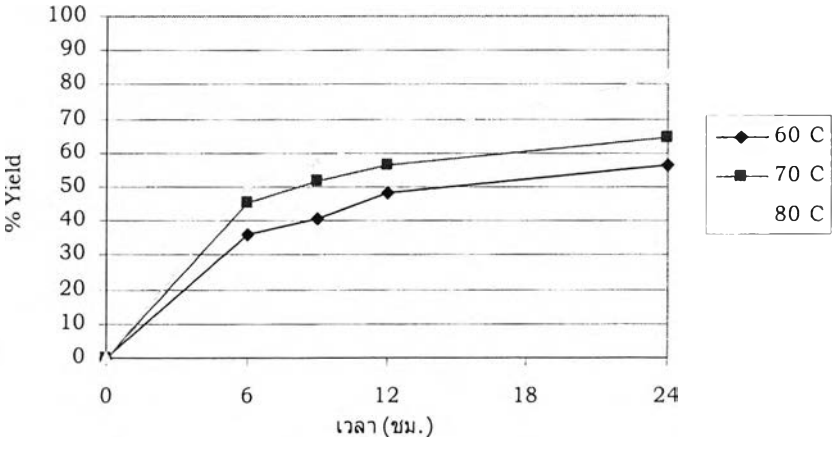
(ก)



(ข)



(ค)

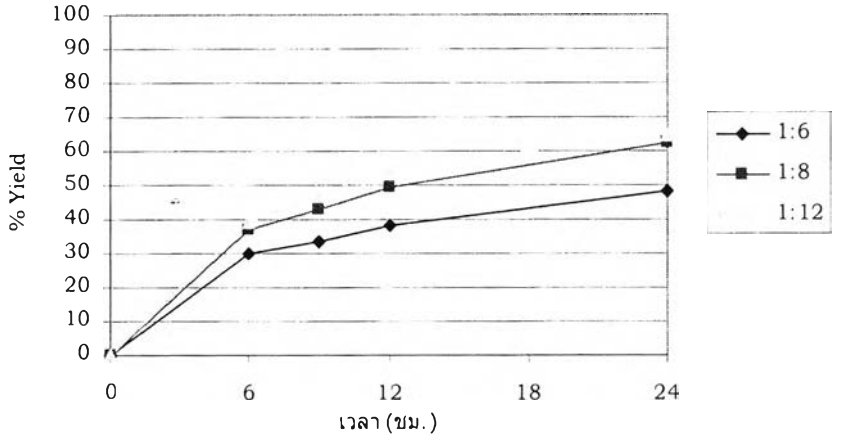


รูปที่ 4.2 % Yieldของเจลาตินที่สกัดได้จากหนังชนิด C ที่อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำเท่ากับ (ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

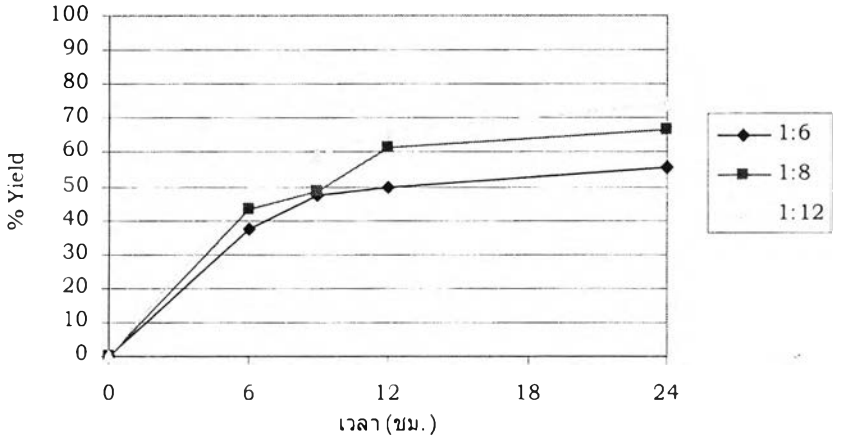
4.1.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำ

ในการสกัดเจลาตินทำการกำหนดอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำในการทดลองอยู่ที่ 1:6, 1:8 และ 1:12 โดยน้ำหนัก โดยกำหนดน้ำหนักรวมในแต่ละการสกัดอยู่ที่ 500 กรัม ดังนั้นที่อัตราส่วนต่างกันปริมาณของเศษหนังเริ่มต้นจึงมีค่าต่างกัน โดยที่อัตราส่วน 1:6 มีค่าน้ำหนักเริ่มต้นของเศษหนังอยู่ที่ 71.429 กรัม และที่อัตราส่วน 1:8 และ 1:12 มีน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 55.556 กรัม และ 38.462 กรัม ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนจะวัดจากสารละลายที่สกัดได้ที่สภาวะต่าง ๆกัน จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าที่อัตราส่วน 1:12 สัดส่วนของโปรตีนที่สกัดได้สูงที่สุดสำหรับทั้งหนัง A ฟอกละหนัง C เนื่องจากที่อัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณน้ำในระบบสูงที่สุด เป็นผลให้ความเข้มข้นของเจลาตินในระบบต่ำ ซึ่งช่วยให้การแพร่ของเจลาตินออกจากชิ้นหนังดีขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงสูงขึ้น

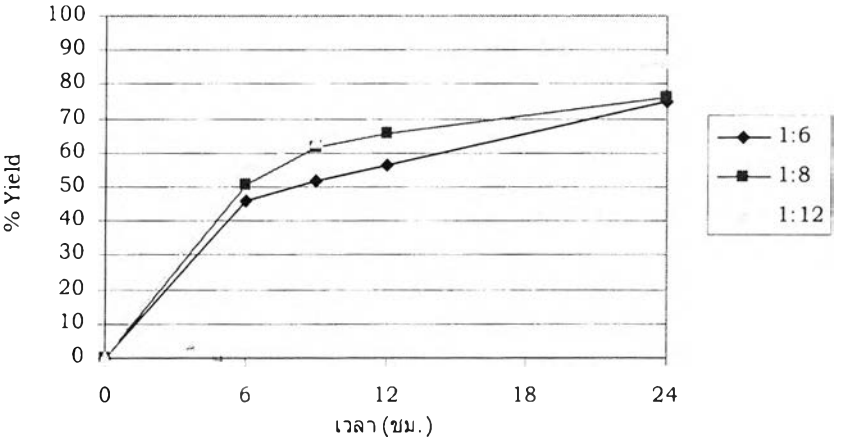
(ก)



(ข)

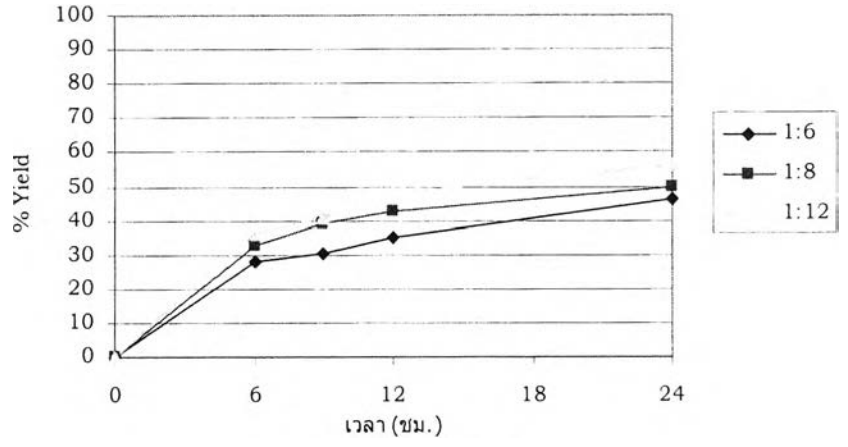


(ค)

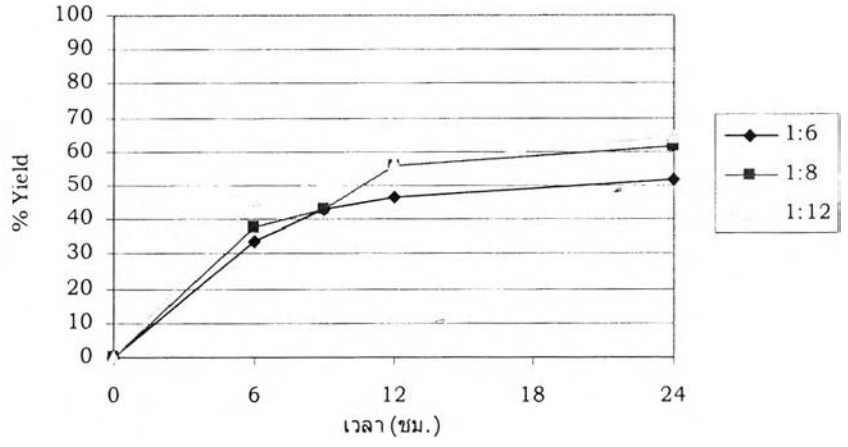


รูปที่ 4.3 %Yield ของหนังชนิด A ฟอก ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70 °C และ (ค) 80 °C

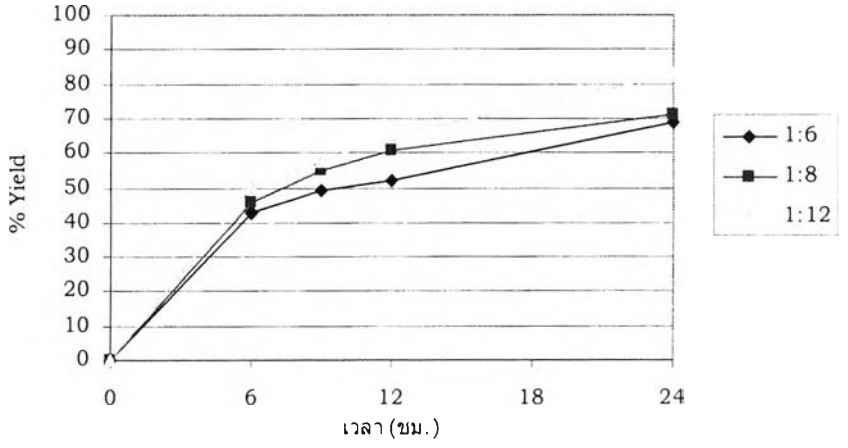
(ก)



(ข)



(ค)



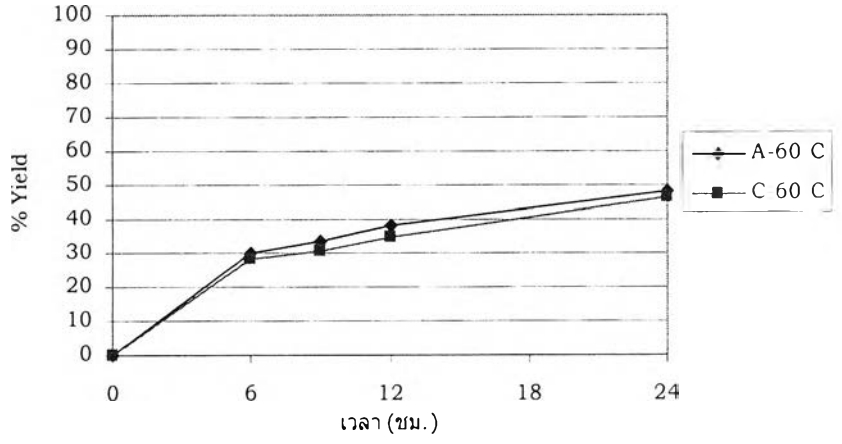
รูปที่ 4.4 %Yield ของหนังชนิด C ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

4.1.3 ผลจากชนิดของหนัง

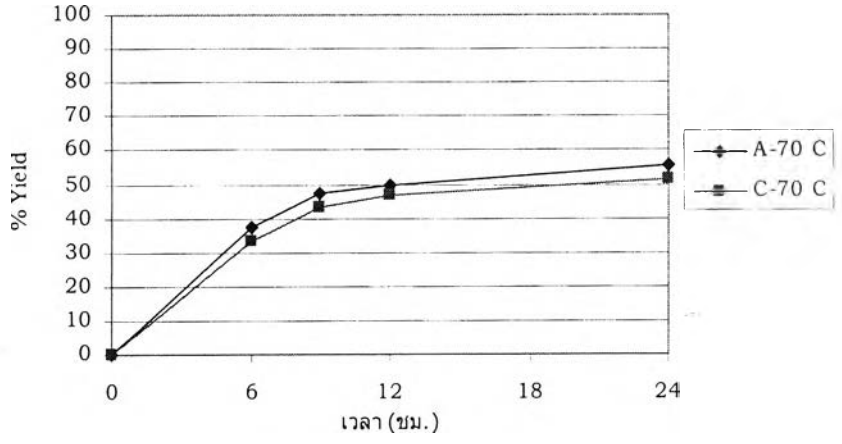
ชนิดของหนังที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิด A ฟอกและ ชนิด C โดยหนังชนิด A ฟอกเป็นหนังที่ผ่านกระบวนการฟอกเพื่อกำจัดรากขนและชั้นของหนังในส่วนของ Epidermis ออก จากนั้นจึงนำมาทำการแช่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อทำการฟอกสีหนัง ส่วนหนังชนิด C เป็นเศษหนังส่วนปลายซึ่งเป็นหนังที่มีการปนเปื้อนของไขมันสูง

