



## การสัปดาห์จากเศษหนังสือได้จากขบวนการลอกหนังสือ

๒

ร.พ.  
๗๗๙๕๓  
๒๕๓๕

นาย พิรศักดิ์ ทินกรศรีสุภาพ  
นางสาว ประทานพร สังข์สุวรรณ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา เคมีอุตสาหกรรม

คณะ วิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๕

๖ ๑๒๖๓๘๔๙๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **ISOLATION OF GELATIN AS A BY-PRODUCT FROM TANNING PROCESS**



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the  
Requirement for the Degree of Bachelor of Science  
Department of industrial chemistry  
Faculty of Science  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกหนัง

โดย

นาย พิศศักดิ์ ทินกรศรีสุภาพ

นางสาว ประทานพร สัจจ์สุวรรณ

ภาควิชา

เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล

ผศ.ดร. ชีรวีวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์

ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต



(ผศ.ดร. ชีรวีวัฒน์ มงคลอัครวัฒน์)

หัวหน้าภาค

คณะกรรมการโครงการพิเศษ



(ผศ.ดร. สุณิฉัย สุขสาราน)

ประธานกรรมการ



(ดร. สักดา ไตรศักดิ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูป.....	จ
สัญลักษณ์.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครงสร้างของหนังสือ.....	4
2.2 การเชื่อมโยง.....	5
2.3 เจลาติน.....	6
2.4 ผลของแหล่งที่มาของคอลลาเจนที่มีต่อองค์ประกอบเจลาติน.....	7
2.5 ผลของวิธีการผลิตที่มีต่อองค์ประกอบของเจลาติน.....	7
2.6 ผลของประวัติทางความร้อนที่มีผลต่อเจลาติน.....	7
2.7 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อเจลาติน.....	8
2.8 การละลาย.....	9
2.9 เสถียรภาพ.....	10
2.10 การบวมตัว.....	10
2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของเจลาตินกับคอลลาเจน ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12	เลขของเจลาตินและการแปลงจากสารละลายไปเป็นเจล .....	14
2.13	คุณสมบัติทางความร้อนของเจลาติน .....	15
2.14	ดัชนีหักเหแสง.....	15
2.15	โลหะที่เจือปนอยู่ในเจลาติน.....	16
บทที่ 3	การทดลอง .....	17
3.1	เครื่องมือ .....	17
3.2	สารเคมี .....	18
3.3	การสกัดเจลาติน.....	19
3.4	การทดสอบเจลาตินด้วยนินไฮดริน .....	20
3.5	การวิเคราะห์เจลาตินด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี .....	20
3.6	การวิเคราะห์เจลาตินโดยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี.....	21
3.7	การวัดปริมาณโลหะโครเมียมในสารละลายเจลาติน .....	22
3.8	การหาค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายเจลาติน .....	24
3.9	การหาค่าการหมุนของแสงที่ผ่านสารละลายเจลาติน .....	25
3.10	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของเจลาตินโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter .....	26
3.11	การหาจุดไอโซไอออนิกของสารละลายเจลาติน .....	26
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	27
บทที่ 5	วิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	37
5.1	ศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการชูดโดยใช้ปูนขาว .....	37
5.2	การศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการชูดโดยใช้กรด.....	38
5.3	การทดสอบผลิตภัณฑ์เจลาติน.....	39
5.4	ข้อเสนอแนะ .....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก .....42

บรรณานุกรม .....46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>หัวข้อโครงการพิเศษ</b>	การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่ได้จากกระบวนการฟอกหนัง
<b>นักศึกษา</b>	นางสาว ประทานพร สังข์สุวรรณ นาย พิศศักดิ์ ทินกรศรีสุภาพ
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา</b>	ดร. สิริชัย หวังเจริญตระกูล ดร. ชีรวัฒน์ มงคลอัสวรัตน์
<b>ภาควิชา</b>	เคมีอุตสาหกรรม
<b>ปีการศึกษา</b>	2535

### บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง เศษหนังที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานจะมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งนับเป็นการสูญเปล่าและก่อให้เกิดปัญหามลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ทั้งในแง่ของปริมาณวัสดุที่ทิ้งไป และโลหะหนักพวกโครเมียมที่ปนอยู่ในเศษหนังซึ่งยากแก่การกำจัดออก ดังนั้นวัตถุประสงค์โครงการพิเศษนี้ คือการศึกษาการนำเศษหนังที่เหลือจากกระบวนการฟอกหนัง ในขั้นตอนการขูดหนังให้บางมาทำปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) เพื่อเปลี่ยนคอลลาเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเศษหนังเหล่านั้น ให้เป็นเจลาตินที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นได้ จากการทดลองพบว่าวิธีที่เหมาะสมในการสกัดเจลาตินนั้น เริ่มจากการสกัดด้วยสารละลายด่างที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาสกัดด้วยสารละลายกรด 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะสกัดด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่อทำการทดลองตามวิธีดังกล่าวพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกับเจลาตินเชิงการค้าทั่วไป แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ด้อยกว่า

การตรวจสอบผลิตภัณฑ์เจลาตินได้ใช้วิธีสเปกโตรสโคปี ไพโรโรซิส-ก๊าซ โครมาโตกราฟี การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อน การหาความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน ด้วยวิธีการหาค่าดัชนีหักเหแสงและวิธีหาค่าการหมุนของระนาบแสง และการหาจุดไอโซไอออนิกโดยใช้ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน

**Special Project Title** Isolation of Gelatin as a By-product from Tanning Process

**Name** Miss. Pratanporn Songsuwon  
Mr. Peerasak Tinnakornsrirupap

**Special Project Advisor** Dr. Sirichai Wangchareontrakul  
Dr. Teerawat Mongkolassawat

**Department** Industrial chemistry

**Academic Year** 1992

### **Abstract**

Shaving is one of tanning industry's major waste product. Its enormous volume has caused environmental problems as well as its toxic metal deposition. This special project is aimed at hydrolysing collagen, which is the main constituent of shaving, to produce gelatin; which can be used by other industries. Experiments showed that a mild alkaline pretreatment was required before successive extractions could be carried out under acidic condition. Analysis proved that extracted product was chemically similar to commercial gelatin, while its physical properties were inferior.

Various identification methods of gelatin were employed for this study including spectroscopic, pyrolysis - gas chromatographic and differential scanning calorimetric techniques. Determination of gelatin solution concentration was done by measurement of refractive index and optical rotation while iso-ionic point was found by ion - exchange resin technique.

## กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ดร.ศิริชัย หวังเจริญตระกูล และ ดร.ศิริวัฒน์ มงคลธวัชรัตน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินงานโครงการพิเศษ

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

## สารบัญตาราง

2.1	กรดอมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเจลาติน	13
3.6	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์เจลาตินโดยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี	21
3.7	สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโกรเมียมในเจลาติน	22
4.1	การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้ปูนขาว	27
4.2	การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้กรด	27
4.3	การวัดค่าดัชนีหักเหแสงและการหมุนของระนาบแสง	32
4.4	การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของเจลาตินมาตรฐาน	35
4.6	ผลการวิเคราะห์เจลาตินด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการฟอกหนัง	1
1.2 ขั้นตอนการสกัดเจลาติน	3
1.3 ส่วนประกอบของหนังสือ	3
4.2.1 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในขั้นตอนการปรับสภาพโดยใช้ค่า	28
4.2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในขั้นตอนการกำจัดโครเมียม	29
4.2.3 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในการสกัดครั้งแรก	30
4.2.4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในการสกัดครั้งที่สอง	31
4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินกับ ค่าดัชนีการหักเหแสง	33
4.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินกับ การหมุนของระนาบแสง	34
4.5 ผลการวิเคราะห์เจลาตินด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี	35

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

'c	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์
ชม.	ชั่วโมง
มก.	มิลลิกรัม
cm.	เซนติเมตร
deg.	องศา
deg. C.	องศาเซลเซียส
g.	กรัม
hp.	กำลังม้า
lit./min.	ลิตร/นาที
mA.	มิลลิแอมแปร์
mg.	มิลลิกรัม
ml.	มิลลิลิตร
mm.	มิลลิเมตร
mS./cm.	ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร
nM.	นาโนเมตร
ppm.	ส่วนในล้านส่วน
rpm	รอบ/นาที
sec.	วินาที
Temp.	อุณหภูมิ
W.	วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมฟอกหนังในประเทศไทยได้ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็วในทศวรรษที่ผ่านมา สืบเนื่องมาจากปริมาณการส่งออกสินค้าประเภทเครื่องหนัง ที่มีความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี จนเกิดภาวะที่หนังสัตว์ในประเทศขาดแคลนเพราะมีกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ โดยกระบวนการฟอกหนังที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะให้ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์ที่ฟอกได้มากที่สุด และมักไม่ได้คำนึงถึงวัสดุที่เหลือทิ้งจากการผลิต กระบวนการฟอกหนังที่ใช้กันอยู่ทั่วไปพอจะสรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้

รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการฟอกหนัง



จะเห็นได้ว่า ในขั้นตอนของการตาก ผ่าน และชุบ จะมีเศษหนังเหลือทิ้ง โดยเศษหนังที่เหลือจากขั้นตอนของการตากและผ่าน จะมีผู้รับซื้อไปทำเป็นกาว ปู และอาหารสัตว์ต่อไป คงเหลือแต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศษหนังจากการขูด (shaving) ที่โรงงานต่างๆจะนำไปกองรวมไว้และไม่สามารถทำลายได้ เพราะไม่มีผู้มารับซื้อ นับเป็นปัญหาใหญ่ของโรงงานฟอกหนังที่จะต้องหาวิธีการที่จะกำจัดเศษหนังเหล่านี้

จากกระบวนการฟอกหนังที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการฟอกหนังจะทำให้มีเศษหนังจากการขูดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก ถ้าสามารถนำเศษหนังจากการขูดไปใช้ประโยชน์ได้จะเป็นการลดปัญหามลภาวะได้อย่างมาก เมื่อศึกษาจากโครงสร้างของหนังสัตว์จะเห็นว่าเศษหนังที่ได้จากการขูดเป็นส่วนที่ขูดออกมาจากผิวหนังด้านล่างชั้น Corium ของหนัง (รูปที่ 13) ซึ่งจะต้องขูดเอาหนังออกประมาณ 15% ในวันหนึ่งๆ โรงงานฟอกหนังแต่ละแห่งจะมีเศษหนังที่เหลือจากการขูดจำนวนมากประมาณวันละไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัม นับเป็นการสูญเปล่าและยังจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

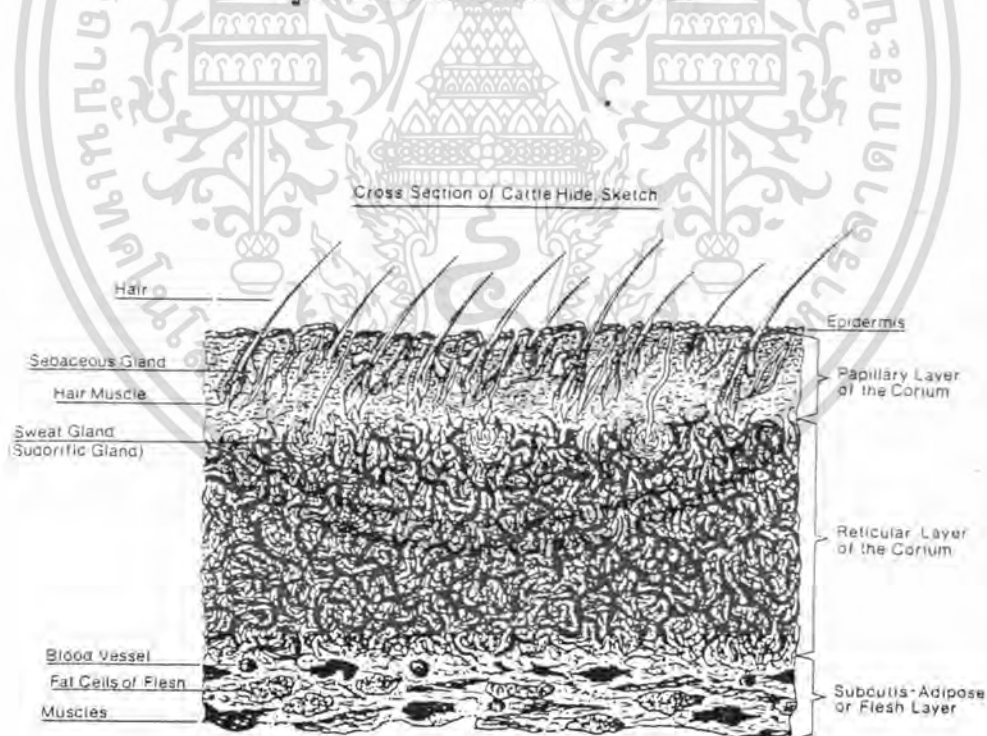
จุดประสงค์ของโครงการพิเศษนี้คือ จะหาวิธีนำเศษหนังที่เหลือทิ้งจากกระบวนการฟอกหนังมาใช้ประโยชน์ เพื่อจะได้ใช้ทรัพยากรอย่างเต็มที่ เนื่องจากเศษหนังที่ทิ้งนี้ได้มาจากชั้น Corium ซึ่งประกอบด้วยสารประกอบคอลลาเจน (collagen) เป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 98% โดยคอลลาเจนนี้สามารถนำมาเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน (gelatin) ได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน นอกจากนั้นเจลาตินยังเป็นสินค้าที่ประเทศไทยยังต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ และเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมถ่ายภาพ และอุตสาหกรรมทำกาว เป็นต้น จึงพิจารณาเห็นว่าการผลิตเจลาตินจากเศษหนังที่ได้จากการขูดควรจะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างมาก

การศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมในการสกัดเจลาติน และโครเมียมจากเศษหนังที่เหลือจากกระบวนการฟอกหนังได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานโดยสรุปดังแผนภาพต่อไปนี้

## รูปที่ 12 ขั้นตอนการสกัดเจลาติน



## รูปที่ 13 ส่วนประกอบของหนังสัตว์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 โครงสร้างของหนังสัตว์

หนังสัตว์ที่นิยมนำมาฟอก ได้แก่หนังของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจำพวก วัว ควาย แกะ และหมู ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญในหนังสัตว์เหล่านี้ได้แก่ น้ำ โปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุบางชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็นคาร์บอน 50%, ออกซิเจน 25%, ไฮโดรเจน 7%, ไนโตรเจน 17.8% และแร่ธาตุ 0.2% โดยประมาณ โครงสร้างของหนัง ประกอบด้วยชั้นที่สำคัญ 3 ชั้นคือ (รูปที่ 1.3)

