



บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่ใช้ในกระบวนการฟอกหนังและสภาวะแวดล้อมของการนำเอนไซม์มาใช้งาน

จากการวิเคราะห์เอกสารซึ่งมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนที่นำมาใช้ในกระบวนการฟอกหนังพบว่า เป็นเอนไซม์ที่นำมาจากหลายแหล่ง เช่น จากตับอ่อนของสัตว์ได้แก่ โค สุกกร และสัตว์ปีก จากจุลินทรีย์ได้แก่ รา แบคทีเรีย เช่นจาก *Bacillus sp.* และจากยีสต์ เอนไซม์จากจุลินทรีย์นี้ถูกพบเริ่มแรกจากมูลสัตว์และผลิตขึ้นเป็นการค้าเมื่อ 100 กว่าปีมาแล้ว นอกจากนี้ ยังมีเอนไซม์จากพืช เช่น เอนไซม์ปาเปนจากขางมะละกอ เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากพืชตระกูล *Adenopus Breviflores* ซึ่ง Simoncini (78) และ Adewove (101) ได้ทำการศึกษาวิจัยเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตออกจำหน่ายเป็นการค้า เอนไซม์จากพืชชนิดนี้เป็นเอนไซม์ในกลุ่มซัลไฟดริล (sulfhydrylic proteases) เช่นเดียวกับโบรมีเลน เอนไซม์ชนิดนี้สามารถทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่อยู่ในเคอราตินได้ ส่วนมากการใช้เอนไซม์ในกระบวนการฟอกหนังมักจะใช้ในช่วงตอนการเบกตั้ง ช่วยกำจัดขนอ่อนหรือรากขนที่กำลังงอกได้ไม่หมดในการลงปูน

มีการศึกษา และวิจัยมากมายเกี่ยวกับหน้าที่ของเอนไซม์ย่อยโปรตีนในหนัง รวมทั้ง Alexander, Haines และ Walker (93) พบว่า เอนไซม์ย่อยโปรตีนในหนังจะช่วยทำหน้าที่เปิดโครงสร้างของเส้นใยภายในหนังโดยการย่อยสลายโปรตีนที่อยู่รอบ ๆ มัดของเส้นใยคอลลาเจน เป็นโปรตีนพวกเมือกหรือเป็นโปรตีนพวกไกลโคโปรตีน หรือ โปรตีโอ ไกลแคน Trabitzsch (59) กล่าวว่าเอนไซม์ในกระบวนการฟอกหนังต้องไม่เป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายคอลลาเจน เอนไซม์ย่อยโปรตีนจะทำหน้าที่ช่วยย่อยชิ้นส่วนของผิวหนังชั้นบนสุด หนังสำเร็จรูปที่ได้จะคงเหลือเพียงหนังชั้นกลาง (corium)