รูปที่ 4.5 ถึง 4.7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ของหนังเกรด A ฟอกและหนัง C ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6, 1:8 และ 1:12 ตามลำดับ พบว่าปริมาณโปรตีนของเจลาตินที่สกัดได้ของหนัง A ฟอกมีค่าสูงกว่าหนัง C เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนในการผสม เวลา และอุณหภูมิในการสกัดเดียวกัน เนื่องจากหนังเกรด A ฟอก เป็นหนังที่ผ่านกระบวนการฟอกมากกว่า โดยขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการฟอกเพื่อกำจัดขนและไขมันตามชั้นหนังออก กระบวนการฟอกขั้นต่อมาคือการฟอกเพื่อกัดสีของหนังให้เป็นสีขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจากการผ่านกระบวนการฟอกทั้ง 2 ขั้นตอน ทำให้หนัง A ฟอก มีโครงสร้างของสายโซ่โปรตีนที่เปิดมากกว่าเมื่อเทียบกับหนัง C ดังนั้นเมื่อนำมาทำการสกัดด้วยน้ำจึงพบว่าปริมาณของโปรตีนที่สกัดได้จากหนัง A ฟอกมีค่าสูงกว่าหนัง C

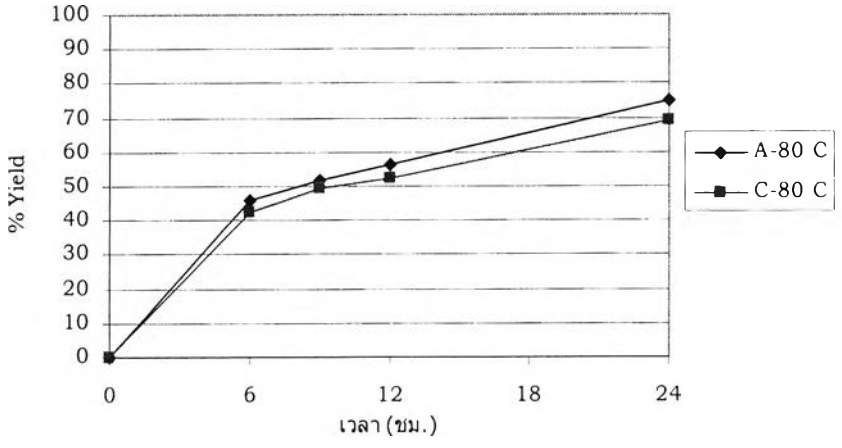
(ก)



(ข)

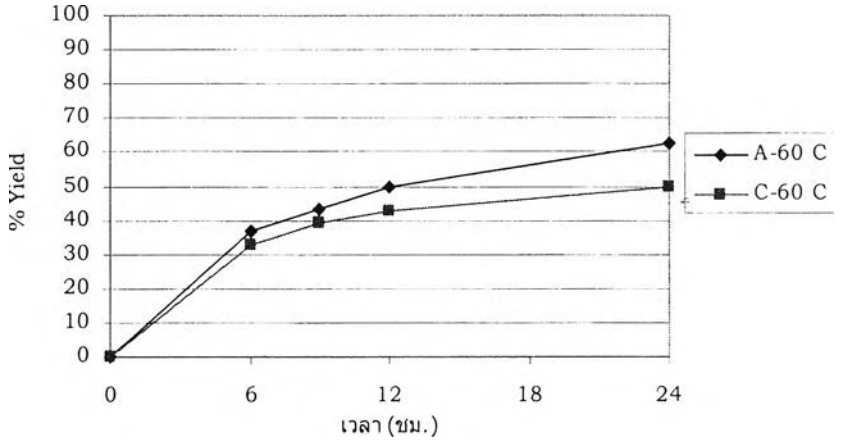


(ค)

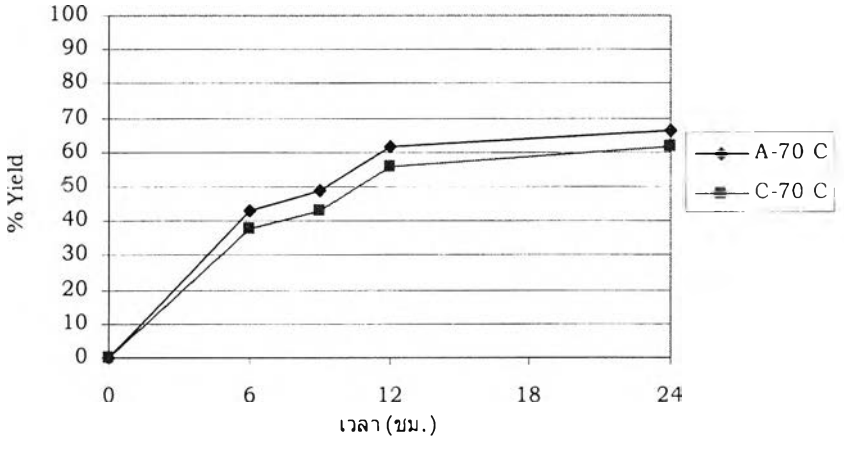


รูปที่ 4.5 % Yieldของเจลาตินที่สกัดได้ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

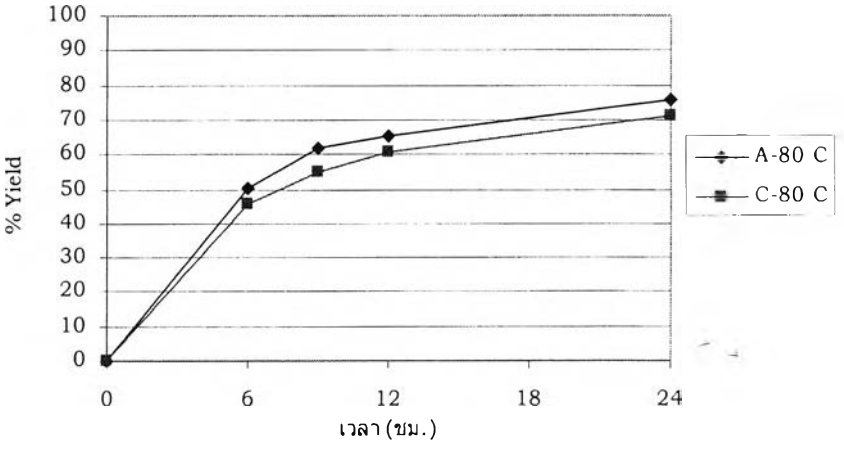
(ก)



(ข)

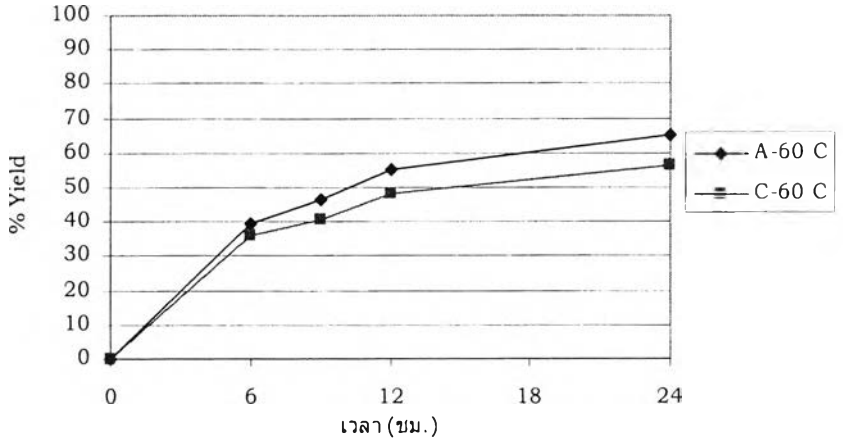


(ค)

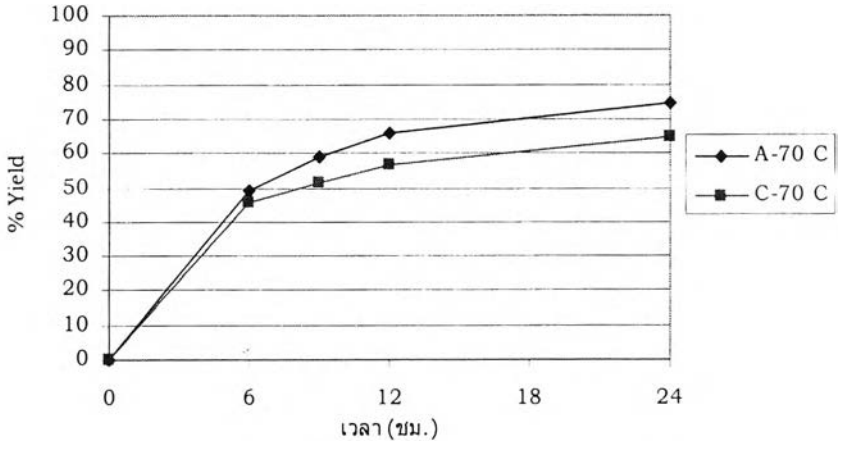


รูปที่ 4.6 %Yield ของเจลาตินที่สกัดได้ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:8 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

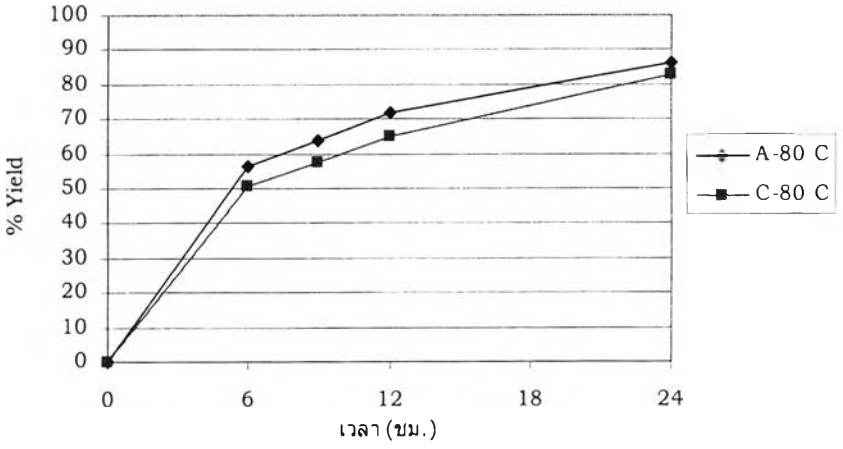
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.7 %Yield ของเจลาตินที่สกัดได้ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:12 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน

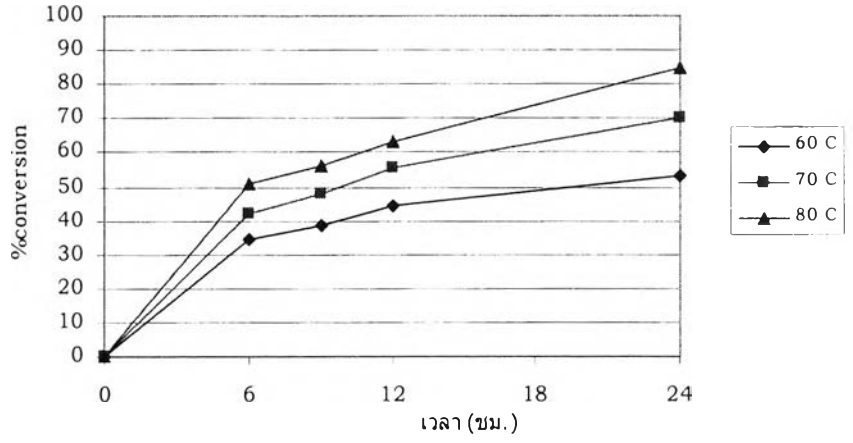
4.2.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด

การสกัดเจลาตินในแต่ละการทดลองจะควบคุมน้ำหนักรวมในแต่ละการทดลองอยู่ที่ 500 กรัม ดังนั้นที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ต่างกันนั้น น้ำหนักของเศษหนังแห้งเริ่มต้นในการสกัดจะมีค่าต่างกัน ในส่วนของการหาการสลายตัวของเศษหนังนั้น จึงนำมาทำการคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน โดย