##### 2.1.1 Epidermis

เป็นชั้นที่อยู่ด้านบนสุดของหนัง ประกอบไปด้วยรูขุมขนเป็นส่วนมาก และเป็นส่วนที่ให้ความสวยงามแก่หนังที่ฟอกสำเร็จแล้ว

##### 2.1.2 Corium

เป็นชั้นที่มีปริมาณมากที่สุดในหนัง ประกอบไปด้วยโปรตีนคอลลาเจน 98% และอีลาสติน (elastin) 2% โดยสายโซ่โมเลกุลของคอลลาเจนจะพันกันเป็น micro-fibrilla ซึ่งจะรวมตัวเป็นเส้นใย (fibre) ในรูปของโครงข่าย (network)

##### 2.1.3 Subcutis

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดหนังเข้ากับกล้ามเนื้อของสัตว์ โดยมากจะเป็นเนื้อเยื่อพังพืด และมักมีกล้ามเนื้อติดอยู่ด้วย

ในการฟอกหนัง ชั้น subcutis จะถูกกำจัดออกในขั้นตอนของการลอกและฟาน เหลือไว้แต่ชั้น epidermis และ corium ที่จะนำไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (crosslinking) ต่อไป หลังจากนั้น แผ่นหนังก็จะถูกปรับให้มีความหนาที่เหมาะสม โดยการขูดเอาชั้น corium ออก ความปกติกจะปรับความหนาลดลงจาก 2 มม. ในขั้นตอนการฟานให้เหลือ 1.8 มม. ทำให้มีเศษหนังจากการขูด ที่จะต้องทิ้งไปถึง 10% เป็นอย่างต่ำ

## 2.2 การเชื่อมโยง

หลักการสำคัญของขบวนการฟอกหนัง ก็คือการทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เพื่อให้สายโซ่โมเลกุลโปรตีนของคอลลาเจนที่มีอยู่ในหนังสัตว์เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงข่าย เป็นการป้องกันไม่ให้น้ำเกิดการบวมตัวเมื่อได้รับน้ำ หรือหดตัวเมื่อสูญเสียน้ำ นอกจากนี้หนังที่ทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงแล้ว จะมีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากขึ้น มีความต้านทานต่อจุลินทรีย์ และการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดียิ่งขึ้น

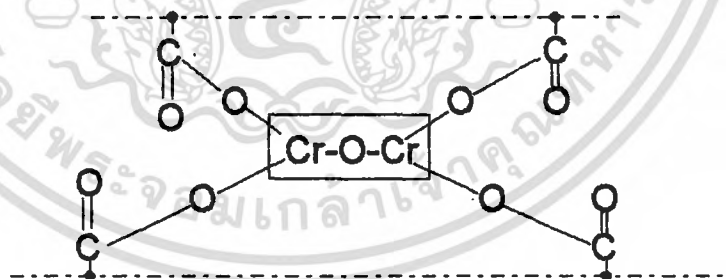
การฟอกหนังสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ตามชนิดของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงดังนี้

### 2.2.1 Vegetable tannage

### 2.2.2 Aldehyde tannage

### 2.2.3 Chrome tannage

Chrome tannage เป็นวิธีการฟอกหนังที่นิยมที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากพันธะการเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นมีความแข็งแรงมากและสามารถทำการย้อมสีได้ง่าย ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิก (carboxylic) บนแต่ละสายโซ่ของคอลลาเจน กับสารประกอบเชิงซ้อน (complex) ของโครเมียม (chromium) ดังแผนภาพต่อไปนี้



## 2.3 เจลาติน (gelatin)

การนำเนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบของคอลลาเจน มาผ่านกระบวนการทำให้แตกสลาย (degradation) อย่างไม่รุนแรงนัก โดยการใช้สารละลายกรดหรือด่างกับความร้อน จะทำให้พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ที่ยึดพอลิเปปไทด์ (polypeptide) สามเส้นในระบบโครงสร้างเส้นใยของคอลลาเจนสลายตัวลง ผลิตภัณฑ์โปรตีนที่ได้ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) แต่ก็มีส่วนประกอบทางเคมีที่เหมือนคอลลาเจน และเรียกผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของคอลลาเจนนี้ว่า เจลาติน เจลาตินสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ยา และการถ่ายภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ของเจลาติน คือ สามารถเปลี่ยนจากสภาพที่เป็นสารละลายไปเป็นเจล แล้วย้อนกลับเป็นสารละลายได้อีก มีความหนืดต่ำเมื่ออยู่ในรูปของสารละลายเมื่อร้อน สามารถทำหน้าที่เป็นตัวให้เกิดการแขวนลอยในสารละลาย (protective colloid) มีความสามารถให้น้ำซึมผ่าน และสามารถละลายในน้ำร้อนได้เป็นอย่างดี แต่ละลายได้น้อยในน้ำเย็น

เจลาติน ในเชิงการค้าที่ผลิตขึ้นในสหรัฐอเมริกา มีตั้งแต่ชนิดที่เป็นเม็ด (granules) ไปจนถึงแบบที่เป็นผง (powder) เจลาตินแห้งที่จำหน่ายกันทั่วไป จะมีความชื้นประมาณ 9-12 % ความปกติจะไม่มีรสและกลิ่น มีสภาพเป็นของแข็งเปราะมีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.3-1.4

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเจลาติน จะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

- 1.แหล่งที่มาของคอลลาเจน ที่ใช้เป็นวัสดุ
- 2.วิธีการผลิต
- 3.สภาวะที่ใช้ในการสกัดและทำให้เข้มข้น
- 4.ประวัติทางความร้อน
- 5.ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย
- 6.ธรรมชาติของสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่

## 2.4 ผลของแหล่งที่มาของคอลลาเจนที่มีต่อองค์ประกอบเจลาติน

แหล่งที่มาของคอลลาเจนจะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบของเจลาติน เนื่องจากกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเจลาตินจะเหมือนกับของคอลลาเจนที่เป็นวัสดุตั้งต้น และโครงสร้างของเจลาตินจะขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อของคอลลาเจน นอกจากนี้คอลลาเจนแต่ละชนิด จะต้องใช้ pretreatment ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อองค์ประกอบของเจลาติน

## 2.5 ผลของวิธีการผลิตที่มีต่อองค์ประกอบของเจลาติน

กรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบของเจลาตินที่เตรียมได้จากกระบวนการสกัดโดยด่าง (alkali process) จะแตกต่างจากที่ได้จากกระบวนการสกัดโดยกรด (acid process) โดยทั่วไปเจลาตินจากกระบวนการสกัดโดยใช้ด่างจะมีปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (hydroxyproline) สูงกว่า และมีปริมาณไทโรซีน (tyrosine) ที่ต่ำกว่าเจลาตินที่มาจากกระบวนการสกัดโดยใช้กรด

## 2.6 ผลของประวัติทางความร้อนที่มีผลต่อเจลาติน

คุณสมบัติทางกายภาพของเจลาตินเปลี่ยนแปลงอย่างค่อย ๆ หนึ่งกับเวลาแม้แต่อุณหภูมิคงที่ ดังนั้นในการเปรียบเทียบระบบที่ทำให้เสถียรที่อุณหภูมิกำหนดหนึ่งกับ ระบบที่กำลังดำเนินไปที่อุณหภูมิเดียวกัน มีความจำเป็นที่จะต้องระบุอายุของเจลเช่นเดียวกับอุณหภูมิของระบบ ยกตัวอย่างเช่น สภาพแข็งเกร็งมอดูลัส (rigidity modulus) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเวลาหลายชั่วโมงหลังจากแข็งตัวแล้ว (setting) และจะยังคงเพิ่มขึ้นอีก แต่ด้วยอัตราที่น้อยลง ซึ่งค่านี้ไม่เคยถูกพบมาก่อนว่าจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้พบว่าสภาพแข็งเกร็งมอดูลัสจะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งภายใน 2-3 ชั่วโมง (Ferry, 1948) ถ้าเจลถูกทำให้เป็นและปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิค่า การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นช้ามาก โดยความคงที่ที่ปรากฏให้เห็นนี้จะเรียกว่าเจลสมดุล (equilibrium gel)

จากคำอธิบายเกี่ยวกับการเกิดเจล จะเห็นว่าเจลได้เข้าสู่สภาวะอีกสภาวะหนึ่งแล้ว โดยถ้าเจลถูกทำให้เป็นลงแล้วทำให้ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ทำการวัด คุณสมบัติต่างๆจะยังคงเหมือนเดิม แต่ถ้าเจลถูกทำให้มีอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ และทำให้กลับมามีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ทำการวัดอีกครั้งหนึ่ง คุณสมบัติต่างๆของเจลที่สมดุลก็จะไม่เหมือนเดิมได้อีกเลย

ปรากฏการณ์เช่นนี้ไม่ได้ผิดปกติแต่อย่างใด แต่เป็นปรากฏการณ์ตามปกติของโครงสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์ (polymer network structure) ที่จะถูกทำให้เสถียรโดยแรงทุติยภูมิ (secondary force) การก่อดังกล่าวของโครงข่ายเกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาของพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับพอลิเมอร์ polymer-polymer interaction) และอันตรกิริยาของพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย (solvent-polymer interaction) ความสมดุลนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอย่างมาก และโครงสร้างโครงข่าย จะขึ้นอยู่กับวิธีการก่อตัวซึ่งจะขึ้นอยู่กับประวัติทางความร้อนของระบบอีกทีหนึ่ง ถ้าสารละลายเจลาติน ถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจะทำให้โมเลกุลได้รับผลของการแข็งตัว (frozen effect) ในช่วงแรกของโครงแบบ (configuration) ก่อนที่โมเลกุลจะเป็นตัวทำให้ระบบไม่เป็นระเบียบ และถ้าการเย็นตัวไม่เร็วอย่างเพียงพอ เมื่อสัมผัสกับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียงก็จะเกิดพันธะอ่อนๆจำนวนมาก ระหว่างสายโซ่ที่พันกันอยู่ โครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า โครงข่ายเจลาติน (fine) เพราะขอบเขตของ โมเลกุลเจลาติน 1 ตัวในสารละลายจะไปซ้อนทับกับขอบเขตของโมเลกุลรอบข้าง นอกเสียจากความเข้มข้นจะน้อยกว่า 2 มิลลิกรัม/เซนติเมตร

ในทางตรงกันข้าม การเป็นตัวอย่างช้าๆก็จะทำให้เกิด coarse network โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเจลที่เจือจาง link ก็คือบริเวณที่พันธะระหว่างสายโซ่ที่มีความเป็นระเบียบ การสัมผัสกันระหว่างสายโซ่ในสารละลายจะทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ (interchain bonding) แต่จะมีเพียงพันธะที่แข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่จะสามารถทนอยู่ได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พันธะอื่นๆก็จะสามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณใกล้เคียง และต่อเมื่อการเคลื่อนไหวทางความร้อนของสายโซ่ได้นำจุดเกิดพันธะเหล่านั้นเข้ามาใกล้กันเพียงพอ

โดยวิธีนี้ การรวมตัวของโมเลกุลจะเกิดขึ้นก่อน และต่อมาโครงสร้างโครงข่ายที่สมบูรณ์ก็จะพัฒนาขึ้นอย่างช้าๆ ถึงแม้ว่าเจลโครงข่ายจะได้แผ่ขยายไปทั่วทั้งสารละลายแล้ว link ก็ยังคงมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนของสายโซ่ (chain segment) ระหว่าง link ก็จะมีการเคลื่อนที่ทางความร้อนไปด้วย แม้ว่าความสามารถในการเคลื่อนไหวของสายโซ่จะถูกจำกัดให้น้อยลงกว่าสภาพที่เป็นสารละลาย แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดพันธะใหม่ขึ้น ตามธรรมชาติแล้ว การพัฒนาของโครงข่ายจะช้าลงเมื่อสารละลายมีอายุมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงของโครงข่ายจึงมักเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในเจลเจลาติน ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่เปปไทด์มีความอ่อนตัวมาก มีปริมาณไกลซีน (glycine) ที่สูง และลักษณะที่เป็นพลศาสตร์ (dynamics) ของพันธะไฮโดรเจน

## 2.7 ผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อเจลาติน

แม้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย แต่ก็อาจทำให้ค่าความหนืดของสารละลายเปลี่ยนแปลงได้อย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อสารละลายนั้นมีค่าความแข็งแรงเชิงไอออน (ionic strength) ต่ำ โดยการลดลงของความหนืดจะเกิดขึ้นน้อยที่สุดที่จุดไอโซไอออนิก (isoelectric point) และมากที่สุดที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และ 10.5 การเติมอิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(electrolyte) ลงไปจะทำให้ค่าความหนืดของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยลง โดย Stainsby ได้ให้เหตุผลว่า เมื่อโมเลกุลของเจลาตินมีค่าประจุสุทธิ (net charge) เกิดขึ้น จะทำให้มีแรงผลักระหว่างกัน และแรงนี้จะแรงที่สุดเมื่อค่าความแข็งแรงเชิงไอออนเป็นศูนย์ที่จุดไอโซไอออนิก จำนวนประจุบวกและลบที่เท่ากันจะทำให้เกิดการหักพับของโมเลกุลมากที่สุด เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างถูกทำให้สูงขึ้นหรือต่ำลงกว่านี้ประจุสุทธิจะเพิ่มขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิเอปไทด์เกิดการคลายตัว และค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้น แต่ว่าในการเพิ่มหรือลดค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นจะต้องมีการเติมกรดหรือด่าง ซึ่งทำให้มีไอออนประกบ (counter ion) เกิดขึ้น และถ้าไอออนประกบมีจำนวนมากพอ ก็จะทำให้แรงกระทำระหว่างประจุลดลง และเมื่อถึงระดับหนึ่งการคลายตัวของสายโซ่จะเกิดน้อยลงทำให้ความหนืดลดลง นอกจากนี้การเติมอิเล็กโทรไลต์ยังสามารถไปลดแรงระหว่างประจุได้ จึงเป็นผลให้การลดลงของความหนืดสามารถเกิดขึ้นได้ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างใดๆที่นอกเหนือจากจุดไอโซไอออนิก ตามปกติบนโมเลกุลของเจลาตินจะมีแรงดึงดูดโดยรวมระหว่างประจุต่างๆ ซึ่งแรงนี้จะลดลงเมื่อมีการเติมเกลือลงไป ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