เมื่อหนังผ่านการลงปูนแล้ว หนังจะมีสภาพความเป็นต่างสูงพีเอชประมาณ 11-12 เมื่อล้างหนังด้วยน้ำเปล่าร่วมกับการใช้แอมโมเนียมซัลเฟตหรือสารละลายกรดอ่อน ๆ จะทำให้พีเอชของหนังลดลงอีกจนเหลือประมาณ 8-9 ซึ่งเป็นขั้นตอนของการเบตตั้ง เอนไซม์ที่จะนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ จึงจำเป็นต้องเป็นเอนไซม์ที่สามารถทำงานเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สภาวะของขั้นตอนนี้ จากการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม ต่อการทำงานของโบรมีเลน และเบตตั้งเอเจนท์เชิงพาณิชย์ตัวอื่น ๆ พบว่า โบรมีเลนมีช่วงของพีเอชในการเร่งปฏิกิริยา ประมาณ 6.0-8.5 ซึ่งเป็นช่วงของพีเอชที่กว้างกว่าเบตตั้งเอเจนท์เชิงพาณิชย์ตัวอื่น ๆ และใกล้เคียงกับการศึกษาคุณสมบัติของโบรมีเลนโดย Heinicke (4) ที่พบว่า โบรมีเลนมีพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานอยู่ในช่วงพีเอช 6.0-8.0 ทนง ภควัฒน์ (47) ยังกล่าวว่า คุณสมบัติของโบรมีเลนที่ได้ขึ้นกับแหล่งเพาะปลูกด้วย จากการศึกษาของ Murachi (12) พบว่า โบรมีเลนที่สกัดได้จากต้นของสับปะรด จะมีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่เป็นเบสมากกว่าสภาวะที่เป็นกรด ซึ่งโบรมีเลนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นโบรมีเลนที่สกัดได้จากต้นสับปะรด ที่นิเมตนิสฤทธิ์ (20) และนิตยา (22) ได้ทำการศึกษาการผลิตและการแยกให้บริสุทธิ์ จึงมีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สภาวะเป็นเบสมากกว่าสภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นจึงมีโอกาที่จะใช้โบรมีเลนเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายโปรตีนในหนัง ในขั้นตอนของการเบตตั้งได้ หลังจากผ่านขั้นตอนการเบตตั้งหนังจะถูกปรับให้มีความเป็นกรดมากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการทำปฏิกิริยากับสารฟอกในขั้นตอนต่อไป ในขั้นตอนนี้โปรตีนที่ไม่ใช่เส้นใยควรถูกกำจัดออกให้หมด เพื่อเปิดโครงสร้างของเส้นใยให้พร้อมที่จะรับสารฟอกเข้าไปในโมเลกุล การวิจัยหาเอนไซม์ที่สามารถทำงานได้ในช่วงพีเอชต่ำประมาณ 3.0-5.0 เพื่อใช้ในขั้นตอนการดองหนัง ก็มีผู้ให้ความสนใจเช่นกัน (62) นอกจากนี้มีผู้สนใจที่จะนำ เอนไซม์ย่อยโปรตีน ไปใช้ในช่วงของการเตรียมการฟอกหนัง ที่ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการหมักหนังด้วยเกลือ ขั้นตอนการลงปูน การล้างปูน และการเบตตั้ง รวมไปถึงการดองหนังด้วย ดังนั้นการใช้เอนไซม์ที่มีพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานอยู่ในช่วงกว้างจึงได้รับความสนใจมากขึ้น (102)

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของโบรมีเลนอยู่ในช่วงประมาณ

50-65 องศาเซลเซียสและสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเบตตั้งเอ เจนที่ตัวอื่น ๆ (ข้อ 3.1.2) จากการศึกษาสภาวะของการทำงานพบว่า อุณหภูมิของขั้นตอนการเบตตั้งจะอยู่ในช่วงประมาณ 37-40 องศาเซลเซียส หรือเป็นอุณหภูมิของบรรยากาศรอบ ๆ จากการทดลองพบว่าเมื่ออุณหภูมิเป็น 37-40 องศาเซลเซียส แอคติวิตีของเอนไซม์โบรมีเลนจะลดลงเหลือประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของแอคติวิตีที่อุณหภูมิ 50-65 องศาเซลเซียส ดังนั้นความสามารถในการทำงานของโบรมีเลนจึงลดน้อยลงกว่าที่ควรจะเป็น

การใช้เอนไซม์ในกระบวนการฟอกหนัง ต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาที่เอนไซม์ทำงานให้เหมาะสม ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเวลาที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิต เวลาที่สั้นที่สุดจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายหลาย ๆ ด้าน การวิจัยนี้จะใช้เวลา 30 นาทีสำหรับการทำงานของเอนไซม์ และปริมาณโบรมีเลน ที่ใช้จะเปรียบเทียบกับเบตตั้งเอ เจนที่ที่ใช้อยู่ในโรงงานปัจจุบัน จากการทดลองวัดแอคติวิตีของเอนไซม์ในน้ำแช่หนังพบว่าในปริมาณน้ำหนักของผงเบตตั้งเอ เจนที่เท่ากัน โบรมีเลนจะมีแอคติวิตีสู่ประมาณ 2 เท่าของลูทรอน-เอช ซึ่งเป็นเบตตั้งที่ใช้อยู่ในกระบวนการฟอกหนังขององค์การฟอกหนังปัจจุบัน ดังนั้นจึงใช้ปริมาณโบรมีเลนเพียงครึ่งเดียวของการใช้ลูทรอน-เอช การทดสอบแอคติวิตีของเอนไซม์ก่อนนำไปใช้งานกับการฟอกหนังจริง ๆ มีความจำเป็นอย่างยิ่ง มีผู้วิจัยและคิดค้นเพื่อหาวิธีการที่ดีและเหมาะสมสำหรับการทดสอบเอนไซม์ย่อยโปรตีนเพื่อที่จะนำไปใช้กับหนังได้จริง ๆ Yates (83) พบว่า การทดสอบแอคติวิตีของเอนไซม์โดยวิธีไฮโดรไลซ์เคซีน มีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายโปรตีนในหนังถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการทดสอบแอคติวิตีของเอนไซม์กับเคซีนน่าที่จะสามารถใช้ได้สำหรับการทดสอบเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปใช้กับหนัง