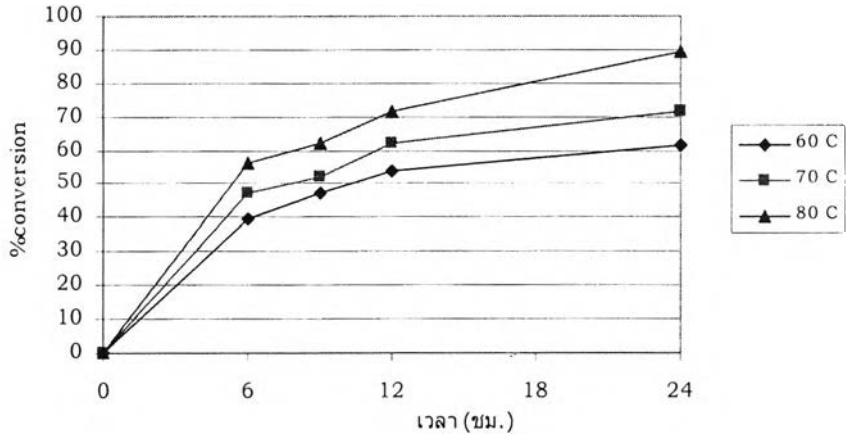
$$\%\text{conversion} = \frac{(\text{น้ำหนักแห้งของเศษหนังเริ่มต้น-น้ำหนักเศษหนังแห้งที่เหลือ})*100\%}{\text{น้ำหนักแห้งของเศษหนังเริ่มต้น}}$$

รูปที่ 4.8 ถึง 4.9 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6, 1:8 และ 1:12 ของหนังเกรด A ฟอกและ C ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดจะมีผลให้เศษหนังเกิดการสลายตัวได้มากยิ่งขึ้น (Kim และคณะ, 1994) ซึ่งสัมพันธ์กับการไฮโดรไลซิสของคอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษหนัง เกิดผลิตภัณฑ์เจลาตินดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1

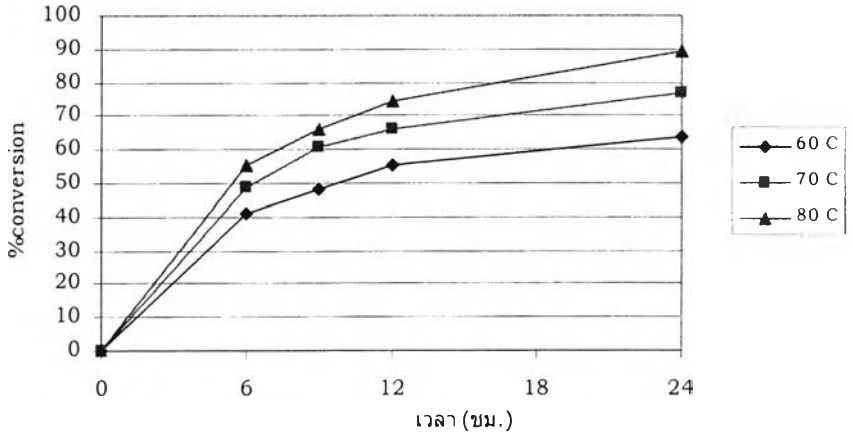
(ก)



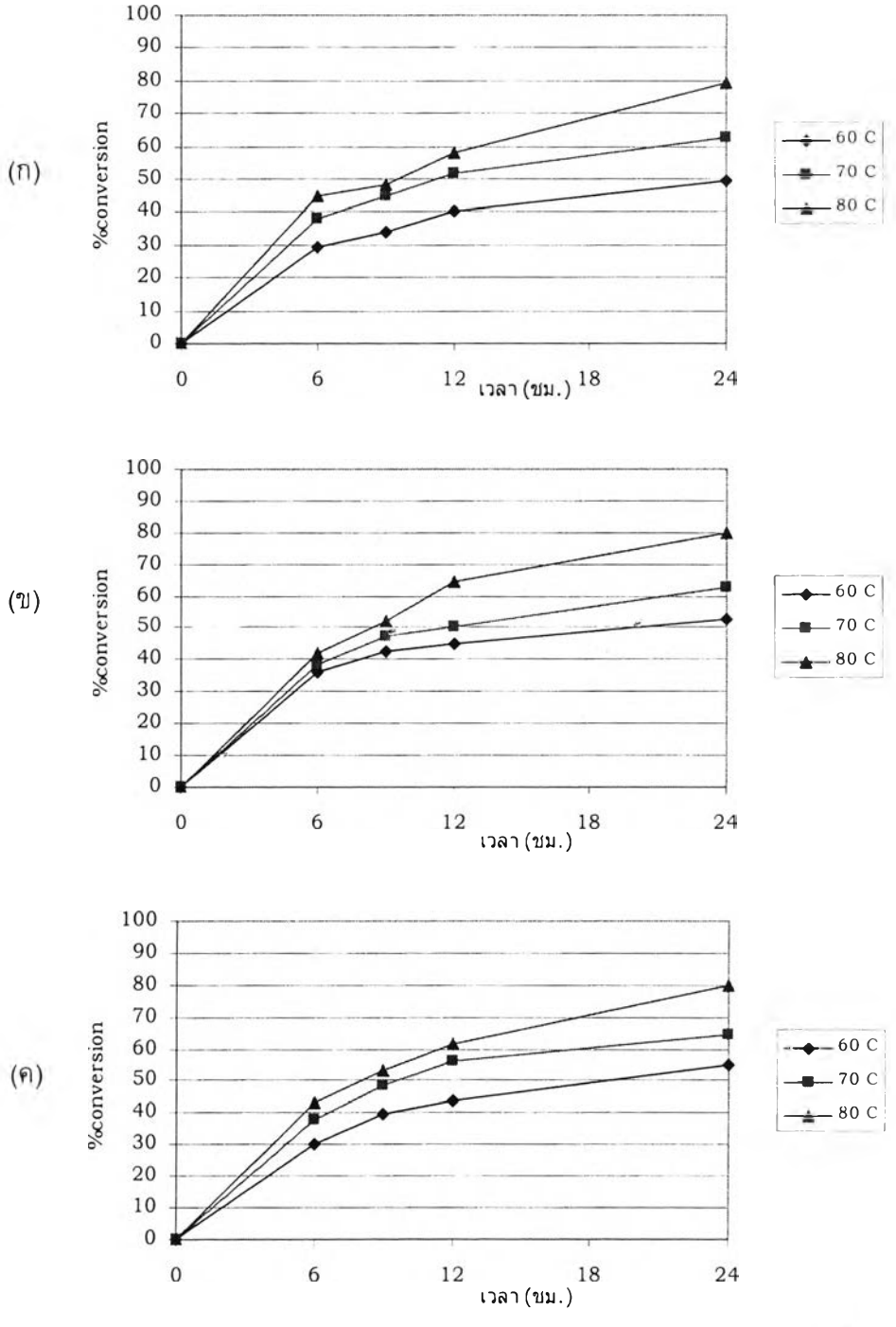
(ข)



(ค)



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของหนัง A ฟอกที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ (ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

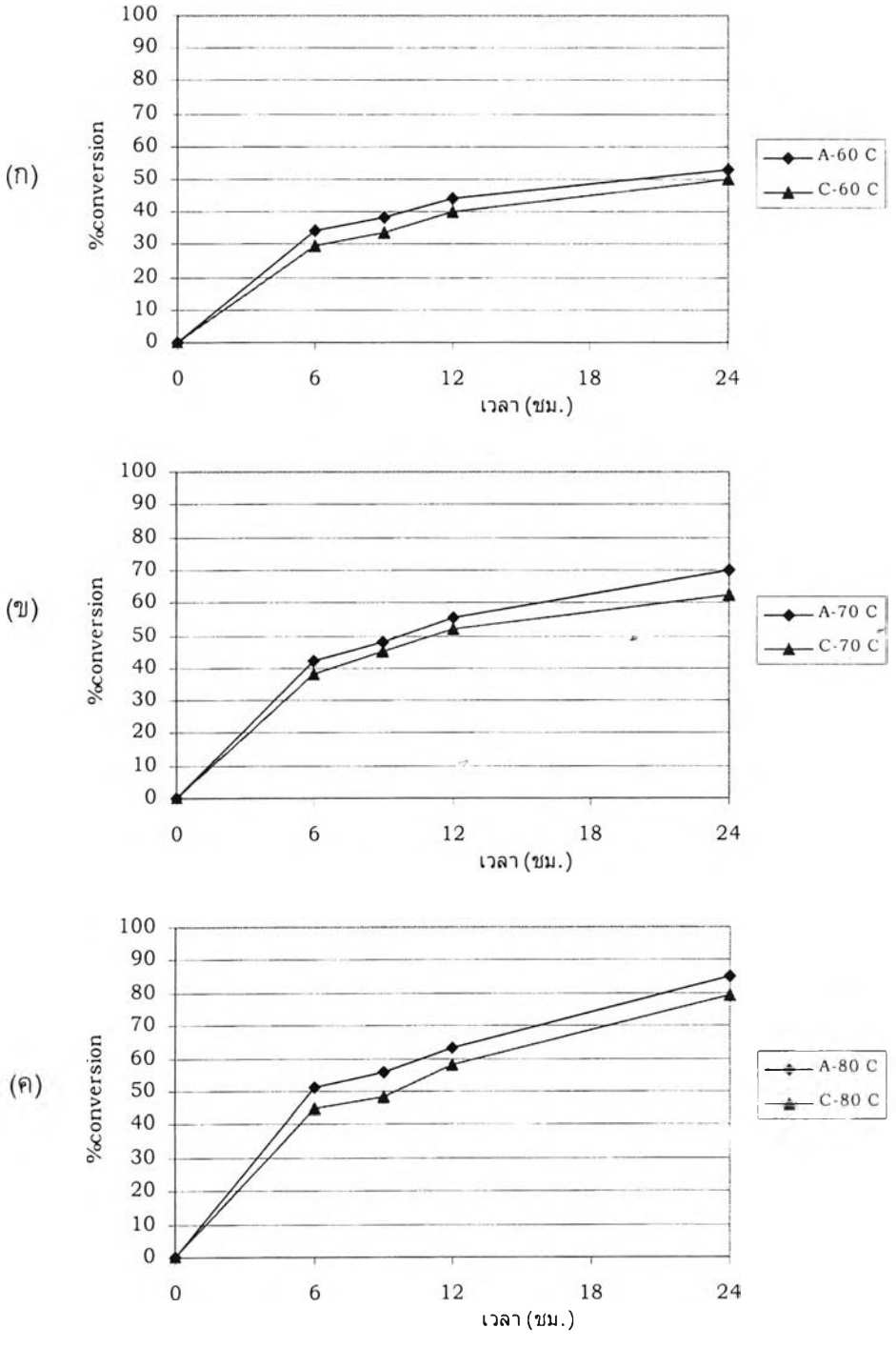


รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของหนัง C ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ (ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

I 25194501

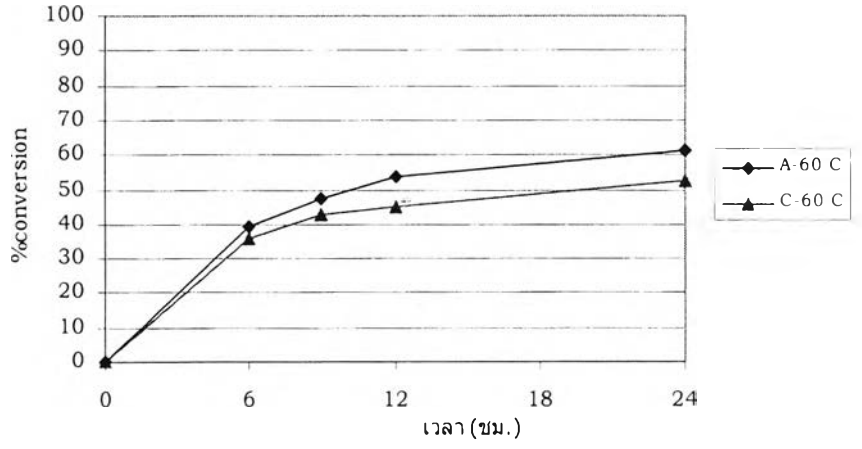
4.2.2 ผลจากชนิดของหนัง

ชนิดของหนังที่ใช้ในการทดลองมีสองชนิดคือ A ฟอก และ C โดยการเปรียบเทียบจะคำนวณจากเปอร์เซ็นต์ของเศษหนังที่สลายไป ณ สภาวะเดียวกัน รูปที่ 4.10 ถึง 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6, 1:8 และ 1:12 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าในทุกสภาวะค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของหนัง A ฟอกมีค่าสูงกว่าหนัง C ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักของหนังที่ถูกสกัดโดยการไฮโดรไลซิสด้วยน้ำในการศึกษานี้