## 2.8 การละลาย (Solubility)

เจลาตินแบบที่ทำให้แห้งโดยการฟุ้งลม จะละลายในน้ำอุ่นได้ง่าย ถ้าอนุภาคของเจลาตินถูกทำให้เปียกและมีเวลาในการบวมตัว (swell) อย่างเพียงพอ จะมีเพียงเจลาตินที่ละลายตัวได้หลายๆเท่านั้นที่สามารถละลายในน้ำเย็นแล้วเป็นสารละลายที่เสถียรได้ ส่วนเจลาตินทุกๆไปจะมีความสามารถในการบวมตัวในน้ำเย็นเท่านั้น และจะสามารถละลายได้อย่างช้าๆ ถ้ามีการเติมสารที่ละลายพันธะไฮโดรเจนลงไปในความเข้มข้นที่เพียงพอ ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีการบวมตัวเกิดขึ้น

การนำไปใช้ในเชิงการค้า (อาหาร ยา และการถ่ายภาพ) จะใช้เจลาตินในรูปของสารละลายในทางปฏิบัติแล้ว เจลาตินจะไม่ละลายในแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ อะซิโตน (acetone) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) อีเธอร์ (ether) เบนซีน (benzene) ปีโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) และตัวทำละลายอินทรีย์แบบไม่มีขั้ว (non-polar) เป็นส่วนมาก แต่จะสามารถละลายได้ในน้ำ กรดอะซิติก และสารละลายเจือน้ำของพอลิไฮดริค แอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) เช่น กลีเซอรอล (glycerol) โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) เซอร์บิทอล (sorbitol) และแมนนิทอล (mannitol) ความหนืดของสารละลายเจลาตินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เมื่อเจลาตินที่แห้งดูดซับความชื้น จะคายความร้อน ส่วนอัตราและปริมาณของการบวมตัวเมื่ออมความชื้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของเจลาติน เจลาตินที่บวมตัวแล้วจะละลายอย่างรวดเร็วในน้ำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส เจลาตินที่ถูกทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนพร้อมกับองค์ประกอบของน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ จะสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็จะเปลี่ยนเป็นเจลที่เสถียรทันที ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ผสมกับน้ำได้จะสามารถเข้ากับเจลาตินได้ แต่จะมีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเป็นเจล เนื่องจากสามารถใช้กระบวนการทางเคมีในการทำให้โครงข่ายเจลาตินที่มีการเชื่อมโยง (cross-linking) ทำให้มีการนำเจลาตินมาใช้ในผลิตภัณฑ์ทางการถ่ายภาพอย่างกว้างขวาง ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจเรียกได้ว่า คุณสมบัติการละลายของเจลาตินได้เปลี่ยนแปลงเป็นการแข็งตัวอย่างถาวร

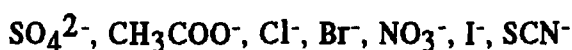
## 2.9 เสถียรภาพ (Stability)

เมื่อเก็บเจลาตินที่แห้งไว้ในภาชนะที่ป้องกันอากาศภายนอกได้ที่อุณหภูมิห้อง จะสามารถเก็บไว้ได้หลายปี แต่เจลาตินจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และจะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ เจลาตินในรูปของสารละลายน้ำหรือเจลจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตที่ดีของแบคทีเรีย และถูกทำให้สลายตัวโดยโปรติโอไลติกเอนไซม์ (proteolytic enzyme) ความเสถียรของเจลาตินขึ้นอยู่กับความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของอิเลกโตรไลต์ ความเสถียรของเจลาตินจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ

## 2.10 การบวมตัว (Swelling)

คุณสมบัติในการบวมตัวของเจลาติน ไม่เพียงแต่จะมีความสำคัญต่อการละลายของมันเท่านั้น แต่ยังมีความสำคัญต่อการล้างฟิล์มถ่ายภาพ และการละลายของแคปซูลยา เพื่ออธิบายการบวมตัวของเจลาติน ไม่อาจใช้สมการอย่างง่ายที่ใช้อธิบายการบวมตัวของพอลิเมอร์ทั่วไป เนื่องจากการบวมตัวโดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับจำนวนสายเชื่อมโยง (cross-link) ที่มี และค่าคงที่ของปฏิกิริยาระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย เชื่อกันว่าสายเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในเจลาตินจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาซ้ำซ้อนระหว่างสายโซ่ที่รวมตัวกันเป็น fibrils ซึ่งจะลดการบวมตัว ความเสถียรของสายเชื่อมโยงเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เวลา และชนิดของอิเลกโตรไลต์ ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของอิเลกโตรไลต์ที่มีต่อการบวมตัวของเจลาติน สามารถใช้ทฤษฎี Dannon equilibrium อธิบายได้ โดยจะสมมติเจลาตินให้เป็นเยื่อกึ่งซึมได้ (semi-permeable membrane) ก็จะสามารถอธิบายได้ว่า ทำไมเจลาตินจึงมีการบวมตัวน้อยที่สุดที่จุดไอโซอิเล็กทริก ชนิดของอิเลกโตรไลต์ที่มีผลต่อการบวมตัวของเจลาตินจะเรียงตามลำดับ Hofmeister หรือ Lyotropic series ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก สามารถเลือกใช้แอนไอออน (anion) ที่เหมาะสมในการควบคุมการบวมตัวได้ แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก ก็จะสามารถใช้แคทไอออน (cation) ในการลดการบวมตัวของเจลาตินได้ เนื่องจากแอนไอออนจะเข้าไปสลายพันธะไฮโดรเจน ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่การบวมตัวเพิ่มขึ้น

อัตราการบวมตัวของเจลาตินจะเป็นไปตามสมการอันดับที่สอง (โดยประมาณ) ในวัชคู้ที่ใช้ในงานถ่ายภาพ การบวมตัวของชั้นเจลาตินจะถูกควบคุมโดยสภาวะที่ใช้ในการเคลือบ สภาวะที่ใช้ทำให้แห้ง การเกิดการเชื่อมโยงทางเคมี และส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยถ้าใช้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะสามารถลดการบวมตัวของชั้นฟิล์มเจลาตินร้อน ที่เคลือบเอาไว้ได้อย่างมาก อัตราส่วนของการบวมตัวในแนวตั้งเทียบกับแนวนอน เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ถ่ายภาพ เนื่องจากมันสามารถทำให้เกิดการบิดงออย่างมากของกระดาษอัดรูปและฟิล์มถ่ายรูปได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น

## 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของเจลาตินกับคอลลาเจนที่ใช้เป็นสารตั้งต้น

องค์ประกอบของเจลาตินจะคล้ายคลึงกับคอลลาเจนที่ใช้เป็นสารตั้งต้น เมื่อเปรียบเทียบค่ากรดอะมิโนที่ได้จากคอลลาเจนหนังวัวกับเจลาตินที่ได้จะเห็นว่ามีส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่สอดคล้องกัน

### 2.11.1 ลักษณะขององค์ประกอบที่อาจจะแตกต่างกัน

ปริมาณ amide

การเตรียมวัตถุดิบโดยใช้กรดหรือด่าง จะทำให้เกิดการแยกสลายด้วยน้ำอย่างช้าๆของหมู่เอไมด์ที่ด้านแอสพาราจีน (asparagine) และกลูตามีน (glutamine) ของสายโซ่คอลลาเจน ทำให้เจลาตินที่สกัดได้มีปริมาณเอไมด์ที่ลดลง หมู่เอไมด์ที่เสียไปนี้จะทำให้มีจำนวนหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (free carboxyl) เพิ่มขึ้นที่สายโซ่ข้างเคียง (size chain) ของเจลาตินเป็นผลให้ประจุสุทธิที่โมเลกุลของเจลาตินมีความเป็นลบมากขึ้น ทำให้จุดไอโซอิเล็กทริกต่ำลง

## 2.112 องค์ประกอบหลักของเจลาติน (The Main Protein Component-Gelatin)

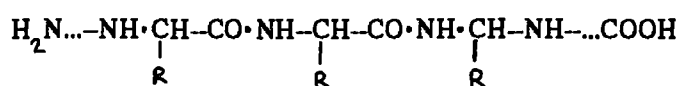
### A. ความชื้น (Moisture)

คามปกติแล้ว เจลาตินและกาวจากหนังสัตว์ จะเตรียมโดยการระเหยน้ำออกจากสารละลาย เจลาตินให้มากที่สุด โดยใช้กระแสลมร้อน แต่ก็ยังคงมีส่วนของน้ำยังหลงเหลืออยู่บ้าง เมื่อน้ำเจลาตินที่อยู่ในสภาพนี้มาสัมผัสกับอากาศ มันจะควบหรือสูญเสียน้ำอย่างช้าๆ จนกระทั่งมีปริมาณความชื้นที่จุดสมดุล โดยค่าที่จุดสมดุลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยทั่วไป ปริมาณความชื้นจะอยู่ในช่วง 9-14% เทคนิคการทำให้แห้งสมัยใหม่สามารถผลิตเจลาตินที่มีความชื้นในระดับที่ต่ำกว่านี้ได้ ผลิตภัณฑ์จำพวกนี้เรียกว่า เจลาตินแบบผึ่งแห้ง (air dried gelatin) และเมื่อสัมผัสกับอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นปกติ ปริมาณความชื้นและน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอย่างช้าๆ

น้ำส่วนมากสามารถถูกกำจัดออกไปได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้ความร้อนกับเจลาตินแบบผึ่งแห้ง ในสถานะสูญญากาศหรือทำให้ได้รับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ การแห้งตัวของเจลาตินในขั้นสุดท้าย จะเกิดขึ้นช้าลงเรื่อยๆ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำจะถูกยึดติดกับเจลาตินมากยิ่งขึ้น โมเลกุลของน้ำมีความสำคัญต่อโปรตีนมาก เนื่องจากมันสามารถให้และรับพันธะไฮโดรเจน และยังมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปอยู่ระหว่างสายโซ่โปรตีน โดยแรงยึดเหนี่ยวนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างของเจลาติน เจลาตินแบบผึ่งแห้งจะมีน้ำหนักคงที่ หลังจากที่อยู่ในสภาพสูญญากาศเป็นเวลา 2 อาทิตย์ที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส และถ้าทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เจลาตินจะมีน้ำหนักคงที่ในเวลา 3 วัน แต่ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 110 องศาเซลเซียสขึ้นไปภายใต้สูญญากาศ เจลาตินจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ แสดงว่ามีการสลายตัวขององค์ประกอบสารอินทรีย์เกิดขึ้น

### B. Amino acid composition

สายโซ่โมเลกุลของเจลาติน



ตารางที่ 2.1 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของเจลาติน

Amino acid	side chain structure (R)	จำนวนใน 1000 ส่วน
amide NH <sub>3</sub>		40.8
alanine	-CH <sub>3</sub>	110.8
glycine	H	326
valine	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	219
leucine	CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	23.7
isoleucine	CH(CH <sub>3</sub> )CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	9.6
proline		130.4
phenylalanine	CH <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	14.4
tyrosine	CH <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> OH	3.2
serine	CH <sub>2</sub> OH	36.5
threonone	CH(OH)CH <sub>3</sub>	17.1
arginine	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> NHC(NH)NH <sub>2</sub>	48.2
histidine	imidazolymethyl	6.0
lysine	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> NH <sub>2</sub>	26.2
aspartic acid	-CH <sub>2</sub> COOH	46.8
glutamic acid	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	72.0
hydroxyproline		95.5
hydroxylysine	-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH(OH)NH <sub>2</sub>	5.9
methionine	-CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> SCH <sub>3</sub>	5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 เจลของเจลาตินและการแปลงจากสารละลายไปเป็นเจล

### (The gelatin gel and the sol-gel transformation)

เมื่อสารละลายที่ร้อนของเจลาตินเย็นลง ความหนืดก็จะค่อยๆเพิ่มขึ้น ซึ่งในขณะนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นเจล โดยแทบจะสังเกตเห็นไม่เห็นเลยถ้าความเข้มข้นไม่มากพอและถ้าอุณหภูมิมีค่าต่ำเกินไปในจำพวกโปรตีน เจลาตินมีคุณสมบัติที่แปลกออกไป ซึ่งในกรณีนี้ความสามารถในการเปลี่ยนรูปจากของเหลวไปเป็นวัสดุ (material) เช่น ของแข็ง มันสามารถรักษารูปทรงของมันไว้ได้ และมีคุณสมบัติยืดหยุ่น (elastic) ในจำนวนสารธรรมชาติที่สามารถเกิดเจล (gel-forming agents) ส่วนใหญ่แล้วเป็นการไบโไฮเดรต เจลาตินมีพฤติกรรมที่แปลกหลายอย่าง มันสามารถเปลี่ยนเป็นเจลที่เสถียรทั้งในช่วงกว้างของความเป็นกรดและด่าง โดยไม่ต้องเพิ่มไอออนเฉพาะหรือสารเคมีตัวอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ช่วงการเกิดเจลเจลาตินนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถเกิดเจลได้จะมีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนเมื่ออุณหภูมิของระบบต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

เจลที่มีความเข้มข้นมาก (หลังจากเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่ง (storage)) จะได้รูปแบบของ x-ray diffraction ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการมีบริเวณที่มีความเป็นระเบียบเล็กๆเกิดขึ้น (crystallites) ถึงแม้ว่าจะไม่มี long-range ordering ของบริเวณที่มีความเป็นระเบียบเหล่านี้ จากหลักฐานนี้ ได้มีผู้คาดเดาว่า เจลนั้นก็คือโครงข่าย 3 มิติของโมเลกุล เจลาติน (Herman และ Gemgross, 1930) ซึ่งมีตัวทำละลายถูกกัก ในโครงข่ายที่สอดคล้องกันที่เรียกว่า "link" ของโครงข่าย เป็นจุดที่สายโซ่พอลิเปปไทด์หลายๆสายมาพบกัน ซึ่งได้ถูกเชื่อว่าเป็นบริเวณที่มีความเป็นระเบียบในระหว่าง link สายโซ่ หรือ strand และมักจะมีความยืดหยุ่นซึ่ง strand แต่ละอันสามารถจะเชื่อมโยงกับ link ได้หลายอัน

จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของเจลเจลาติน สามารถอธิบายได้อย่างน้อยในเชิงคุณภาพโดยอาศัยโครงสร้างของโครงข่ายที่มี 5 หรือ 6 ตำแหน่งการเชื่อมโยง ต่อ 1 โมเลกุล Link ของโมเลกุลเหล่านั้นสามารถเสถียรได้โดยแรงพันธะไฮโดรเจนมากกว่าพันธะโคเวเลนต์ เพราะว่าเจลนั้นสามารถหลอมได้เร็ว (Ferry, 1948) และพบว่าพันธะไฮโดรเจนมีบทบาทที่สำคัญในการเกิดเป็นเจลของเจลาติน (Meyer, 1942 )