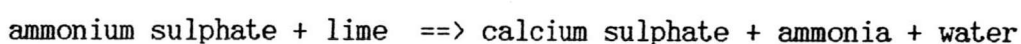
4.2 ผลกระทบของแอมโมเนียมีซิลเฟตต่อการทำงานของเอนไซม์และค่าทดสอบทางกายภาพของหนัง

จากผลการทดลองวัดความสามารถของเอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์เคซีนในสารละลายของน้ำแช่หนัง (ข้อ 3.2) พบว่าโบรมีเลนและเบตตั้งเอ เจนมีความสามารถในการไฮโดรไลซ์

เคทินส์สเตอร์ก ในสารละลายของน้ำแข็งที่พีเอชประมาณ 8.9 ± 0.3 ใกล้เคียงกับการไฮโดรไลซ์เคทินในสารละลายบัฟเฟอร์ที่พีเอชประมาณ 8.5-9.5 ดังนั้นสารเคมิซิงปะปะมาในน้ำแข็งอาจจะมีผลกระทบบ้าง หรือมีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์น้อยมาก กล่าวคือในน้ำแข็งจะมีพูนในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ปะปะมาอยู่ เพราะในขั้นตอนของการลงพูนจะเติมพูน และน้ำประมาณ 4 และ 300 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนึ่ง (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ตามลำดับหรือคิดเป็นค่าประมาณ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักพูนต่อปริมาตรสารละลาย พูนที่เติมลงไปส่วนใหญ่จะเข้าไปแทรกซึมอยู่ในหนึ่ง และเมื่อผ่านขั้นตอนการลงพูน ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเบกต์จะมีการล้างหนึ่งด้วยน้ำเปล่าเพื่อกำจัดพูนออกอีก นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมิซิงเพื่อช่วยกำจัดพูนร่วมอีกด้วย สารเคมิซิงจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพูนที่อยู่ในสารละลายและที่ตกค้างอยู่ในหนึ่ง ในกระบวนการฟอกหนึ่งนี้ใช้แอมโมเนียมซัลเฟต เพราะใช้ปฏิกิริยาที่ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพของหนึ่ง และมีราคาที่ย่อมเยาเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมิซิงตัวอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อมีการใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเพื่อช่วยในการกำจัดพูนร่วมกับการล้างหนึ่ง จึงทำให้ในสารละลายของน้ำแข็งมีพูนปะปะมาอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก หรือต่ำกว่า 1.3 เปอร์เซ็นต์มาก (น้ำหนักพูนต่อปริมาตรสารละลาย) ผลกระทบของพูนต่อการทำงานของเอนไซม์จึงเป็นไปได้ที่น้อยมาก และไม่มีรายงานใด ที่กล่าวว่าแอมโมเนียมซัลเฟตสามารถกระตุ้นการทำงานของไบรมีเลน แต่มีรายงานว่า แอมโมเนียมซัลเฟตสามารถที่จะตกตะกอนโปรตีนหรือเอนไซม์ไบรมีเลนได้ จากการทดลองเพื่อศึกษาการตกตะกอนเอนไซม์ไบรมีเลนด้วยแอมโมเนียมซัลเฟต โดยนิเมตนิสุทธ์ (20) พบว่าปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตอ้อมตัว 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จึงจะสามารถตกตะกอนเอนไซม์ไบรมีเลนอย่างสังเกตเห็นได้ ซึ่งในกระบวนการฟอกหนึ่งนี้มีการใช้แอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณที่น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังนั้นปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้อยู่ในกระบวนการฟอกหนึ่ง จึงไม่สามารถตกตะกอนไบรมีเลนได้