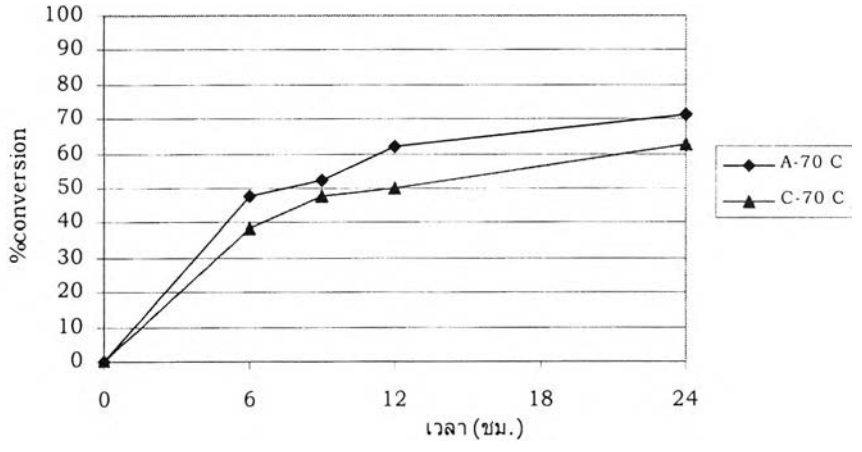


รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

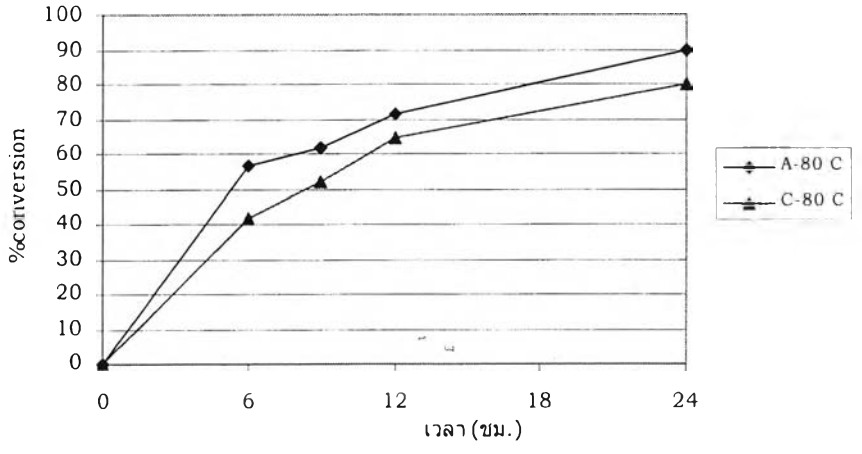
(ก)



(ข)

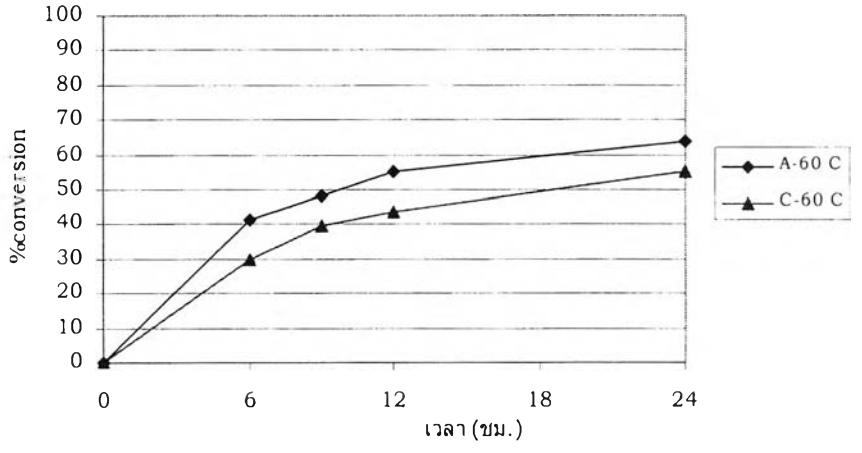


(ค)

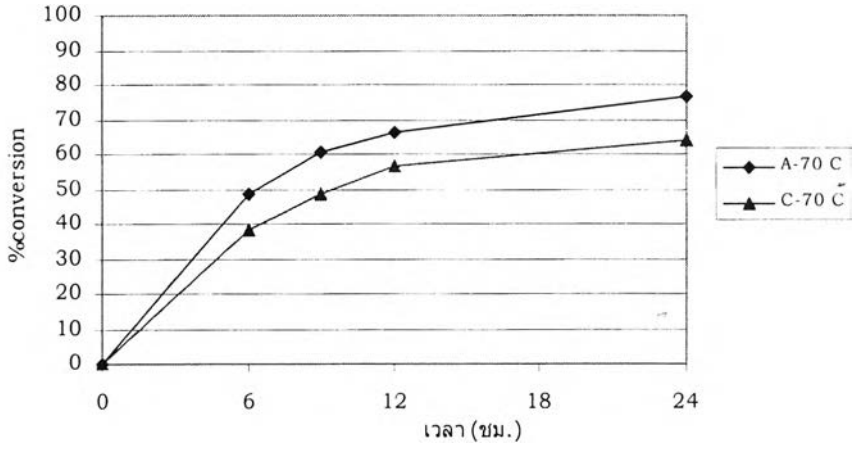


รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:8 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

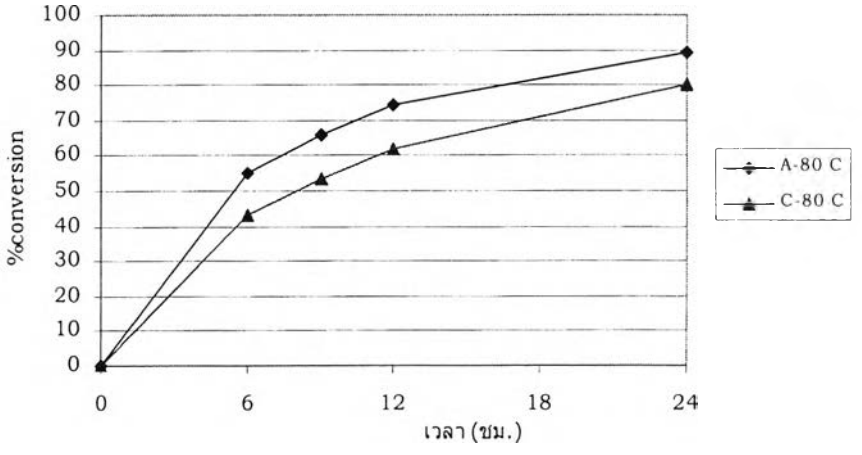
(ก)



(ข)



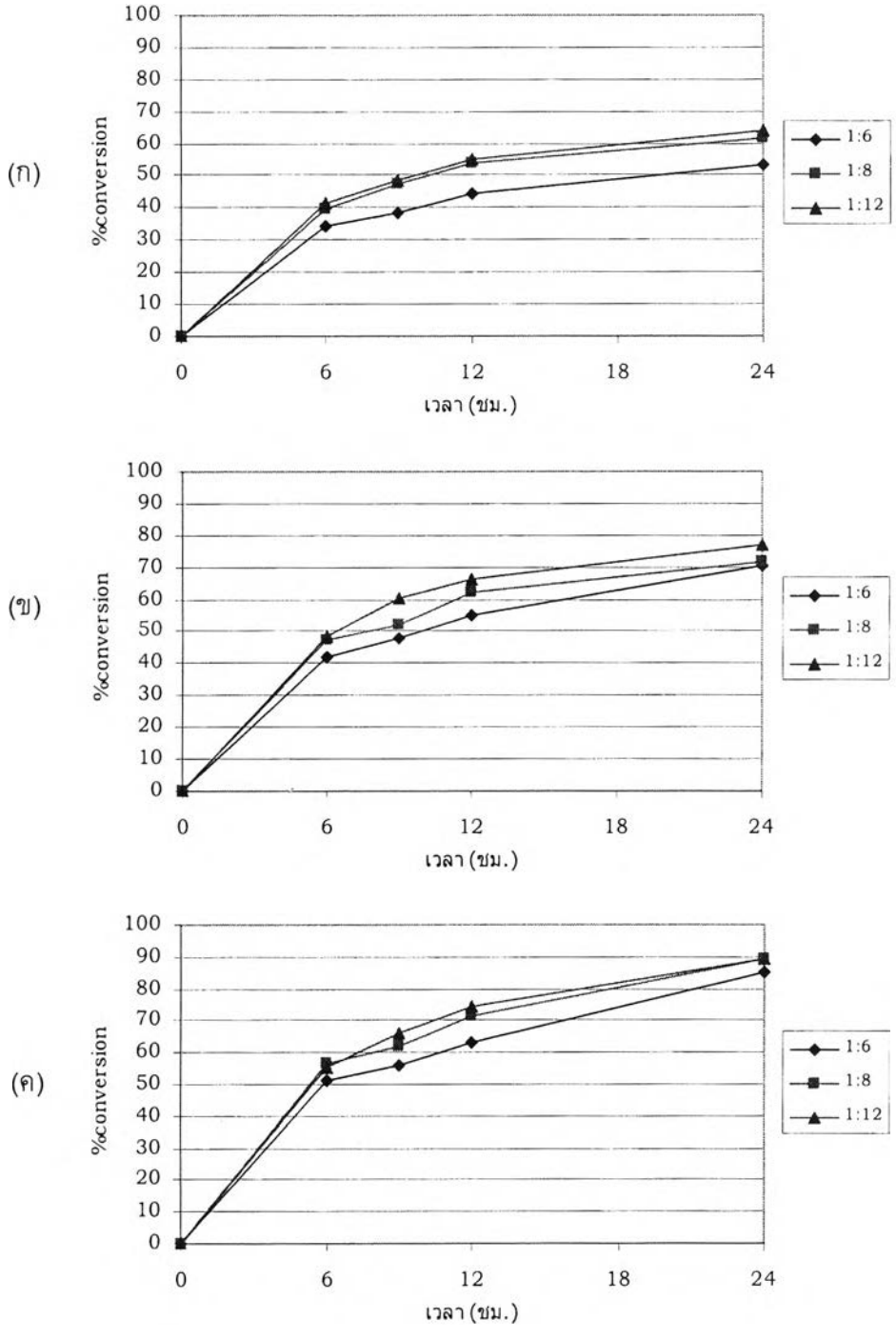
(ค)



รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:12 ณ อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

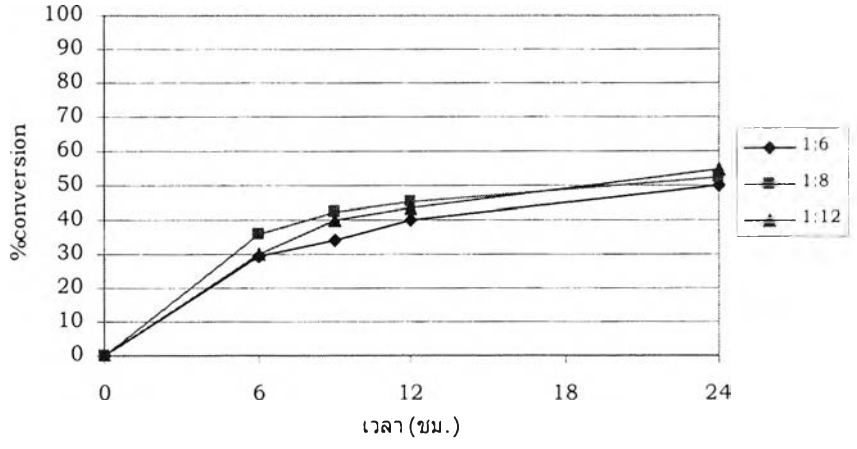
4.2.3 ผลจากอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำ

ในส่วนของหนังเกรด A ฟอกพบว่าหนังที่ถูกสกัดในสภาวะต่างๆมีค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันแตกต่างกัน โดยที่อัตราส่วน 1:12 มีค่าสูงสุด (รูป 4.13) ในส่วนของหนัง C ค่าเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันที่อัตราส่วนต่างๆมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน (รูป 4.14) ซึ่งมีความสอดคล้อง และสามารถวิเคราะห์ผลได้ในลักษณะเดียวกับปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ในหัวข้อ 4.1.2

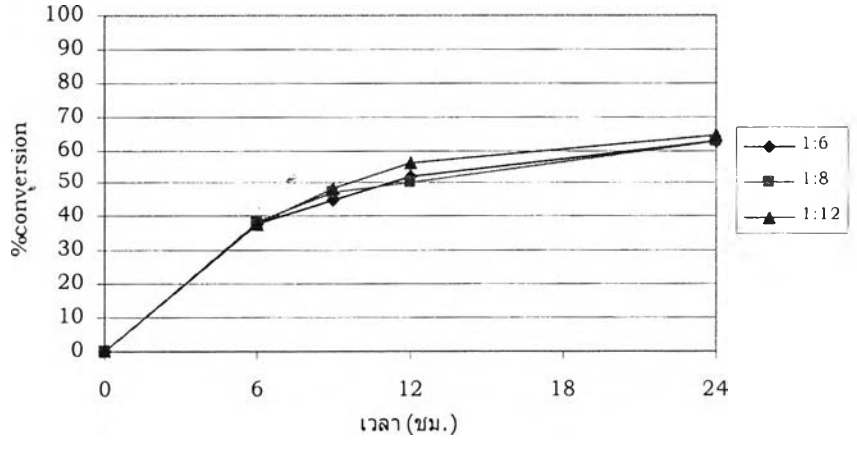


รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของหนัง A ฟอกที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