ปรากฏการณ์ของการเจลได้รับความสนใจสืบต่อกันมาเรื่อยๆ ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้ศึกษาและสนับสนุนความคิดของทฤษฎีโครงข่ายซึ่งได้ถูกค้นพบขึ้นก่อนหน้านี้นี้ แต่ก็ยังมีข้อคัดค้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันเนื่องจากไม่มีรายละเอียดของกลไกที่สมบูรณ์เพียงพอ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะอธิบายว่าทำไมสภาพแข็งเกร็ง (หรือความแข็งแรง (strength)) ของเจลเจลาตินจะมีค่าโดยประมาณเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเข้มข้นของโปรตีน (นอกเสียจากว่าเจลนั้นจะเจือจางมาก) และก็ไม่มีความอธิบายเชิงปริมาณ เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของสภาพแข็งเกร็งกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาในเชิงคุณภาพ จะเห็นว่าการลดลงอย่างช้าๆ ของสภาพแข็งเกร็ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนที่ลดลง นอกจากพันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลายโดย urea, KSCN, LiBr ฯลฯ แล้วยังทำให้ความแข็งแรงของโครงข่ายลดลงด้วย เช่นเดียวกับในกรณีที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ความก้าวหน้าในการศึกษาปรากฏการณ์การเป็นเจลของเจลาติน ทำให้พบว่าประกอบขึ้นจากขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ ในขั้นแรก เมื่อสารละลายถูกทำให้เย็นลง โมเลกุลของเจลาตินจะรวมกลุ่มกันบางส่วน โดยการรวมกลุ่มของโมเลกุลจะยังเกิดขึ้นแม้สารละลายจะเจือจางมากก็ตาม จากนั้นกลุ่มของโมเลกุลก็จะเชื่อมต่อกัน มีโครงสร้างเป็นโครงข่ายอ่อนๆ เมื่อสารละลายเย็นลงอีกหรือมีการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ สารละลายที่เป็นเจลจะมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งในขั้นนี้อาจมีโครงสร้างต่างๆ เกิดขึ้นได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประวัติทางความร้อนของเจล และการแตกตัวแล้วเชื่อมโยงกันใหม่ของพันธะต่างๆ ในโครงข่ายที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ในที่สุดเมื่อเจลถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นมันจะละลายกลายเป็นกลุ่มของโมเลกุลของเหลว จากนั้นกลุ่มโมเลกุลก็จะแพร่กระจายออกเป็นอิสระเมื่ออุณหภูมิสูงพอ

### 2.13 คุณสมบัติทางความร้อนของเจลาติน (Thermal properties of gelatins)

จากการวิเคราะห์ทางความร้อนภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาไพโรไลซิส จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส และปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน จะเริ่มเกิดที่ 230 องศาเซลเซียส โดยจะเกิดมากที่สุดที่ 241±4 องศาเซลเซียส ถึงแม้การเปลี่ยนแปลงนี้ จะมีความคล้ายคลึงกับการหลอมเหลว แต่ก็มีปฏิกิริยาเคมีแบบไม่ย้อนกลับเกิดขึ้นด้วย

### 2.14 ดัชนีหักเหแสง (Refractive index)

การวัดดัชนีหักเหแสง เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้หาความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินได้อย่างรวดเร็ว และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต ตามปกติ สารละลายน้ำของเจลาติน จะมีดัชนีหักเหแสงเพิ่มขึ้น 0.0018 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 1%

ที่อุณหภูมิ 34.5 องศาเซลเซียส โดยอาจจะมี ความคลาดเคลื่อนประมาณ  $\pm 0.15\%$  แม้จะมีเกลือของสารอนินทรีย์เจือปนอยู่ ก็ไม่ทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนมากนัก

### **2.15 โลหะที่เจือปนอยู่ในเจลาติน (Gelatin contaminants - metals)**

การหาโลหะที่เจือปนอยู่ในเจลาตินมีความสำคัญมาก เนื่องจากโลหะที่เจือปนอยู่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะคุณสมบัติทางด้านสีและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมทำฟิล์มถ่ายภาพและกระดาษอัดภาพ เจลาตินที่จะใช้เป็นอาหารจะต้องมีการวิเคราะห์หาโลหะที่เป็นพิษสำหรับโลหะโคโรเมียม สามารถใช้เทคนิค Atomic absorption spectroscopy หรือ Colorimetry โดยใช้การทำปฏิกิริยาให้เกิดสีกับ Diphenylcarbazide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การทดลอง

##### 3.1 เครื่องมือ

1. Atomic Absorption / Flame Emission Spectrophotometer  
(SHIMADZU AA-680) และ Hollow Cathode Lamp analytical line 357.87 nM. for Chromium (HAMAMATSU L 233-24 NB)
2. Abbe Refractometer (ATAGO model IT)
3. Polarimeter (ATAGO POLAX-D)
4. Curie point Pyrolyzer (JAI JHP-22) และ Pyrolysis foil 590°C.  
(JAI F-590) และ Gas Chromatograph (SHIMADZU GC-9A) และ Gas Chromatography column (JAI PEG 20 M 10% SW 60-80 NAW)
5. Differential Scanning Calorimeter (SHIMADZU DSC-50) และ Thermal Analysis Software (SHIMADZU TA-50)
6. Infrared Spectrophotometer (HITACHI i-3001)
7. Hot plate 600 W. / stirrer 1200 rpm. (FRAMO-GERATETECHNIK M21/1)
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 1/10000 (SARTORIUS ANALYTIC AC 210 S)
9. Mechanical stirrer (JANKE & KUNKEL RW 20 DZM)
10. Water bath (SCHOTT-GERATE CT-1150)
11. เครื่อง centrifuge 6000 rpm. ขนาด 800 g. (JOUAN BB)
12. Low temperature water recirculator (EYELA CA-101)
13. เครื่องชั่งละเอียด 1/10 g. (METTLER BB-3000)
14. Freeze dryer (EYELA FD-1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Rotary evaporator (BUCHI RE-120)
16. Vacuum pump ขนาด 1/6 hp. (GAST V45M G2300X)
17. Aspirator (EYELA A-35)
18. ชุดกรอง Bucher ขนาด 4000 ml. (PYREX)
19. ตู้อบขนาด 5800 พ. (MEMMERT UL-80)
20. pH-meter (SCHOTT-GERATE CG-822)
21. Conductometer (SCHOTT GERATE CG-855)

### 3.2 สารเคมี

1. Sodium Chloride >99.5% pure (FLUKA 71380)
2. Gelatin 180 bloom (FLUKA 48722)
3. AMBERLITE IRA-400 strongly basic anion exchanger in chloride form (SIGMA 9002-24-8)
4. AMBERLITE IR-120 cation exchanger (FLUKA 06428)
5. Sodium Carbonate anhydrous 99.5% pure (CARLO ERBA 479307)
6. Calcium Oxide ex marble 95% (FLUKA 21205)
7. Atomic spectral standard Chromium 1000 ppm. (J.T. BAKER 6926-01)
8. Sodium Sulphate anhydrous 99.0% pure (FLUKA 71962)
9. Sulfuric acid 98% (J.T. BAKER 9681-03)
10. กระดาษกรองเบอร์ 1 (WHATMAN)
11. กระดาษกรองเบอร์ 541 (WHATMAN)
12. Ninhydrin

### 3.3 การสกัดเจลาติน

#### วิธีที่ 1 การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการชูดโดยใช้ปูนขาว

1. นำเศษหนังที่เหลือจากการชูดมาบดให้เป็นผง แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
2. ชั่งเศษหนังที่บดเป็นผงและอบแห้งแล้ว 10 กรัม และน้ำ 200 มิลลิลิตร ลงในขวดกันกลม 3 คอขนาด 500 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
3. เติมปูนขาว (Calcium Oxide) จำนวน 2 กรัม กวนอย่างเร็วจนเข้ากัน
4. กวนช้าๆต่อไป 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
5. กรองของเหลวที่ได้ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1
6. นำของเหลวที่ได้ไประเหยน้ำออกให้เข้มข้น ด้วยเครื่องระเหยตัวทำละลายแบบหมุน (Rotary Evaporator) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศ 8 นิ้วปรอท
7. นำของเหลวเข้มข้นไป Freeze dry เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. ชั่งน้ำหนักของสารที่ได้

#### วิธีที่ 2 การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการชูดโดยใช้กรด

1. นำเศษหนังที่เหลือจากการชูดมาป้อนกลับ (Reflux) ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 3% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. นำกากที่เหลืออยู่มาเติมลงในสารละลายที่มีกรดซัลฟูริก 2% และโซเดียมซัลเฟต 3% ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ลอดอุณหภูมิลงเป็น 30 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง
4. นำกากที่เหลือมาเติมกรดซัลฟูริก 2% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. กรองสารละลายที่ได้ แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 6.5-7.5 โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์
6. กรองตะกอนออก แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 5.0-5.5 โดยใช้กรดฟอสฟอริก

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดนี้ไปละลายน้ำและแช่เย็น พบว่าสารละลายไม่เกิดการเจล ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสถานะที่ใช้มีความรุนแรงมากเกินไป โดยเฉพาะหน้าที่เหลือจากการขูดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นสารละลายไปทั้งหมด ตั้งแต่ขั้นที่ป้อนกลับด้วยโซเดียมคาร์บอเนต จึงได้ทำการปรับสถานะที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ให้รุนแรงน้อยลงดังต่อไปนี้

1. นำเศษหน้าที่เหลือจากการขูดที่บดและอบแห้งแล้ว 10 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำ 200 มิลลิลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 6 กรัม กวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
2. กรองน้ำออกโดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วเติมสารละลายกรดซัลฟูริก 2% ที่มีโซเดียมซัลเฟต 3% 200 มิลลิลิตร กวนอีก 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
3. กรองสารละลายทิ้งไป ฉีดน้ำล้างกากที่กรองได้จนสีเขียวหมดไป
4. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 2% 200 มิลลิลิตร กวน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
5. กรองเก็บสารละลายเอาไว้ นำกากไปสกัดด้วยน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองเอาสารละลายออก ส่วนกากที่เหลือนำไปสกัดด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส นำสารละลายที่กรองได้ มารวมเข้าด้วยกัน และนำไปประเหยน้ำออก ด้วยเครื่องระเหยแบบหมุนที่ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศ (8 นิ้วปรอท) จะได้เจลาตินที่เป็นของแข็ง กระบวนการสกัดนี้จะทำให้ได้เจลาตินที่มีคุณสมบัติในการเจลสูง

### 3.4 การทดสอบเจลาตินด้วยนินไฮดริน

นำสารละลายเจลาตินมาตรฐาน และเจลาตินที่สกัดได้แต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยากับนินไฮดรินจากการทดลองปรากฏว่า สารละลายเจลาตินมาตรฐาน สารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัดด้วยต่างและสารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัดด้วยกรด ต่างก็ให้สารละลายสีม่วงกับนินไฮดริน

### 3.5 การวิเคราะห์เจลาตินด้วยอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

นำตัวอย่างเจลาตินมาตรฐาน และตัวอย่างเจลาตินอบแห้งที่ได้จากการสกัดด้วยต่างและกรด แต่ละตัวอย่างมาเตรียมเป็นแผ่นไปแคสเซียมโบรไมด์ (KBr disc) และทำการวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในย่าน 650-4000 ซม.<sup>-1</sup>

### 3.6 การวิเคราะห์เจลาตินโดยเทคนิคก๊าซโครมาโตกราฟี

#### 3.6.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์

ชนิด Column	PEG 20M 10% SW 60-80 NAW
Carrier gas	Nitrogen 50 lit./min.
Detector	Flame Ionization Detector
อุณหภูมิของ column	50-220°C. @ 15°C./min.
อุณหภูมิของ injector	200°C.
อุณหภูมิ pyrolysis	590°C.
เวลา pyrolysis	3 sec.
อุณหภูมิ oven	150°C.
อุณหภูมิ pipe	200°C.
Signal Attenuation	$5 \times 10^3$
ระยะเวลาวิเคราะห์	25 นาที
น้ำหนักตัวอย่าง	≈ 2.0 ม.ก.

#### 3.6.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. นำ pyrolysis foil มาพับเป็นกรวยขนาดเล็ก แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด
2. ตักตัวอย่างเจลาตินที่อบแห้งแล้วมาเล็กน้อย บรรจุลงใน foil แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หนึ่งหาน้ำหนักของตัวอย่างที่บรรจุลงไป
3. ติดตั้ง foil เข้าในเครื่อง pyrolizer รอให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 5 นาที จึงเริ่มทำการวิเคราะห์
4. เปรียบเทียบโฟโรไลซิส-ก๊าซ โครมาโตแกรม (pyrolysis-gas chromatogram)

### 3.7 การวัดปริมาณโลหะโครเมียมในสารละลายเจลาติน

เพื่อเป็นการหาปริมาณโลหะโครเมียม ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในสารละลายเจลาตินที่สกัดได้ จึงได้นำตัวอย่างสารละลายจากการสกัดมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโครเมียม

#### 3.7.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. ใช้ไมโครปิเปต (micro-pipette) ดูดสารละลายมาตรฐานโครเมียมมา 250, 500, 750, 1000, 1250 และ 1500 ไมโครลิตร บรรจุลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโครเมียมที่มีความเข้มข้น 2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 และ 15.0 ppm. ตามลำดับ

#### 3.7.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1. แบ่งสารละลายที่ได้จากการสกัดเจลาติน ซึ่งกรองแล้วมาประมาณ 20 มิลลิลิตร
2. ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50%

#### 3.7.3 การวัด

1. ปรับตั้งเครื่อง Atomic Absorbtion Spectrophotometer(AA)โดยใช้สภาวะต่างๆดังต่อไปนี้ :

#### 3.7.สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในเจลาติน

HCL element	Chromium
กระแส	10 mA.
ขนาด slit	0.5 nM.
ความยาวคลื่น	357.9 nM.
mode การวัด	background correction
ชนิดของ flame	air-acetylene
อัตราการไหลของ fuel	3.0 lit. / min.
อัตราการไหลของ oxidant	8 lit. / min.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของ burner	10 cm.
ความสูงของ burner	0.7 mm.
มุมของ burner	0°
signal-processing	integrated - hold
prespray time	3 sec.
integration time	5 sec.
จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ	2
จำนวนการวัด	2 ครั้ง
coefficient of variance	10
conc. calibration method	normal

2. ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำกลั่นเพื่อหาค่า blank
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานที่สะดวก เริ่มจากขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดก่อน เครื่องจะสร้าง standard curve โดยอัตโนมัติ
4. ทำการวัดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง 3 ครั้ง
5. ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ เครื่องจะทำการเทียบเป็นหน่วยความเข้มข้นกับ standard curve โดยอัตโนมัติ ซึ่งก็คือความเข้มข้นของโครเมียมที่มีอยู่ในสารละลายสกัดเจลาติน ปริมาณโครเมียมทั้งหมดที่ถูกสกัดออกมาพร้อมกับเจลาติน สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ :-

$$Cr = [Cr] \times \frac{L}{1000}$$

โดย Cr = ปริมาณของโครเมียมที่ถูกสกัดออกมา หน่วยคือ มิลลิกรัม

[Cr] = ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายเจลาตินที่สกัดได้ หน่วยคือ ppm.

L = ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการสกัด หน่วยคือ มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ในการสกัดเจลาติน ใช้น้ำในการสกัด 200 มิลลิลิตร หลังจากการสกัด แล้วพบว่า สารละลายเจลาตินที่สกัดได้ มีความเข้มข้นของโครเมียมอยู่ 7 ppm. จากการคำนวณ

$$Cr = 7 \times \frac{200}{1000}$$

$$Cr = 1.4 \text{ mg.}$$

แสดงว่าในผลิตภัณฑ์เจลาตินที่จะได้ในที่สุด จะมีโครเมียมเจือปนอยู่ 1.4 มิลลิกรัม

### 3.8 การหาค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายเจลาติน

การวัดค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายเจลาติน เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้หาความเข้มข้นของเจลาตินในสารละลายได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

#### 3.8.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. ชั่งผงเจลาตินชนิด 180 bloom ให้ได้น้ำหนัก 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม บรรจุลงในบีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร อุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนตลอดเวลา
3. เมื่อผงเจลาตินละลายหมดแล้ว จึงถ่ายสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
4. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเจลาตินที่มีความเข้มข้น 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% และ 1.0% ตามลำดับ

#### 3.8.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

จุดสารละลายสกัดเจลาตินที่กรอง และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางแล้วมา 2-3 หยด

#### 3.8.3 การวัด

1. หยดน้ำกลั่นลงบนหน้ากระจกของเครื่อง Refractometer 2-3 หยด แล้วอ่านค่าดัชนีการหักเหจากสเกลในช่องมองภาพ ควรอ่านให้ละเอียด 4 หลักทศนิยม บันทึกค่าอุณหภูมิที่ทำการ วัดทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เช็ดหน้ากระจกให้แห้ง หยดสารละลายมาตรฐานเจลาติน เริ่มจากขวดที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุด วัดค่าดัชนีหักเหแสงจนครบทุกความเข้มข้น จากนั้นจึงวัดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมไว้
3. สร้าง calibration curve โดยการวาดกราฟระหว่างความเข้มข้นในแกนนอน ค่าดัชนีหักเหแสงในแกนตั้ง โดยเริ่มจากความเข้มข้นที่เป็นศูนย์ของน้ำกลั่น
4. นำค่าดัชนีหักเหแสงของสารละลายตัวอย่าง ไปเทียบกับ calibration curve เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างสารละลายเจลาติน

### 3.9 การหาค่าการหมุนของแสงที่ผ่านสารละลายเจลาติน

#### 3.9.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. ชั่งผงเจลาตินมาตรฐานจำนวน 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 กรัม ละลายในบีกเกอร์ที่มีน้ำอุ่น
2. นำสารละลายเจลาตินที่ได้ มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานเจลาตินที่มีความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0%

#### 3.9.2 การวัด

1. เปิดเครื่อง polarimeter เอาไว้ก่อนประมาณ 20 นาที
2. ทำการปรับตั้งเครื่อง โดยการใช้ น้ำกลั่นบรรจุลงในเซลล์ การหมุนของแสงที่วัดได้ควรจะมีค่า 0.00° พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิในช่องบรรจุเซลล์ของเครื่องด้วย
3. เติมสารละลายมาตรฐานลงในเซลล์ เริ่มจากขวดที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุด และควรรีวเซลล์ด้วยน้ำกลั่นหลังจากการวัดแต่ละครั้ง
4. ดูดสารละลายที่ได้จากการสกัดเจลาตินมาประมาณ 10 มิลลิลิตร บรรจุลงในเซลล์ แล้วทำการวัด
5. นำค่าการหมุนของแสงที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเจลาติน มาเขียนเป็นกราฟกับความเข้มข้น แล้วนำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานเจลาตินมาเทียบหาความเข้มข้น

### 3.10 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของเจลาตินโดยใช้เครื่อง Differential

#### Scanning Calorimeter

นำผงเจลาตินที่อบแห้งแล้วมาบรรจุลงในเซลล์แบบถ้วย (ไม่ควรใช้แบบคัลบ์ เนื่องจากเมื่อสารเดือดจะล้นออกมานอกเซลล์) ให้น้ำหนักประมาณ 2 มิลลิกรัม แล้วเริ่มทำการวิเคราะห์จากอุณหภูมิห้องไปจนถึง 300 องศาเซลเซียส โดยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นนาทีละ 10 องศาเซลเซียส โดยมีการบันทึกค่าที่วัดได้ทุก 1 วินาที ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

### 3.11 การหาจุดไอโซไอออนิกของสารละลายเจลาติน

นำผงเจลาติน 6 กรัม ละลายในน้ำอุ่นประมาณ 50 มิลลิลิตร จากนั้นจึงเจือจางจนมี ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร ผสมไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน (Ion-exchange resin) ชนิด IRA400 กับ IRA120 ในอัตราส่วน 5 ต่อ 2 แล้วบรรจุในไอออนเอ็กซ์เชนจ์คอลัมน์ (Ion-exchange column) ที่รองกันด้วย紗ลี้ ควรให้เรซินมีปริมาตรประมาณครึ่งหนึ่งของคอลัมน์ และควรเลือกคอลัมน์ที่มีลักษณะเรียวยาว จากนั้นจึงรีเจเนอเรต (Regenerate) เรซินก่อน โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10% เเทลงในคอลัมน์แล้วกักเอาไว้ประมาณ 10 นาที จึงถ่ายออก แล้วเทน้ำกลั่นลงไปล้าง เมื่อของเหลวไหลออกมาหมดแล้ว จึงเทสารละลายเจลาตินที่เตรียมไว้ลงในคอลัมน์ แล้ววัดค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเจลาตินที่ผ่านคอลัมน์ออกมา

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

**ตารางที่ 4.1 การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้ปูนขาว**

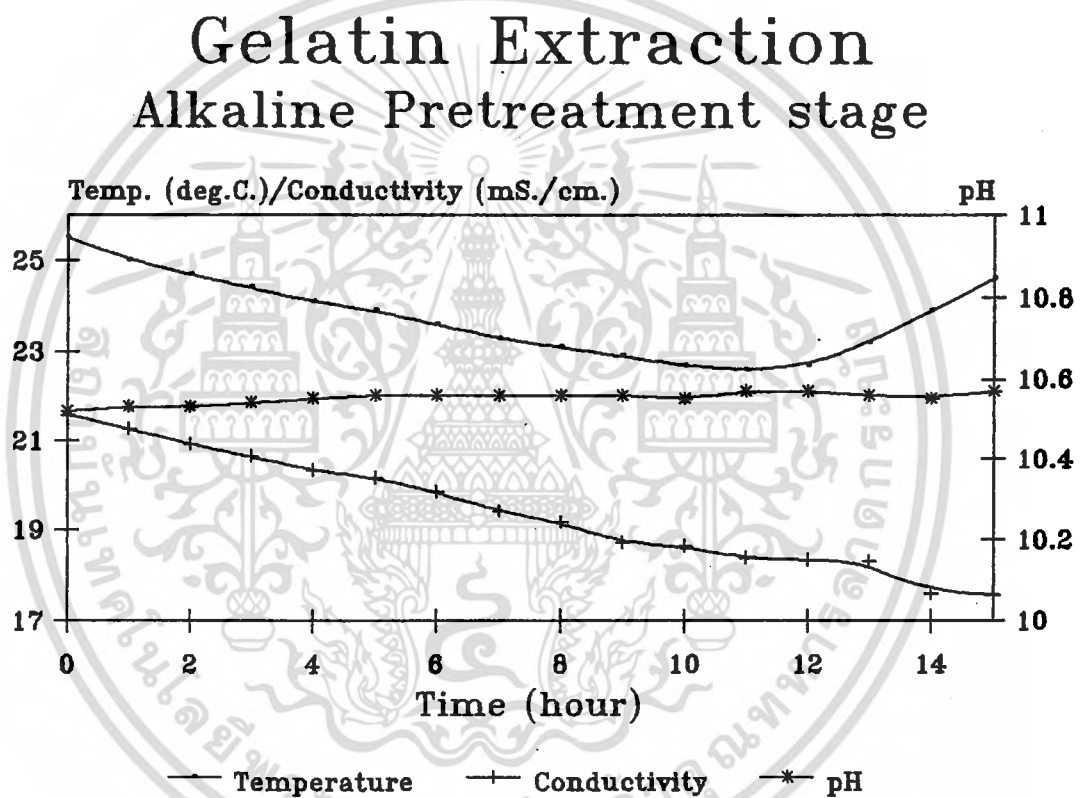
ชุดที่	นน.เศษหนัง ที่เหลือจาก การขูด (กรัม)	ความเข้มข้น แคลเซียม ออกไซด์ (%)	อุณหภูมิที่ใช้ ในการสกัด (°C.)	ระยะเวลาการ สกัด (ชั่วโมง)	ปริมาณโคร- เมียมตกค้าง (ppm.)
1	10	1	85	15	15
2	10	1	85	2.0	1.6
3	10	1	85	2.5	1.7
4	10	1	90	2.5	1.9

**ตารางที่ 4.2 การสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้กรด**

ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C.)	ความเข้มข้นของ โครเมียมตกค้าง (ppm.)	ความเข้มข้นของ เจลาตินในสารละลาย (%)	isotonic point (pH)
ปรับสภาพโดยใช้ ด่าง	≈25	--	--	--
กำจัดโครเมียม	≈25	373	--	--
สกัดครั้งที่ 1	≈25	215	4	--
สกัดครั้งที่ 2	≈37	215	0.6	6.70
สกัดครั้งที่ 3	≈60	2.7	5.2	6.47

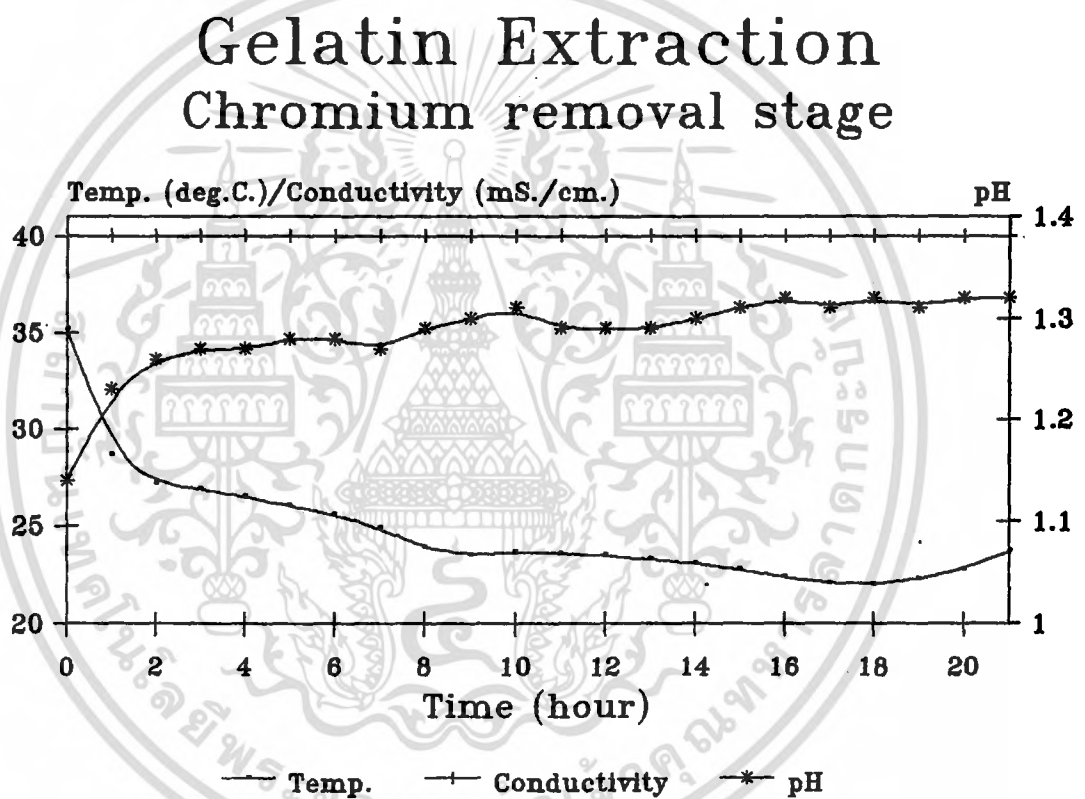
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.1 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนของสภาวะในขั้นตอนการปรับสภาพโดยใช้ด่าง