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของแอมโมเนียมซัลเฟตต่อค่าพีเอชของสารละลายน้ำแข็งที่มีค่าพีเอชที่วัดได้ประมาณ 11.5 (ข้อ 3.3.1) จะเห็นว่าการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตสามารถที่จะดึงพีเอชของสารละลายน้ำแข็งลงได้ แต่ไม่สามารถลดลงไปได้มาก เมื่อเติม

แอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณที่มากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลาย น้ำแช่หนึ่ง จะทำให้ค่าพีเอชของสารละลายลดลงช้ามากจนเกือบคงที่ที่พีเอช 8.0 Carrie และ Woodroffe (54) กล่าวว่า แอมโมเนียมซัลเฟตสามารถที่จะดึงพีเอชลงมาได้อย่างช้า ๆ ได้ต่ำกว่า 5.5 และไม่เป็นอันตรายต่อหนึ่ง แต่เนื่องจากในสารละลายมีแอมโมเนียออกมาด้วย ซึ่งเกิดจากแอมโมเนียมซัลเฟตทำปฏิกิริยากับปูน (lime) ดังสมการ



จึงไม่สามารถลดค่าพีเอชได้ตามที่ควรจะเป็น แอมโมเนียมซัลเฟตที่เติมลงไปควรมีปริมาณที่พอเหมาะ เพราะปริมาณที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดก๊าซแอมโมเนียซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ที่เกี่ยวข้องได้ แต่อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการฟอกหนึ่งต้องมีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณที่มากเพียงพอ ที่จะทำปฏิกิริยากับปูนที่มีอยู่ในหนึ่งได้ด้วย นอกเหนือไปจากการทำปฏิกิริยากับปูนที่มีปะปนอยู่ในสารละลายของน้ำแช่หนึ่งแล้ว ดังนั้นแม้จะเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณที่มากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ ก็ไม่สามารถทำให้ค่าพีเอชของสารละลายน้ำแช่หนึ่งลดลงมาได้ถึง 8.0 ดังผลการทดลองแปรค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อใช้กับขั้นตอนการเบกต์ตั้ง (ข้อ 3.6.1) จะเห็นว่าค่าพีเอชยังคงมีค่าสูงกว่า 8.0 และจากการวัดคุณลักษณะทางกายภาพของหนึ่งสำเร็จรูปพบว่า ปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรก จะเข้าทำปฏิกิริยากับปูนหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำแช่หนึ่ง และที่มีอยู่ในชั้นหนึ่งเกิดปฏิกิริยาได้เป็นแคลเซียมซัลเฟต ค่าแรงฉีก แรงดึง และระยะการยืดตัวของชั้นทดสอบหนึ่งจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าหนึ่งที่ไม่ได้ใส่แอมโมเนียมซัลเฟตลงไปเพื่อกำจัดปูน ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้งการใช้โบรมีเลนและลูทอรอน-เอช เพราะหนึ่งที่ไม่ได้กำจัดปูนจะมีปูนตกค้างอยู่มาก หนึ่งจึงมีสภาพความเป็นด่างคงอยู่สูง เกิดการทำลายเส้นใยคอลลาเจนได้ หนึ่งสำเร็จรูปที่ได้จะเปราะ และมีความแข็งกระด้าง ไม่ยืดหยุ่น ดังที่ Woodroffe (63) ได้กล่าวไว้ การ

เติมแอมโมเนียมซัลเฟต จึงต้องเติมในปริมาณพอดี ที่จะช่วยกำจัดปุ๋ยได้หมด แต่สำหรับหนังสือสำเร็จรูปบางชนิดที่ต้องการความแข็งแรงเพื่อการอยู่ทรงของผลิตภัณฑ์ อาจจะไม่จำเป็นที่จะต้องกำจัดปุ๋ยออกหมด จะกำจัดออกเพียงบางส่วนโดยเฉพาะส่วนผิว เพราะปุ๋ยที่เกาะอยู่ส่วนผิวอาจทำให้หนังสือกระด้าง หยิบแข็ง การตกแต่งทำได้ลำบาก แต่เมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในปริมาณมากพอที่จะกำจัดปุ๋ยแล้ว หนังสือจะมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น สืบเนื่องจากค่าระยะการยึดตัวที่เพิ่มสูงขึ้น การเบตติงช่วยทำให้หนังสือมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นได้ ส่วนค่าแรงฉีกและแรงดึงของหนังสือจะค่อย ๆ ลดลง เพราะปริมาณปุ๋ยที่ติดค้างในหนังสือถูกกำจัดออกหมด อีกทั้งพีเอชก็จะลดลงเหมาะสมกับการทำงานของเบตติงเอ เจนท์มากยิ่งขึ้น ทำให้การย่อยสลายโปรตีนให้เป็นโมเลกุลเล็กลงเป็นไปได้ดีขึ้น