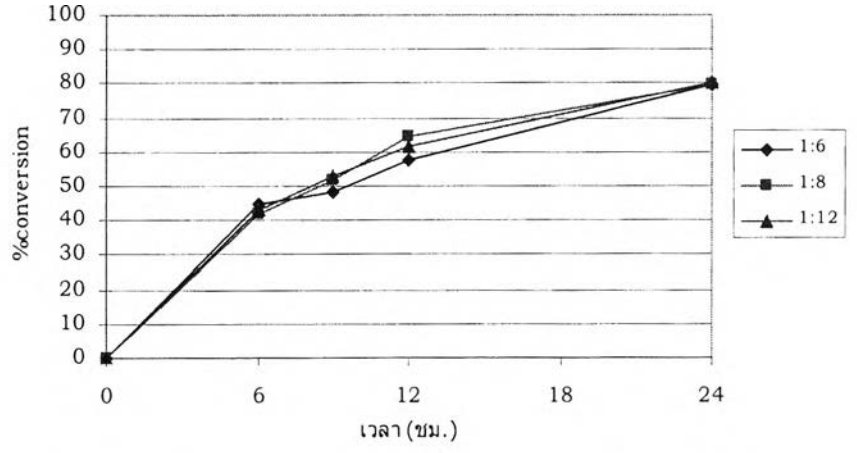
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันของหนัง C ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

4.3 ค่า TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS)

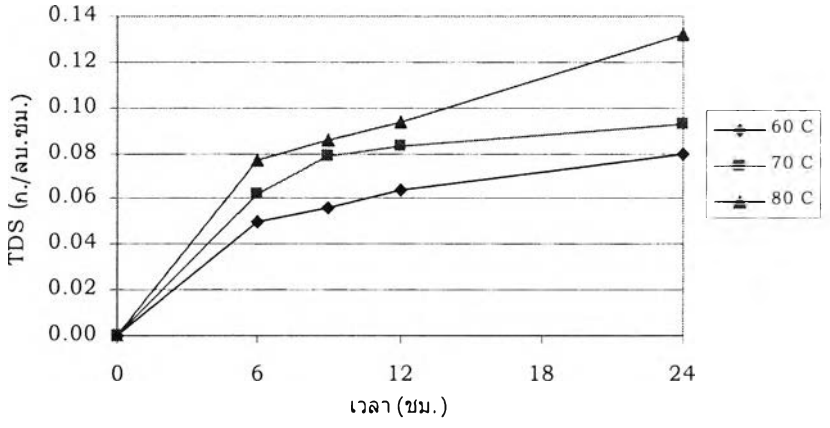
4.3.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด

การหาค่า Total dissolved solid ทำโดยการนำสารละลายเจลาตินที่ผ่านการเหวี่ยงแยกมาทำการให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำระเหยออกหมด จากนั้นนำเจลาตินของแข็งส่วนที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก (กรัม) นำมาหารด้วยปริมาตรก่อนอบ (ลบ.ซม.)

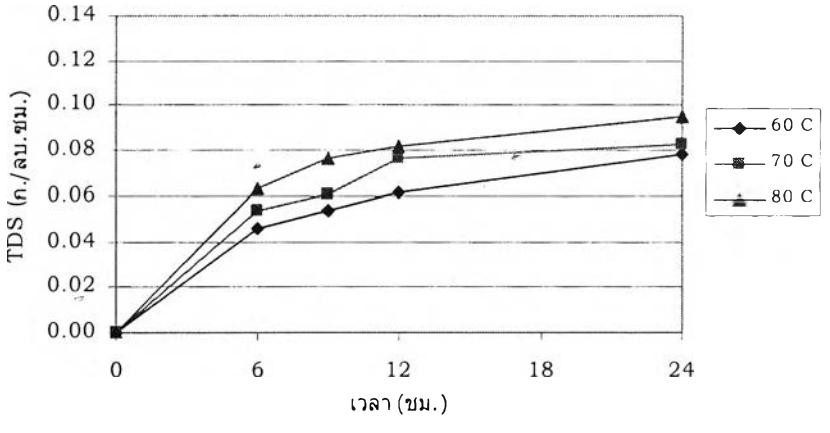
$$\text{TDS} = \frac{\text{น้ำหนักของของแข็งที่เหลือจากการอบ (ก.)}}{\text{ปริมาตรของสารละลายก่อนอบ (ลบ.ซม.)}}$$

รูปที่ 4.15 ถึง 4.16 เป็นกราฟแสดงค่า TDS ของเจลาตินที่คำนวณได้จากหนังเกรด A ฟอก และหนังเกรด C ตามลำดับ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัดจะมีผลให้การสลายตัวของเศษหนังสูงขึ้น ดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 ซึ่งการสลายตัวของเศษหนังหรือคอลลาเจนลงไปในสารละลายมากขึ้น ทำให้เมื่อนำมาทำการหาค่า TDS มีผลให้น้ำหนักของแข็งที่เหลือจากการอบมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่า TDS สูงขึ้น

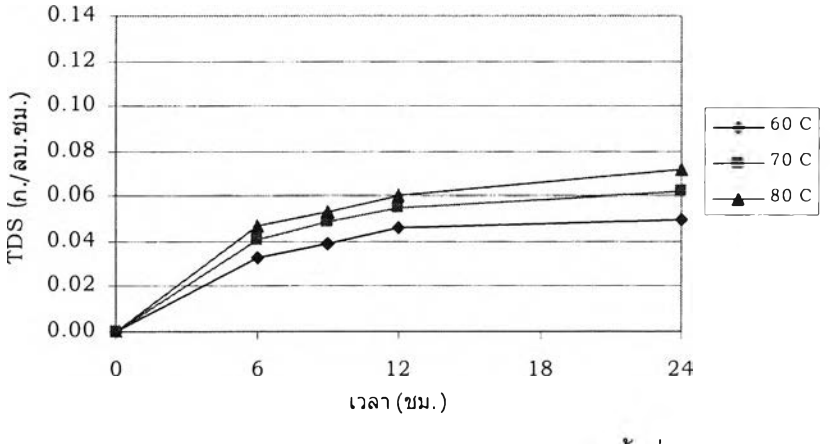
(ก)



(ข)

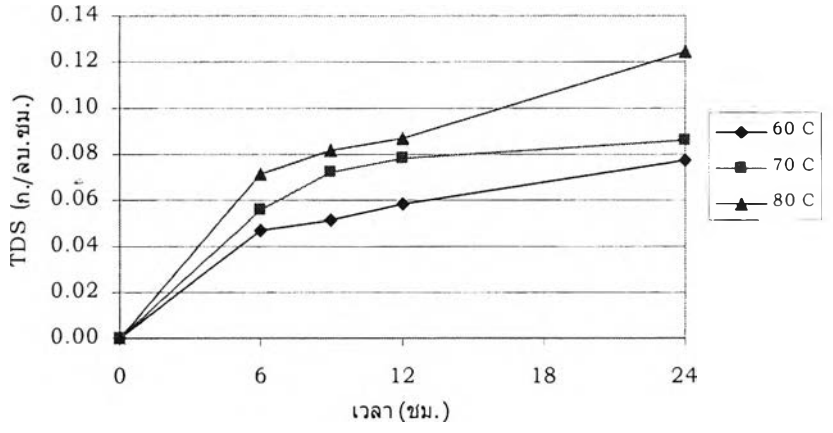


(ค)

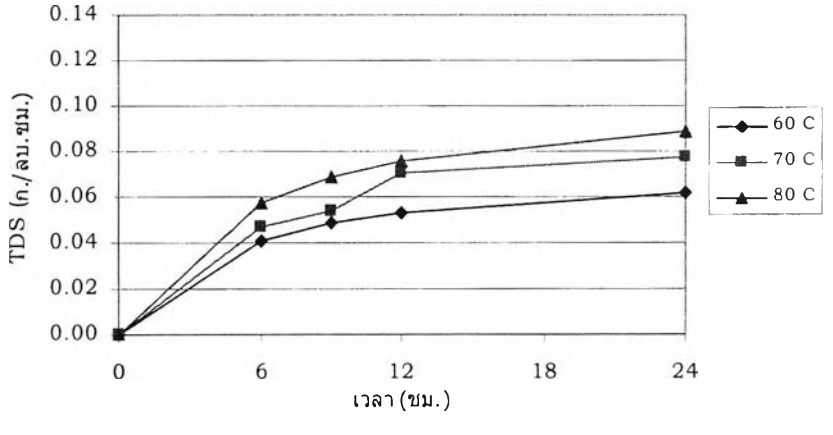


รูปที่ 4.15 ค่า TDS จากหนังชนิด A ฟอก อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำที่ (ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

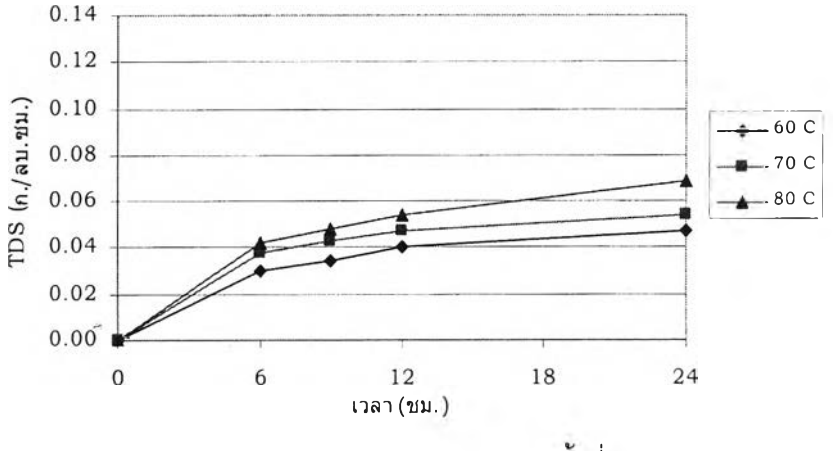
(ก)



(ข)



(ค)

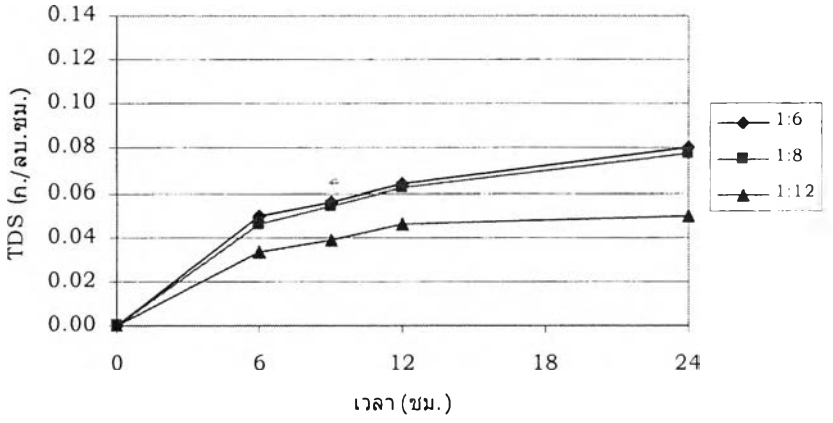


รูปที่ 4.16 ค่า TDS จากหนังชนิด C อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำที่
(ก) 1:6, (ข) 1:8 และ (ค) 1:12

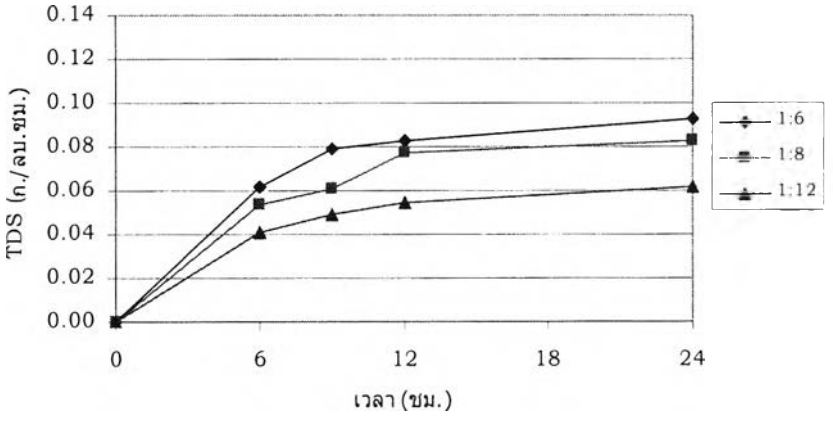
4.3.2 ผลจากอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำ

รูปที่ 4.17 ถึง 4.18 แสดงค่า TDS ของหนัง A ฟอก และหนัง C ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ พบว่าในทุกสภาวะที่ทำการสกัด ค่า TDS ที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6 มีค่าสูงสุด ส่วนที่ 1:12 มีค่า TDS ต่ำสุด เนื่องจากที่อัตราส่วน 1:6 มีน้ำหนักเริ่มต้นของเศษหนังในระบบสูงที่สุด โอกาสในการสลายตัวของเศษหนังจึงมีมากกว่าที่น้ำหนักเริ่มต้นของเศษหนังต่ำกว่า ทำให้ในส่วนของการสกัดการสลายตัวของเศษหนังสลายตัวไปได้มากกว่า สารละลายที่ได้จึงมีสายโซ่ของโปรตีนละลายอยู่สูง เมื่อนำมาทำการวัดปริมาตรและอบแห้งเพื่อหาค่า TDS จึงทำให้ค่า TDS ที่ได้มีค่าสูง