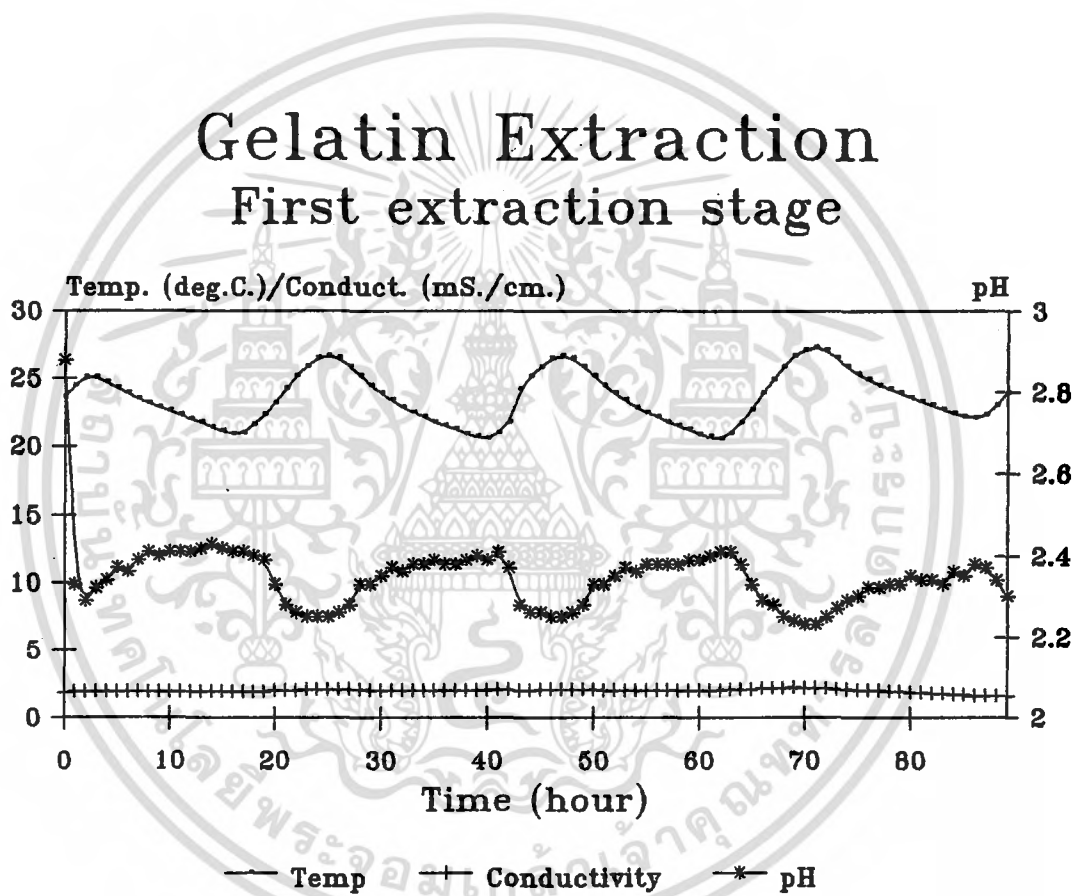
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.2 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสถานะในขั้นตอนการกำจัดโครเมียม



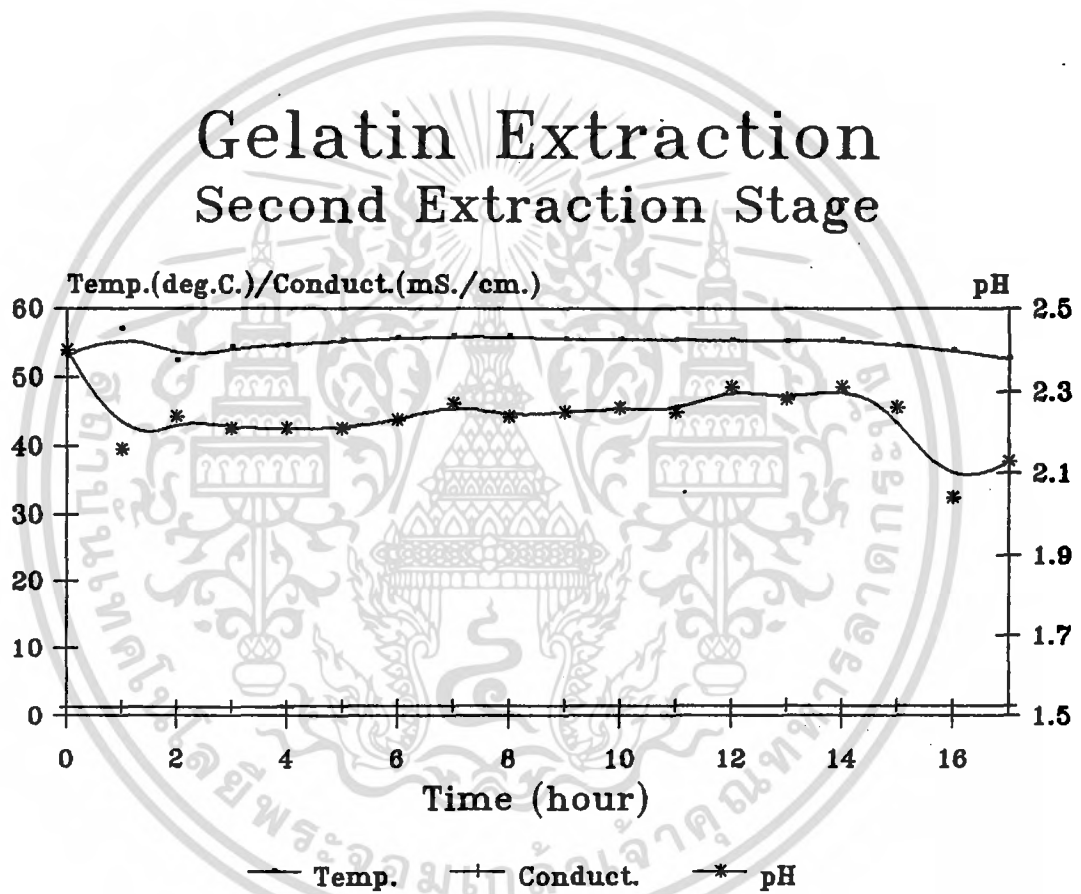
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.3 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในการสกัดครั้งแรก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2.4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสถานะในการสกัดครั้งที่สอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3 การวัดค่าดัชนีการหักเหแสง และการหมุนของระนาบแสง**

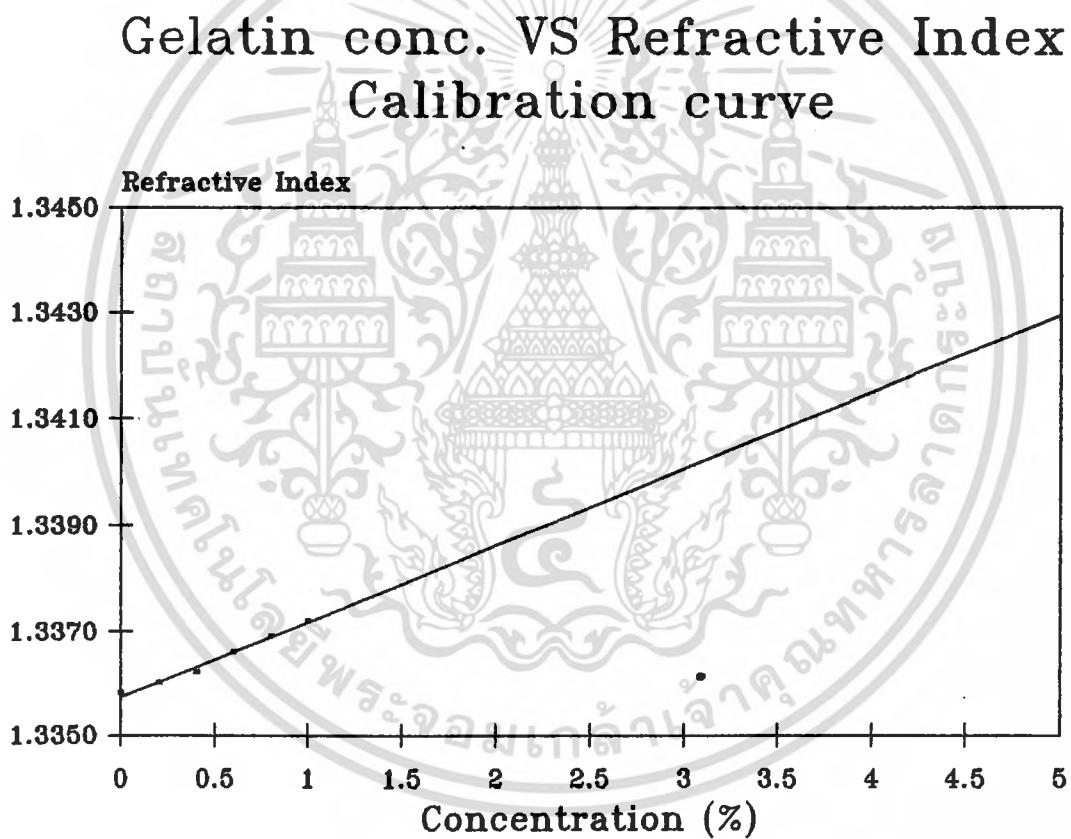
**ของสารละลายเจลาติน**

ความเข้มข้นของสารละลาย เจลาติน (%)	ดัชนีการหักเหแสง	การหมุนของระนาบแสง (องศา)
0.0	1.3358	0.00
0.2	1.3360	-0.15
0.4	1.3362	-1.10
0.6	1.3366	-1.45
0.8	1.3369	-2.00
1.0	1.3372	-2.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

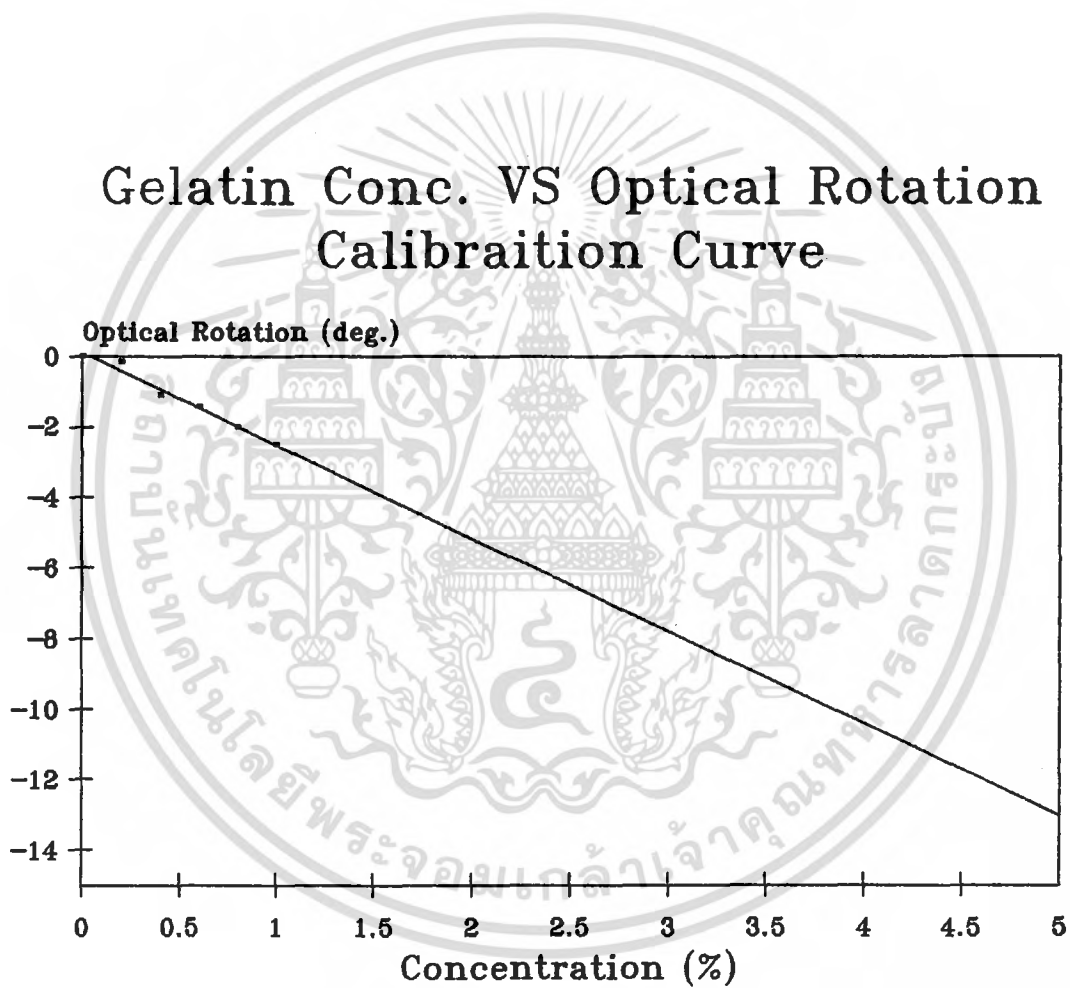
ความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินกับค่าดัชนีการหักเหแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินกับการหมุนของระนาบแสง

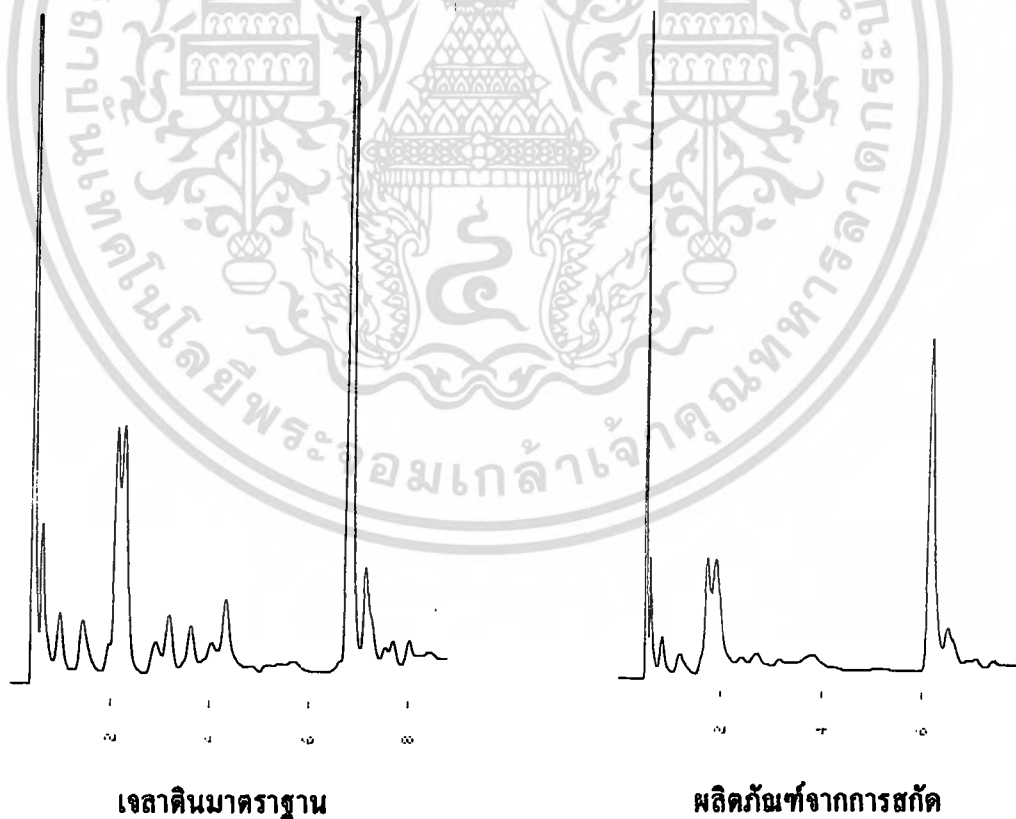


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4 การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของเจลาตินมาตรฐาน**

อุณหภูมิ (°C)	ชนิดปฏิกิริยา
80.3	คายความร้อน
198.7	ดูดกลืนความร้อน
229.3	คายความร้อน
242.6	คายความร้อน
289.2	คายความร้อน

**รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เจลาตินด้วยเทคนิค ก๊าซโครมาโตกราฟี**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เจลาตินด้วยเทคนิค อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี**

$V_{max}$ เจลาตินมาตรฐาน (KBr disc)	$V_{max}$ เจลาตินสกัดด้วยต่าง (KBr disc)	$V_{max}$ เจลาตินสกัดด้วยกรด (KBr disc)
3636-3200	3636-3200	3636-3200
3100-2616	3100-2616	3100-2616
1710	1710	1710
1636	1636	1636
1524	1540	1530
1074	1100	1100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักดังนี้

1. ศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้ปูนขาว
2. ศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้กรด
3. ศึกษาวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เจลาติน

#### 5.1 ศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการขูดโดยใช้ปูนขาว

วิธีการสกัดนี้ ได้เลือกใช้วิธีเดียวกับการเปลี่ยนเศษหนังที่เหลือจากการขูดให้เป็นสารประกอบโปรตีน เพื่อไว้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ (Alves Dos Reis, M. and Beleza, V. ,1989) เพราะมีกระบวนการคล้ายคลึงกับการสกัดเจลาติน และสารเคมีที่ใช้คือ ปูนขาว เป็นสารที่หาง่ายและราคาถูก นอกจากนี้วิธีการนี้ยังสามารถกำจัดโครเมียมที่เจือปนอยู่ในเศษหนังที่เหลือจากการขูดให้เหลืออยู่ในระดับที่น้อยกว่า 0.1 ppm.

หลักการของกระบวนการนี้ คือการใช้สารละลายปูนขาวซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง ร่วมกับการใช้ความร้อน ทำให้เกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำ เป็นผลให้โมเลกุลของคอลลาเจน ซึ่งมีลักษณะเป็นสายโซ่สามสายเชื่อมต่อกันแล้วม้วนตัวเป็นเกลียว เกิดการคลายตัวออก และแยกออกเป็นอิสระจากกัน กลายเป็นโมเลกุลของเจลาติน นอกจากนี้ โลหะโครเมียมที่เจือปนอยู่ในโครงข่ายด้วยก็จะหลุดออกมาในรูปของตะกอนเกลือไฮดรอกไซด์ ที่สามารถกรองออกได้ด้วย

ตามปกติในกระบวนการฟอกหนัง จะมีการเติมโครเมียมประมาณ 7% ของน้ำหนักหนังที่จะทำการฟอก ดังนั้นถ้านำเศษหนังที่เหลือจากการขูดมาสกัดเป็นเจลาติน โดยไม่มีการกำจัดโครเมียม จะทำให้มีโครเมียมตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์มากถึง 3500 ppm. จากผลการทดลองจะเห็นว่า สารละลายเจลาตินที่สกัดได้ จะมีปริมาณโครเมียมในระดับที่ไม่สูงกว่า 2 ppm. (ดังแสดงในตารางที่ 4.1 )หรือคิดเป็นปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัดออกไปมากถึง 99.94% และถ้าทำการสกัดโดยใช้ความเข้มข้นของปูนขาวที่เท่ากันทุกครั้ง จะพบว่า การเพิ่มระยะเวลาหรืออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะมีผลทำให้มีปริมาณโครเมียมที่ถูกกำจัดออกมามากขึ้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณ

โครเมียมตกค้างในสารละลายที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามเจลาตินที่สกัดได้จากกระบวนการนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะใช้บริโภค เพราะเจลาตินที่สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ควรจะมีโครเมียมน้อยกว่า 0.1 ppm.

เมื่อนำสารละลายที่ได้จากการสกัดไปทดลองแช่เย็น ผลปรากฏว่าสารละลายเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งโดยไม่แสดงสถานะที่เป็นเจล โดยที่ผลการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโคปียังคงแสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกับเจลาตินมาตรฐาน จึงสันนิษฐานว่าสภาวะที่ใช้ในการสกัด ซึ่งใช้สารละลายปูนขาว 1% (จะมีค่า pH 11) อาจจะมีความเป็นด่างแรงเกินไป ทำให้สายโซ่โมเลกุลของเจลาติน ที่ควรจะมีมวลโมเลกุลประมาณ 50000-70000 เกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำต่อไปอีก จนในที่สุด สายโซ่เจลาตินที่ได้จะมีมวลโมเลกุลน้อยกว่าที่จะเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายของเจลได้

## 5.2 การศึกษาการสกัดเจลาตินจากเศษหนังที่เหลือจากการชุบโดยใช้กรด

วิธีนี้ได้ใช้วิธีของ Yazykov และ Konoshonkina ซึ่งเป็นวิธีการผลิตสารละลายเจลาตินจากเศษหนังฟอกสำเร็จ โดยการนำเศษหนังมาต้มในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเจือจาง แล้วนำกากที่ได้มาแยกสลายโดยใช้กรดซัลฟูริกเจือจาง

กระบวนการนี้ถูกออกแบบมาเพื่อการผลิตสารละลายเจลาติน จากเศษหนังที่ฟอกและคกแต่งสำเร็จแล้ว เมื่อนำกระบวนการดังกล่าวไปทดลองใช้กับเศษหนังที่เหลือจากการชุบ ปรากฏว่าเศษหนังทั้งหมดสลายตัว ตั้งแต่ขั้นตอนการต้มในสารละลายด่างของโซเดียมคาร์บอเนต

นอกจากนี้จะเห็นว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงในการทำให้เศษหนังเริ่มเกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำอย่างรวดเร็วมีความรุนแรงมากเกินไป จึงได้ปรับปรุงมาใช้กระบวนการใหม่ โดยให้ขั้นตอนที่ต้องใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องแทน และใช้เวลาในแต่ละขั้นตอนให้นานขึ้น

สำหรับในกระบวนการสกัดที่ปรับปรุงใหม่ ด้วยผลการทดลองที่สรุปไว้ในตารางที่ 4.2 วิธีนี้จะใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่างของโซเดียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆ เพื่อให้เศษหนังเกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำก่อนเล็กน้อย ทำให้การสกัดในขั้นต่อไป สามารถกระทำได้ง่ายขึ้น

จากนั้นจะใช้สารละลายผสมของกรดซัลฟูริกเจือจางและโซเดียมซัลเฟตเจือจาง ในการเริ่มสกัด จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้ เพื่อที่จะใช้กรดในการทำให้อิมเลกุลของคอลลอยด์เกิดการแตกตัว แล้วปลดปล่อย โลหะโครเมียมออกมาเกิดปฏิกิริยากับโซเดียมซัลเฟตได้เป็นเกลือโครเมียมซัลเฟตที่ละลายอยู่ในน้ำ และได้กากของคอลลอยด์ซึ่งแตกตัวไปแล้วบางส่วนซึ่งมีลักษณะเป็นคัม

เมื่อได้คอลลอยด์ที่ถูกขจัดโครเมียมแล้ว จึงจะเริ่มทำการสกัดโดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะทำให้คอลลอยด์ส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายไปก่อนบ้างแล้ว ถูกเปลี่ยนเป็นเจลาตินก่อน จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนนี้ จะยังคงมีปริมาณโครเมียมตกค้างสูง เนื่องจากในขั้นตอนนี้ของการขจัดโครเมียม เราไม่สามารถใช้สภาวะที่รุนแรงในการสกัดโครเมียมออกทั้งหมด

กากที่เหลือจากการสกัดในครั้งแรก จะเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงต้องนำมาสกัดซ้ำอีกโดยใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยจะทำการสกัดด้วยน้ำกลั่น การที่ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายกรด เนื่องจากกากที่เหลือจากการสกัดในครั้งแรก จะยังคงมีความเป็นกรดที่สูง ประกอบกับการสกัดจะใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย จึงต้องพยายามรักษาไม่ให้สภาวะที่ใช้ในการสกัดรุนแรงมากเกินไป

จากแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะในแต่ละขั้นตอน (ดังแสดงในรูปที่ 4.2.1 - 4.2.5) จะเห็นว่าอุณหภูมิของสารละลายจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องในแต่ละช่วงของวัน ส่วนค่า pH ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามอุณหภูมิเช่นกัน และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายจะลดลงในขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงจากคอลลอยด์มาเป็นเจลาติน เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ถูกใช้ไปในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ

ผลิตภัณฑ์เจลาตินที่สกัดได้พบว่า สามารถแข็งตัวเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิ 10 °C. ตามมาตรฐาน BS 757 และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะได้ จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้สกัด

### 5.3 การทดสอบผลิตภัณฑ์เจลาติน

เพื่อเป็นการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เจลาตินที่สกัดได้ โดยมีการทดสอบดังต่อไปนี้

### 5.3.1. ปฏิกริยากับนินไฮดริน (Ninhydrin)

สารละลายเจลาติน ซึ่งมีหมู่เอมีนปฐมภูมิ จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับนินไฮดริน ได้เป็น สารละลายสีม่วง ซึ่งทั้งสารละลายของเจลาตินมาตรฐาน และสารละลายเจลาตินที่ได้จากการสกัด โดยใช้กรด ต่างก็ให้สารละลายสีม่วงเช่นเดียวกัน

### 5.3.2. เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

อินฟราเรดสเปกตรัม (infrared spectra) ของเจลาตินมาตรฐานเจลาตินที่สกัดด้วย ต่างและเจลาตินที่สกัดด้วยกรด มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน มีการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดในช่วง 3636-3200  $\text{cm}^{-1}$  (การยืดของพันธะ O-H) 3100-2616  $\text{cm}^{-1}$  (การยืดของพันธะ N-H) 1710  $\text{cm}^{-1}$  (การดูดกลืนรังสีของหมู่คาร์บอนิล) และ 1636  $\text{cm}^{-1}$  (การงออย่างไม่มีสมมาตรของ N-H)

### 5.3.3. เทคนิคไพโรไลซิส-แก๊สโครมาโตกราฟี

เมื่อทำการเปรียบเทียบ ไพโรไลซิส-โครมาโตแกรม(pyrolysis-chromatogram) ที่ได้จากการวิเคราะห์เจลาตินมาตรฐาน และเจลาตินที่สกัดได้ จะเห็นว่า มีรูปแบบและลักษณะ ที่เหมือนกัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.5)

### 5.3.4. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลาติน

เพื่อนำตัวอย่างเจลาตินมาให้ความร้อนโดยเพิ่มความร้อนอย่างช้าๆ พบว่า เจลาตินจะคาย ความร้อนที่อุณหภูมิ 80.3 องศาเซลเซียส เริ่มดูดกลืนความร้อนที่ 198.7 องศาเซลเซียส และคายความร้อนอีก 3 ครั้ง ที่ 229.3 242.6 และ 289.2 องศาเซลเซียส ซึ่งคุณสมบัตินี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของเจลาติน และสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตรวจ วิเคราะห์ตัวอย่างเจลาตินว่าบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใดวิธีหนึ่ง

### 5.3.5. การหาความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินด้วยวิธีการหาค่าดัชนีหักเห แสง

และด้วยวิธีการหาค่าการหมุนของแสง

เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน กับค่าดัชนีหักเห แสงของสารละลายเจลาติน จะเป็นแบบเชิงเส้น (linear relationship) จึงสามารถจะนำมาใช้ในการหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างเจลาติน โดยการเตรียมตัวอย่างสารละลายเจลาติน

มาตรฐานในความเข้มข้นต่างๆ และสร้างเส้นกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ดังแสดงในรูปที่ 4.3.1 ตัวอย่างเจลาตินมาสกัดด้วยกรดครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 จะสามารถหาความเข้มข้นของสารละลายได้โดยอ่านจากเส้นกราฟมาตรฐาน ดังสรุปอยู่ในตารางที่ 4.3

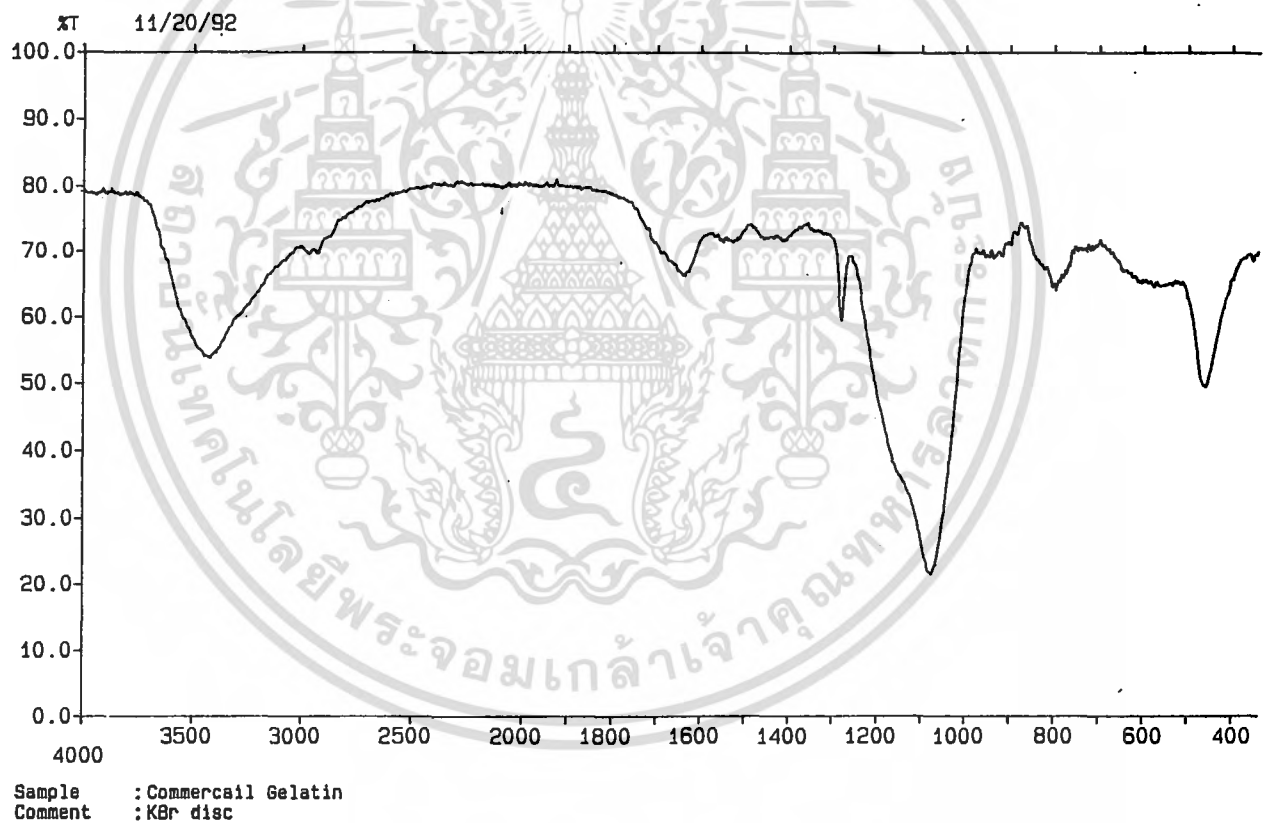
ในทำนองเดียวกัน การหาความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเจลาตินกับค่าการหมุนของแสง โดยสามารถสร้างเส้นกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเจลาตินกับค่าการหมุนของแสงที่วัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3.2 และจากค่าการหมุนของแสงของตัวอย่างเจลาตินที่วัดได้ จะสามารถหาความเข้มข้นได้โดยอ่านจากเส้นกราฟมาตรฐาน จากการทดลองนี้ ปรากฏว่าค่าความเข้มข้นของตัวอย่างเจลาตินที่สกัดด้วยกรดครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ที่ทำได้โดยวิธีการวัดค่าการหมุนของแสงจะเท่ากับที่หาได้จากวิธีการหาค่าดัชนีหักเหแสง