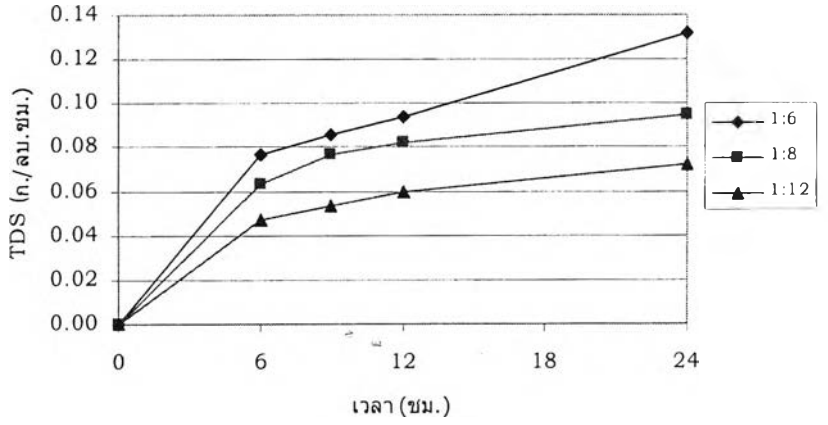
(ก)



(ข)

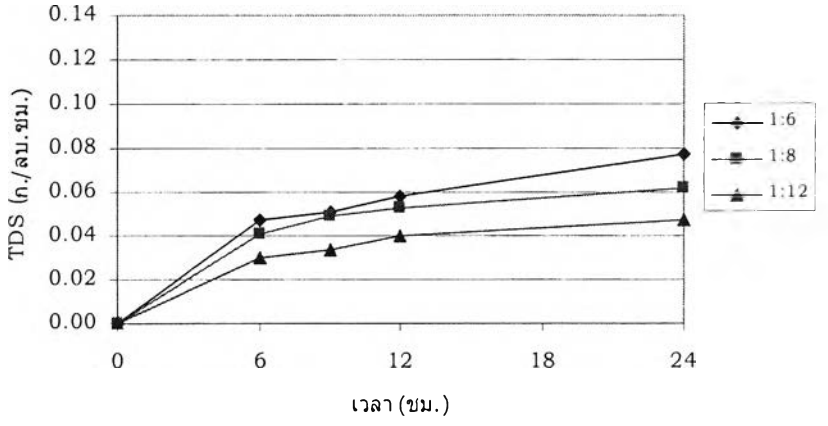


(ค)

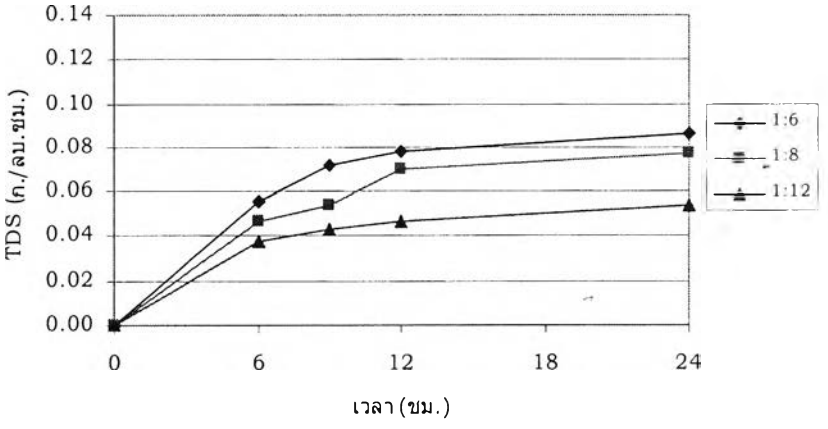


รูปที่ 4.17 ค่า TDS ของหนัง A ฟอก ที่อุณหภูมิ (ก) 60^{o}C, (ข) 70 ^{o}C และ (ค) 80 ^{o}C

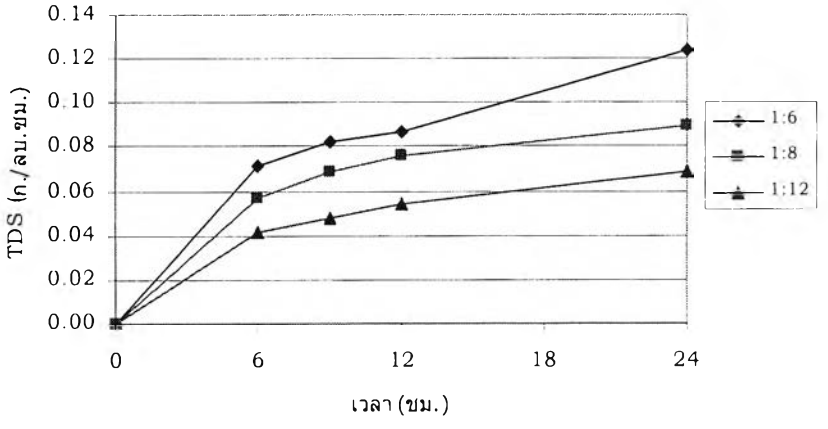
(ก)



(ข)



(ค)

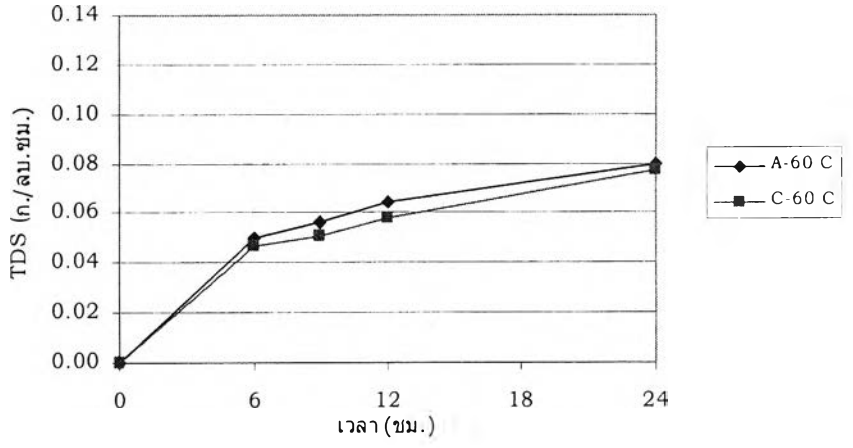


รูปที่ 4.18 ค่า TDS ของหนัง C ที่อุณหภูมิ (ก) 60^{o}C, (ข) 70 ^{o}C และ (ค) 80 ^{o}C

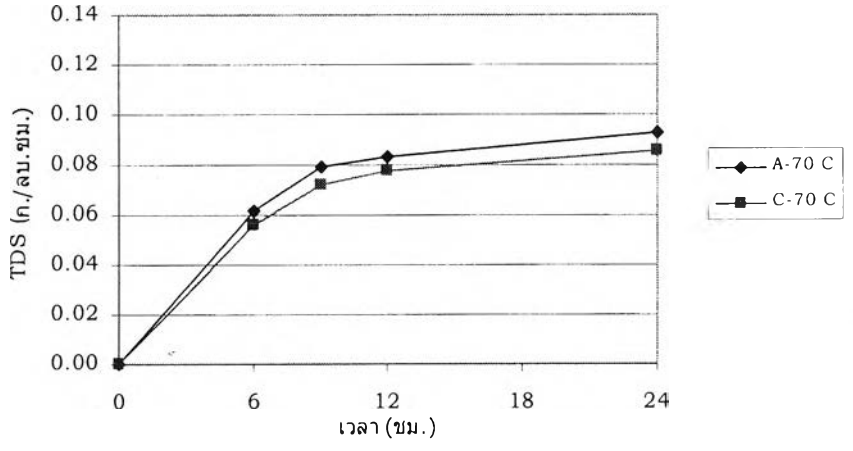
4.3.3 ผลจากชนิดของหนัง

หนังชนิด A ฟอก และ C เป็นหนังที่ผ่านผ่านกระบวนการฟอกมาต่างกันซึ่งส่งผลให้มีความสมบูรณ์ของเส้นใยต่างกัน โดยจากหัวข้อ 4.2 พบว่าการสลายตัวของเศษหนัง A ฟอกมีค่าสูงกว่าหนัง C ซึ่งในส่วนของการคำนวณหาค่า TDS นั้นหาจากสารละลายเจลาตินที่สกัดได้ ดังนั้นผลจากชนิดของหนังในส่วนของ TDS จึงมีแนวโน้มเดียวกับส่วนของเปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชัน รูปที่ 4.19 ถึง 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่า TDS ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6, 1:8 และ 1:12 ของหนังเกรด A ฟอกและหนัง C ตามลำดับ พบว่าในทุกสภาวะค่า TDS ของหนัง A ฟอก มีค่ามากกว่าหนัง C

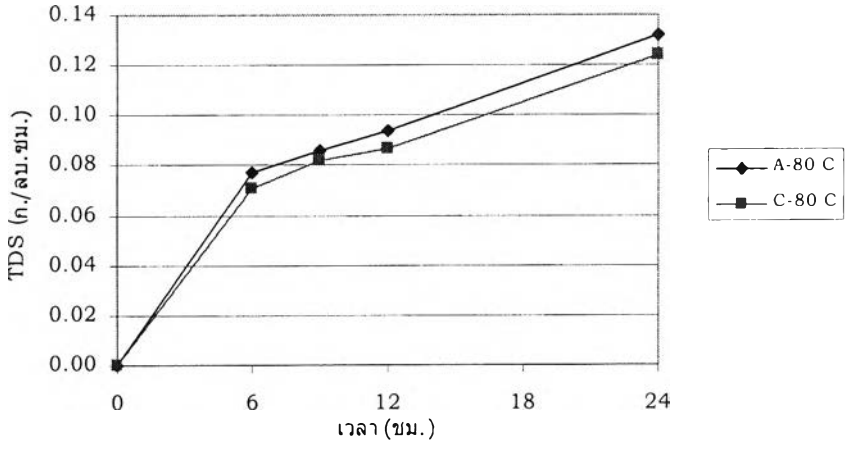
(ก)



(ข)

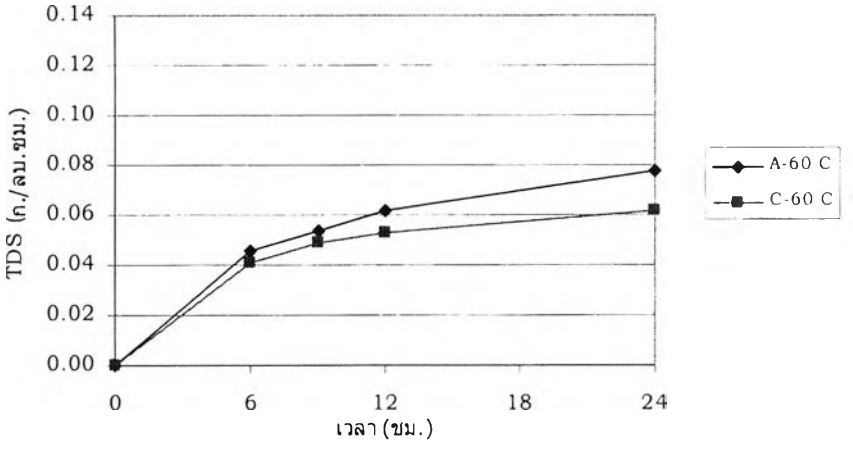


(ค)

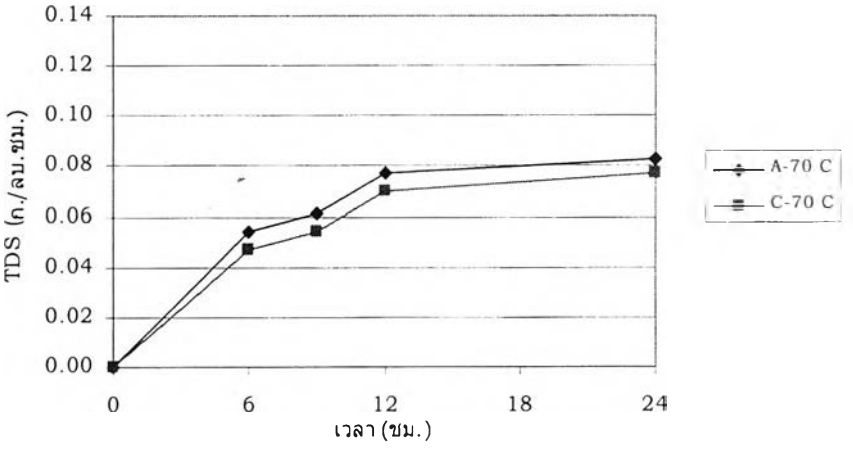


รูปที่ 4.19 ค่า TDS ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:6 ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