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนแรกในการสกัดเจลาติน จะได้ส่วนของสารละลายที่สกัดเอาโครเมียมออกมา สารละลายส่วนนี้หากนำมาระเหยน้ำออก และนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้สามารถนำกลับมาใช้ใน Chrome tannage อีก ก็เท่ากับสามารถนำวัสดุมาใช้ได้อย่างเต็มที่ เป็นการลดต้นทุนของการผลิตทางหนึ่ง อีกทั้งจะไม่สร้างปัญหาให้กับสภาพแวดล้อมอีกด้วย เป็นการใช้งานแบบครบวงจร แต่เนื่องจากโครงการวิจัยนี้มีเวลาจำกัด จึงไม่สามารถจะทำการศึกษาทดลอง เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการนำโครเมียมที่สกัดได้กลับมาใช้งานอีก จึงขอเสนอแนะให้มีการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ต่อไป เพราะปัญหามลภาวะกับสิ่งแวดลอม กำลังเป็นปัญหาที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นไปเรื่อยๆ หากไม่หาแนวทางในการแก้ไข

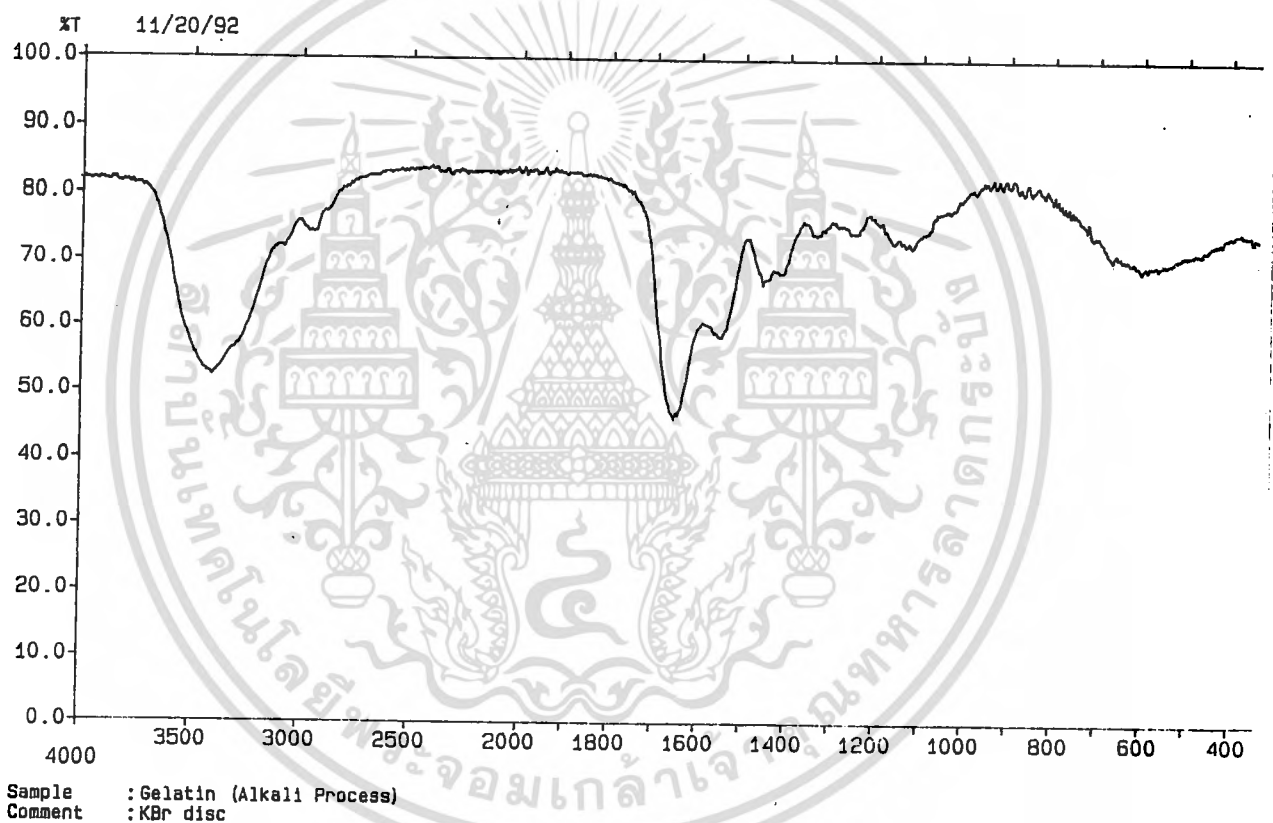
## ภาคผนวก

### อินฟราเรดสเปกตรัม ของเจลาตินมาตรฐาน



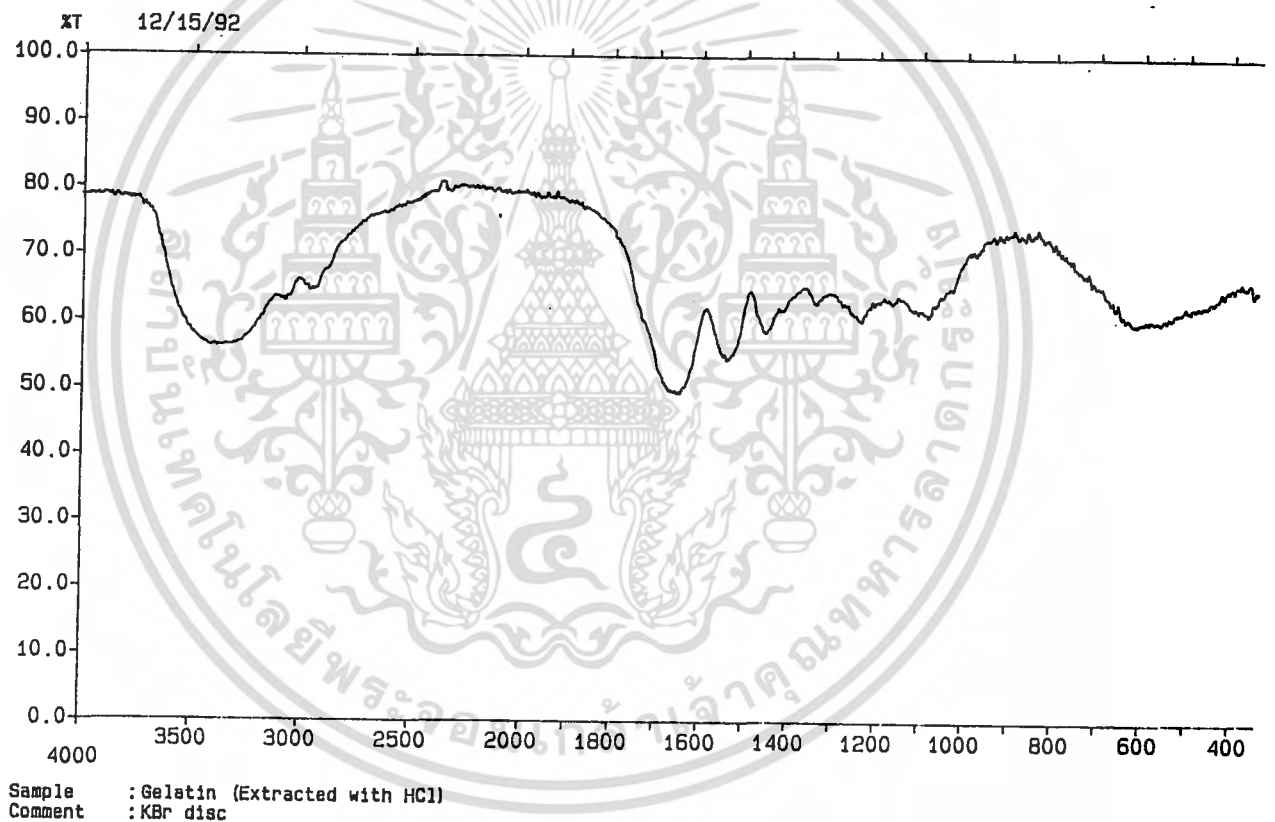
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรดสเปกตรัม ของผลิตภัณฑ์การสกัดในสภาวะที่เป็นต่าง



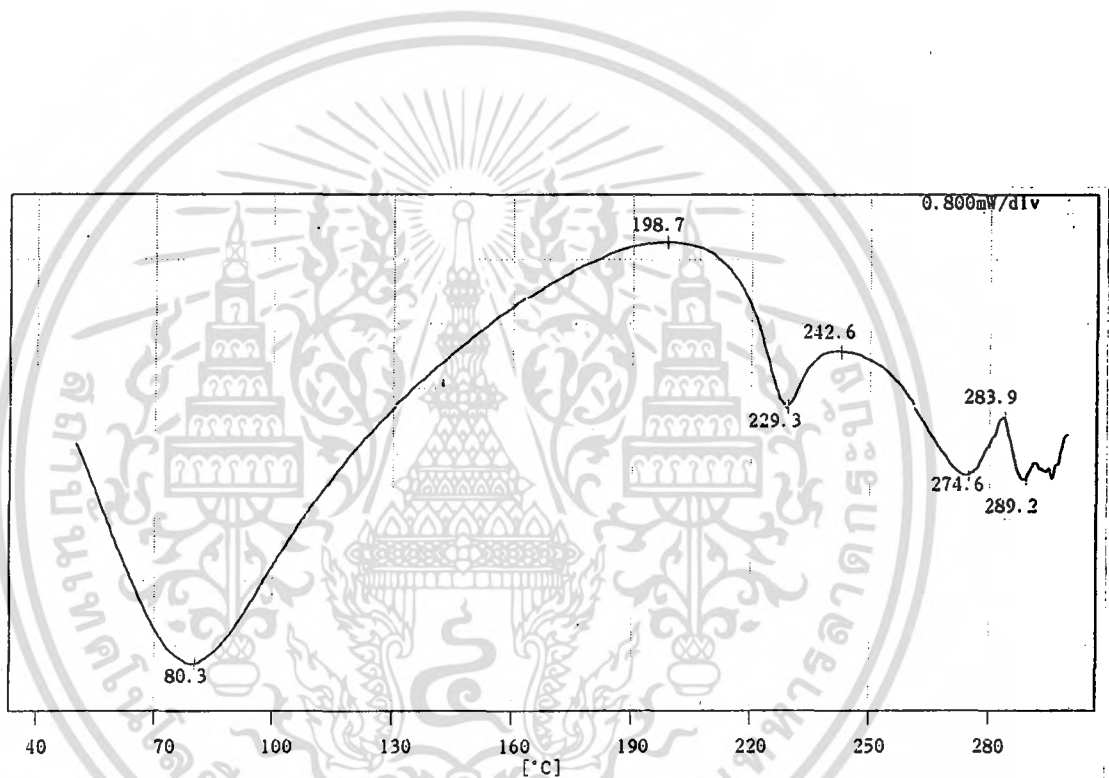
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อินฟราเรดสเปกตรัม ของผลิตภัณฑ์การสกัดในสถานะที่เป็นกรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อน ของเซลลูลินมาคราฐาน โดยเทคนิค *Differential Scanning Calorimetry*



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Adolf W.F. and Dearborn, William R.R. "Clarification of Gelatin" U.S. Pat. 3,184,445 May 18, 1965
2. Bayer AG. Tanning, Dyeing, Finishing 3th.ed., Bayer AG., Germany, 1977
3. Billmeyer F.W. Textbook of Polymer Science 3th.ed., John Wiley & Sons, Singapore, 1984
4. Ferry, J.D. J. Amer. Chem. Soc. (70) 2244, 1948
5. Ferry, J.D. Advances in Protein Chem. 4(44),1948
6. Fritz Roehrig "Production of Grem. Free Gelatin" Brit. Pat. 834,399 May 4, 1960
7. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 3th.ed., Vol.1, John Wiley & Sons, New York, 1980
8. M.Alves Dos Reis, V.Belega "Utilization of Leather Waste-Animal Feedstuff from Chrome Shavings : Part I Pilot Plant Study" Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists 75, 1989: 15
9. Meyer, K.H. Natural and Synthetic High Polymers, Interscience, New York, 1942
10. Nauchnoissledovatelsky W. "Method of Producing Gelatin" Brit. Pat. 1,384,937 Feb. 26, 1975
11. Sax N.I. and Lewis J.R. Hawley's Condensed Chemical Dictionary 11th.ed., Van Nostrand Reinhold, U.S.A., 1987
12. Silverstein R.M. Spectrometric Identification of Organic Compounds 5th.ed., John Wiley & Sons, Singapore, 1991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. Solly Elman "Improved Method for Dehydrating Gelatin and Products Thereof." Brit. Pat. 1,106,593 Jun. 2, 1966
14. Tiemstra.PJ. "Gelatin Extraction Utilizing Low Pressure Steam in an Atmosphere of Reduced Pressure" U.S. Pat. 3,542,755 Nov. 24, 1970
15. Vijay K. Bhandari "Gelatin Manufacture" The Eastern Pharmacist 21 (1978) : 21-23
16. Ward A.G. and CourtsA.Courts (eds) The Science and Technology of Gelatin, Food Science and Technology Series, Academic Press, Great Britain, 1977
17. Yazykov, V.K. and Konoshonkina, N.I. "Gelatin solution from tanned waste of chrome leather", Chemical Abstract, 106131V, Vol. 96, 1981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้