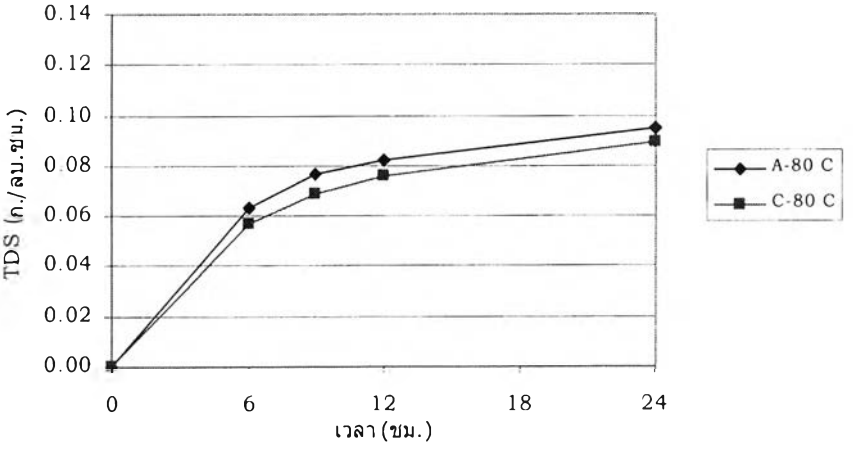
(ก)



(ข)

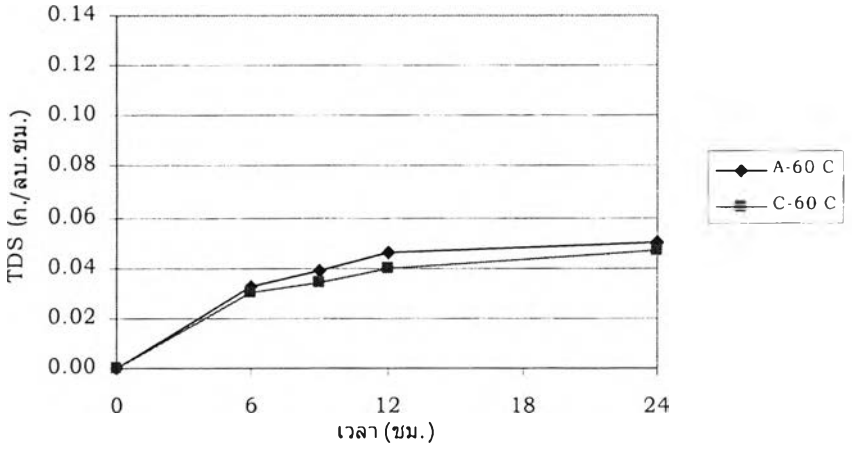


(ค)

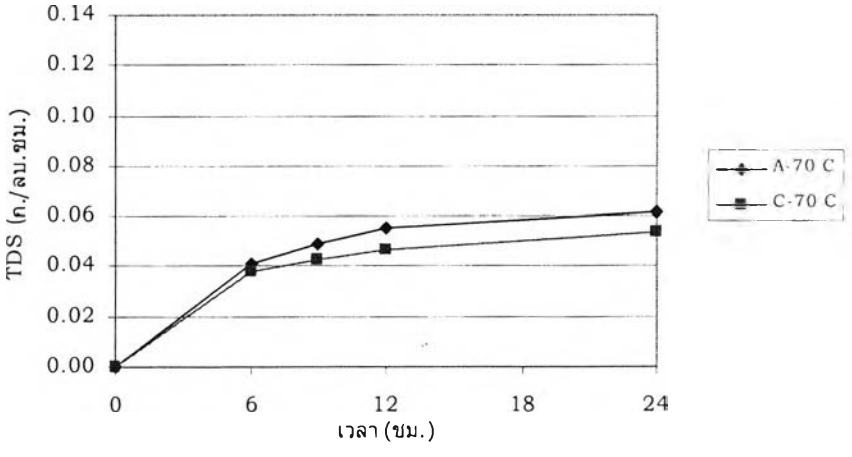


รูปที่ 4.20 ค่า TDS ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:8 ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

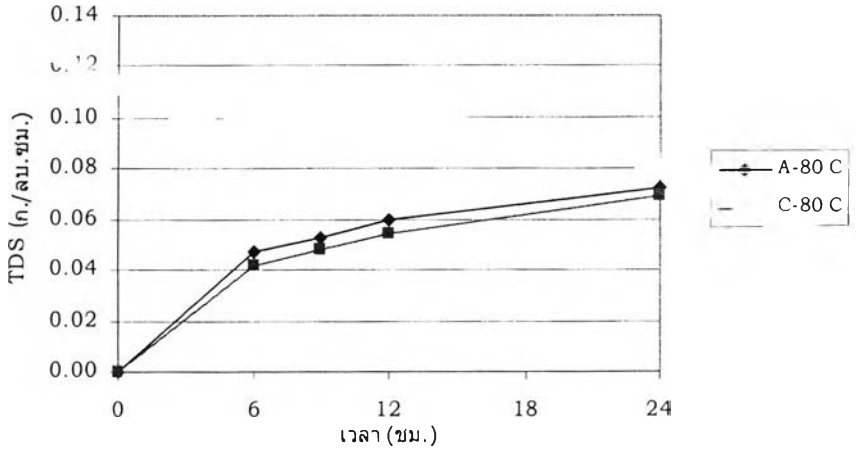
(ก)



(ข)



(ค)



รูปที่ 4.21 ค่า TDS ที่อัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำที่ 1:12 ที่อุณหภูมิ (ก) 60°C, (ข) 70°C และ (ค) 80°C

4.4 ความหนืดของเจลาติน

4.4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ในส่วนของการวัดความหนืดเจลาตินนั้น เจลาตินที่นำมาวัดเป็นเจลาตินในสภาวะที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปชิ้นงานได้ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 โดยการวัดความหนืดจะเริ่มโดยการละลายเจลาตินให้ได้ความเข้มข้นที่ 6.67% โดยน้ำหนักซึ่งถือเป็นค่าความเข้มข้นมาตรฐาน จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง Rheometer โดยกำหนดอุณหภูมิในการวัดอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 *ความหนืดของเจลาติน*

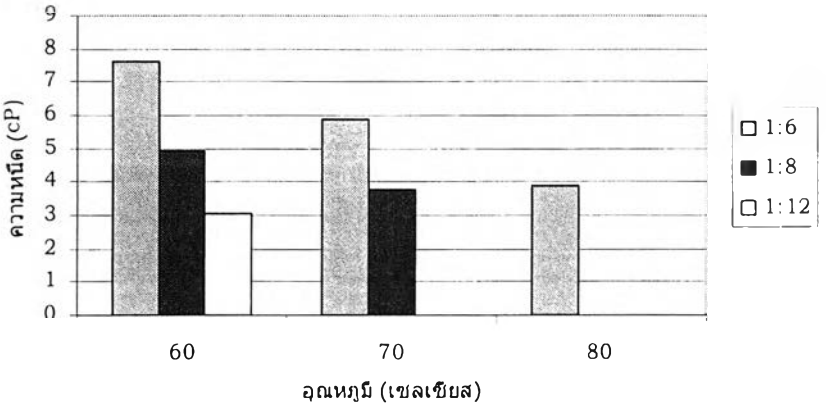
อัตราส่วน	อุณหภูมิ (^{o}C)	ชนิดหนัง	ความหนืดของเจลาติน (cP)			
			6 ชม.	9 ชม.	12 ชม.	24 ชม.
1:6	60	A	*x*	*x*	*x*	7.645
		C	*x*	*x*	*x*	8.063
	70	A	*x*	*x*	*x*	5.871
		C	*x*	*x*	*x*	6.007
	80	A	*x*	*x*	*Off-spec*	3.907
		C	*x*	*x*	*Off-spec*	4.125
1:8	60	A	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
		C	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
	70	A	*x*	*x*	*x*	4.945
		C	*x*	*x*	*x*	5.252
	80	A	*x*	*x*	*x*	3.780
		C	*x*	*x*	*x*	3.906
1:12	60	A	*x*	*x*	*x*	*x*
		C	*x*	*x*	*x*	*x*
	70	A	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
		C	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
	80	A	*x*	*x*	*x*	3.033
		C	*x*	*x*	*x*	3.106

x หมายถึง สภาวะการสกัดซึ่งเจลาตินที่ได้ไม่สามารถใช้เป็นตัวประสานได้

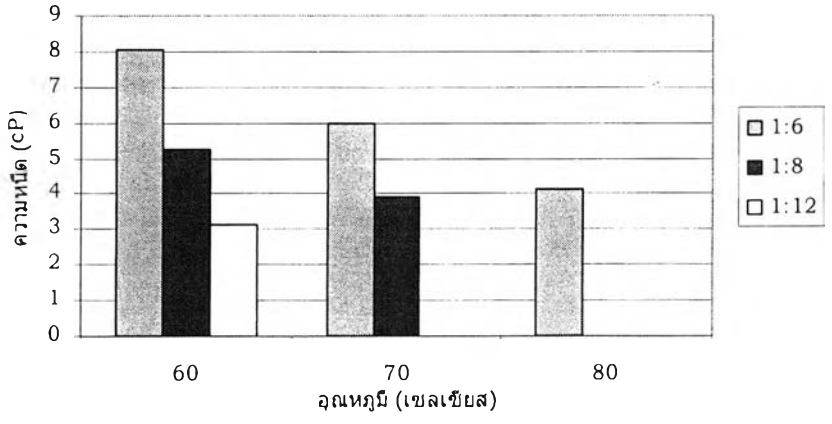
Off-spec หมายถึง สภาวะการสกัดซึ่งเจลาตินที่ได้มีคุณลักษณะเป็นตัวประสาน แต่ลักษณะชิ้นงานไม่ผ่านมาตรฐาน

รูปที่ 4.22 แสดงค่าความหนืดของเจลาตินที่ความเข้มข้นมาตรฐานของหนังเกรด A ฟอกและเกรด C ตามลำดับ ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด (extraction temperature) จะมีผลให้ค่าความหนืดลดลง

(ก)



(ข)



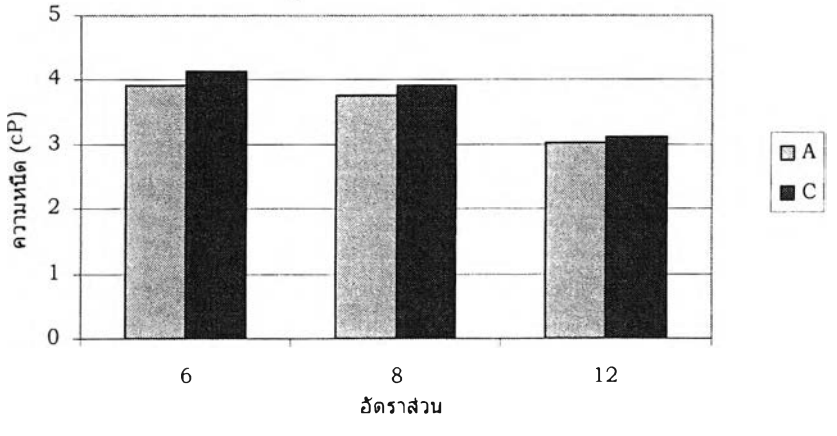
รูปที่ 4.22 ความหนืดของเจลาตินที่ความเข้มข้นมาตรฐาน (ก) หนัง A ฟอก, (ข) หนังเกรด C

การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเจลาตินนั้น จะส่งผลให้เศษหนังเกิดการสลายตัวไปได้มากขึ้น ทำให้ในส่วนของสารละลายที่ได้มีค่าความเข้มข้นสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์คอนเวอร์ชันเพิ่มขึ้น ค่า TDS สูงขึ้น แต่ในส่วนของความหนืดนั้นจะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่สายโซ่โมเลกุลของเจลาตินที่สกัดได้ที่อุณหภูมิสูงจะมีขนาดสั้นกว่าที่อุณหภูมิการสกัดต่ำ โดยในการสกัดจากคอลลาเจนเป็นเจลาตินนั้น วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการสกัดด้วยน้ำกับความร้อน โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือที่ 40 องศาเซลเซียส (Rosemary, 1995) พลังงานกระตุ้นในการสลายตัวของคอลลาเจนมีค่าประมาณ 81 กิโลแคลอรี ซึ่งที่จุดนี้จะมีผลให้พันธะไฮโดรเจนเกิดการสลายตัว โดย

จาก bundles จะสลายตัวเป็น fiber เป็น fibrils และสุดท้ายจะเหลือเพียงแค่ส่วนของทรอโปคอลลาเจน (tropocollagen) ส่วนต่อมาการไฮโดรไลซิสจะทำลายพันธะที่เชื่อมกันระหว่างทรอโปคอลลาเจน (intramolecular crosslink) จนเหลือเพียงสายโซ่คอลลาเจน และสายโซ่คอลลาเจนที่เหลือจะถูกไฮโดรไลซิสจนได้เป็นเจลาติน ในส่วนของการสกัดเจลาตินที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสนั้น พันธะไฮโดรเจน และหมู่ไฮดรอกซิลของกรดอะมิโนบางส่วนจะถูกทำลายไปทำให้ค่าความหนืดที่ได้ลดลง (Cho และคณะ, 2005) แต่ข้อเสียในการสกัดที่อุณหภูมินี้คือได้ปริมาณเจลาตินน้อย ในทางอุตสาหกรรมทั่วไปจึงเลือกสกัดที่อุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส

4.4.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งและน้ำ

จากผลการทดลองก่อนหน้านี้ ที่สภาวะการสกัดเดียวกัน การใช้อัตราส่วนหนังต่อน้ำน้อย (1:12) จะได้ปริมาณเจลาตินมาก อย่างไรก็ดีรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนืดมาตรฐานที่ได้จะต่ำ ซึ่งบ่งชี้ถึงความสมบูรณ์ของสายโซ่โปรตีนที่ต่ำกว่าการสกัดโดยใช้หนังต่อน้ำมาก (1:6 และ 1:8) ทั้งนี้อาจเป็นผลจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วซึ่งส่งผลให้เกิดการทำลายพันธะในสายโซ่โปรตีนที่ได้



รูปที่ 4.23 ความหนืดของเจลาตินที่ความเข้มข้นมาตรฐานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง

4.4.3 ผลจากชนิดของหนัง

จากรูปที่ 4.23 ในหัวข้อ 4.4.2 พบว่าในทุกสภาวะที่ทำการสกัดเจลาติน ค่าความหนืดที่วัดจากค่าความเข้มข้นมาตรฐานของหนังเกรด C มีค่ามากกว่าหนังเกรด A ฟอก เนื่องจากเส้นใยคอลลาเจนของหนังเกรด C สมบูรณ์กว่า เมื่อสกัดเจลาตินจะได้เจลาตินที่มีสายโซ่ยาวกว่า ทำให้ค่าความหนืดที่ได้สูง

4.5 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชิ้นขบเคี้ยว

4.5.1 อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของสารละลายเจลาตินต่อเศษหนัง

ในส่วนของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชิ้นขบเคี้ยวนั้น เริ่มต้นโดยกำหนดอัตราส่วนน้ำหนักของสารละลายเจลาตินต่อเศษหนังอยู่ที่ 4:5 ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนการผสมโดยใช้น้ำแป้งต่อเศษหนัง จากนั้นจึงเริ่มทำการสกัดสารละลายเจลาติน และนำสารละลายเจลาตินที่สกัดได้มาผสมกับเศษหนังแห้งที่อัตราส่วนดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้พบว่าของผสมที่ได้นั้นมีความเปียกชื้นสูง แม้ว่าจะนำมาฉีดขึ้นรูปได้แต่ในขั้นตอนการอบใช้เวลาสูงเกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นในการขึ้นรูปครั้งต่อมาจึงลดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของสารละลายเจลาตินต่อเศษหนังลงมาอยู่ที่ 3:5 ซึ่งอัตราส่วนของสารละลายเจลาตินที่ใช้น้อยเกินไป ทำให้ของผสมที่ได้ผสมกันได้ไม่ทั่วถึง ดังนั้นจึงเพิ่มอัตราส่วนในการผสมอยู่ที่ 7:10 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชิ้นขบเคี้ยวด้วยเจลาติน

4.5.2 สมบัติการทนแรงโก่งงอของวัสดุ

ในการขึ้นรูปชิ้นขบเคี้ยวอัตราส่วนการผสมของสารละลายเจลาตินต่อเศษหนังอยู่ที่ 7:10 โดยจะเริ่มทำการขึ้นรูปจากสารละลายเจลาตินที่มีความเข้มข้นสูงคือที่อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำอยู่ที่ 1:6 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการสกัดที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งสารละลายเจลาตินที่สภาวะนี้สามารถนำมาขึ้นรูปได้ ในการขึ้นรูปตัวอย่างต่อไปจะปรับสภาวะในการสกัดเจลาตินโดยการลดอุณหภูมิ เปลี่ยนอัตราส่วน และลดเวลาในการสกัด เพื่อนำสารละลายเจลาตินนั้นมาใช้เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปซึ่งผลที่ได้พบว่าเจลาตินที่สกัดที่เวลาต่ำกว่า 24 ชั่วโมงไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ (ดูตารางที่4.2 ประกอบ)

เจลาตินที่ผ่านการสกัดที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนเศษหนังแห้งต่อน้ำที่ 1:6 ในทุกอุณหภูมิสามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ ส่วนที่อัตราส่วน 1:8 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วน 1:12 ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส เจลาตินที่สภาวะต่างๆเหล่านี้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้

ผลิตภัณฑ์ชิ้นขบเคี้ยวที่ขึ้นรูปได้จะถูกอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเมื่อชิ้นงานแห้งถูกนำมาตัดให้มีความยาว 5 นิ้ว จากนั้นจะนำไปทดสอบสมบัติการทนแรงโก่งงอของวัสดุด้วยเครื่องวัดแรงโก่งงอโดยหลักการ Three Point Bending โดยหาค่าเฉลี่ยค่าการทนแรงโก่งงอจากสิบตัวอย่าง นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยน้ำแป้ง

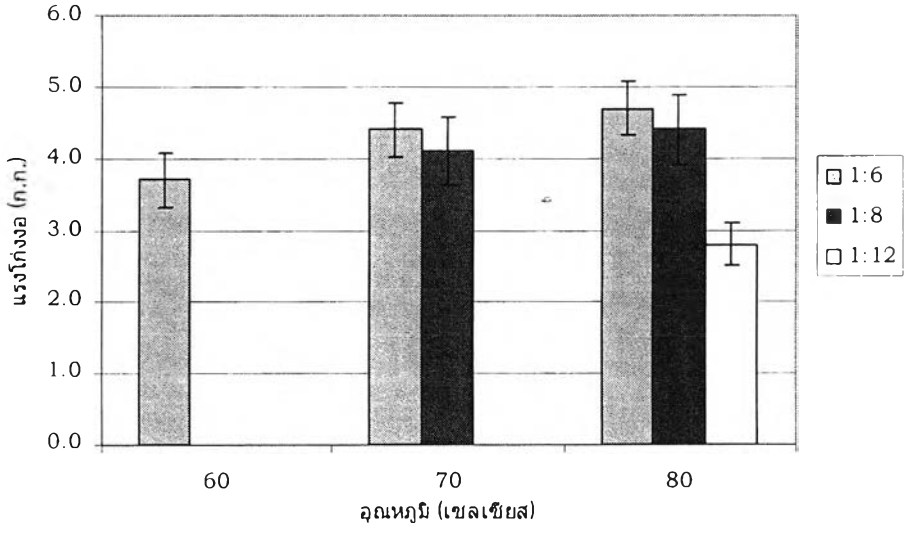
ตารางที่ 4.2 *ค่าเฉลี่ยการทนแรงโก่งงอของชิ้นงาน*

อัตราส่วน	อุณหภูมิ (°C)	ชนิดหนัง	ค่าเฉลี่ยการทนแรงโก่งงอ (กก.)			
			6 ชม.	9 ชม.	12 ชม.	24 ชม.
1:6	60	A	*x*	*x*	*x*	4.0
		C	*x*	*x*	*x*	4.5
	70	A	*x*	*x*	*x*	4.4
		C	*x*	*x*	*x*	4.7
	80	A	*x*	*x*	*Off-spec*	4.9
		C	*x*	*x*	*Off-spec*	5.2
1:8	60	A	*x*	*x*	*x*	*Off- spec*
		C	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
	70	A	*x*	*x*	*x*	4.1
		C	*x*	*x*	*x*	4.2
	80	A	*x*	*x*	*x*	3.6
		C	*x*	*x*	*x*	3.9
1:12	60	A	*x*	*x*	*x*	*x*
		C	*x*	*x*	*x*	*x*
	70	A	*x*	*x*	*x*	*x*
		C	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
	80	A	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
		C	*x*	*x*	*x*	*Off-spec*
น้ำแป้ง			4.7			

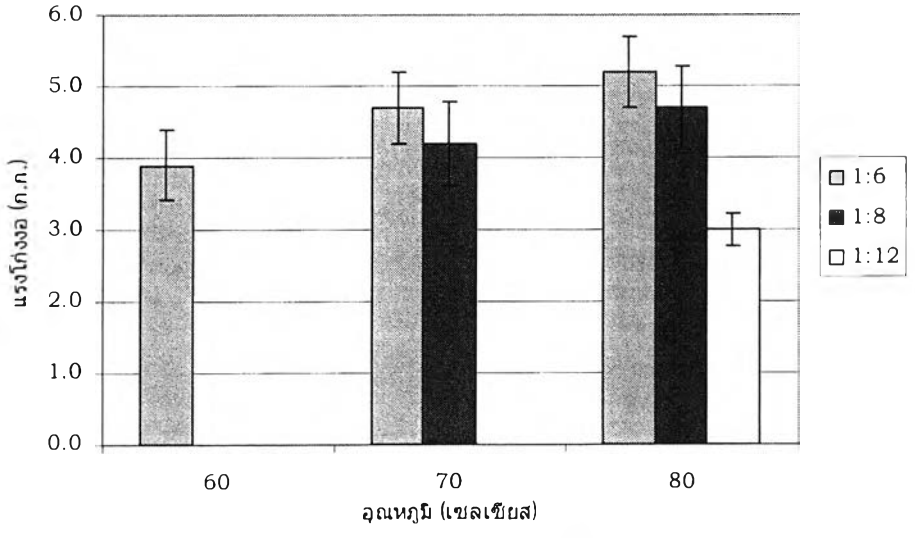
x หมายถึงไม่สามารถขึ้นรูปได้

off-spec หมายถึงชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ แต่ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานไม่ผ่าน

รูปที่ 4.24 ถึง 4.25 แสดงถึงค่าเฉลี่ยการทนแรงโก่งงอของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเจลาตินจากหนังเกรด A ฟอกและหนังเกรด C ตามลำดับ



รูปที่ 4.24 ค่าการทนแรงโก่งงอของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเจลาตินจากหนังเกรด A ฟอก



รูปที่ 4.25 ค่าการทนแรงโก่งงอของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเจลาตินจากหนังเกรด C

พิจารณาจากผลของการทนแรงโก่งงอพบว่า ที่สภาวะในการสกัดเดียวกันสารละลายเจลาตินจากหนังเกรด C เมื่อนำมาใช้เป็นตัวประสานจะให้ค่าเฉลี่ยการทนแรงโก่งงอที่สูงกว่าหนังเกรด A ฟอก เนื่องจากหนังเกรด C มีค่าความหนืดที่ความเข้มข้นมาตรฐานสูงกว่าหนังเกรด A ฟอก โมเลกุลของเจลาตินมีความยาวมากกว่า จึงมีความแข็งแรงสูงกว่าเมื่อนำมาใช้เป็นตัวประสาน

ในส่วนของอุณหภูมิพบว่าที่อุณหภูมิในการสกัดเจลาตินสูง มีความเข้มข้นของโปรตีนสูง มีปริมาณของสายโซ่เจลาตินละลายอยู่ในสารละลายมาก เมื่อนำสารละลายนั้นมาเป็นตัวประสานทำการขึ้นรูปแล้วอบแห้งให้น้ำระเหยออกไป ส่วนของเจลาตินที่เหลืออยู่ในชิ้นงานมีมากกว่าสารละลายในสภาวะที่ความเข้มข้นต่ำกว่า ทำให้ทนแรงโก่งงอได้สูงกว่า ซึ่งอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนระหว่างเศษหนังแห้งต่อน้ำที่ใช้ในการสกัด ส่งผลให้ความเข้มข้นลดลงจะส่งผลให้ความแข็งแรงในการเป็นตัวประสานลดลงด้วย

ในส่วนของเจลาตินที่สกัดที่เวลาต่ำกว่า 24 ชั่วโมง แม้ว่าค่าความหนืดของเจลาตินที่ความเข้มข้นมาตรฐานจะสูง แต่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ เนื่องจากในสารละลายที่จะนำมาใช้ผสมนั้นมีความเข้มข้นของเจลาตินต่ำเกินไป

ในส่วนของการสกัดที่อัตราส่วน 1:12 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง เจลาตินที่สภาวะนี้ของหนังเกรด A ฟอกและหนังเกรด C สามารถนำมาขึ้นรูปได้ โดยมีค่าการทนแรงโก่งงอเท่ากับ 2.8 และ 3 กก. ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาพิจารณาถึงพื้นผิวของชิ้นงานพบว่าพื้นผิวไม่เรียบ อันเนื่องมาจากเจลาตินที่สภาวะนี้มีความหนืดและความเข้มข้นต่ำ ในสารละลายเจลาตินที่ใช้ขึ้นรูปมีปริมาณเจลาตินละลายอยู่น้อย เมื่อผ่านการอบแห้งทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักระเหยไปทำให้เหลือเจลาตินในชิ้นงานไม่มากพอ