4.3 ผลกระทบของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อการทำงานของเอนไซม์และค่าทดสอบทางกายภาพของหนังสือ

จากการศึกษาผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ต่อพีเอชของสารละลายน้ำแช่หนังสือ (ข้อ 3.3.2) จะสังเกตเห็นว่าการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จะส่งผลให้ค่าพีเอชของสารละลายลดต่ำลงได้เร็วกว่าการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตในความเข้มข้นที่เท่ากัน การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ก็เพื่อจะช่วยให้การกำจัดขนอ่อนหรือรากขนที่คงอยู่ในหนังสือหลุดออกไปได้ง่ายขึ้น (97) จากการศึกษากิจกรรมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพของหนังสือปกสำเร็จรูปทั้งการใช้โบรมีนและลูทรอน-เอช (ข้อ 3.6.2) พบว่าการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะทำให้หนังสือมีค่าแรงฉีกและแรงดึงลดลง ทั้งนี้เพราะสารประเภทซัลไฟต์จะช่วยในการกำจัดขน เกิดปฏิกิริยาทำลายพันธะไดซัลไฟด์ในสายเคอราติน (58) และยังช่วยกำจัดปุ๋ยได้อีกด้วย (98) แต่ถ้าความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนังสือ จะทำให้ค่าแรงฉีก ค่าแรงดึง และระยะการยึดตัวของหนังสือเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากเพราะโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในความเข้มข้น 0.5-2.0 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลาไม่ถึง 1 ชั่วโมงยังไม่เพียงพอที่จะทำลายโครงสร้างของเส้นใยภายในหนังสือได้ (98)

และจากผลการทดลองใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับ การใช้โบรมีนและลูทรอน-เอช (ข้อ 3.6.2) ให้ผลของค่าทดสอบทางกายภาพของหนัง ฟอกสำเร็จรูปที่ไม่แตกต่างกัน จากการทดลองของนิตยา (22) พบว่า การใช้โซเดียมเมตา-ไบซัลไฟท์ในปริมาณที่มากกว่า 10 มิลลิโมลาร์ หรือประมาณ 1.7 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร จึงจะส่งผลกระทบต่อแอนติวิตีของโบรมีนได้ แต่จากการทดลองได้แปรค่าความเข้มข้นของโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ในปริมาณสูงสุดเพียง 2.0 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนัง ซึ่งถ้าคิดเป็นน้ำหนักต่อปริมาตรของสารละลายจะประมาณ 0.13 กรัมต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร ดังนั้นปริมาณโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์จึงยังไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นการทำงานของโบรมีนได้ แต่อย่างไรก็ตาม Jonczyk และ Studniarski (98) ได้กล่าวว่า การใช้โซเดียมเมตา-ไบซัลไฟท์ก็เพื่อจะใช้เป็นตัวช่วยเร่งการกำจัดขนได้

4.4 ผลกระทบของไบมอล-เอ ต่อการทำงานของเอนไซม์และค่าทดสอบทางกายภาพของหนัง

จากผลการศึกษาอิทธิพลของใช้ไบมอล-เอ ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของหนังฟอกสำเร็จรูป (ข้อ 3.6.3) พบว่าการใช้ไบมอล-เอ ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางกายภาพของหนังฟอกสำเร็จรูป ทั้งของการใช้โบรมีนและลูทรอน-เอช ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากว่าไบมอล-เอ ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ เพราะไบมอล-เอ เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ส่งไปช่วยในการกำจัดไขมันที่ติดอยู่ตามผิวของหนัง เพื่อให้หนังสำเร็จรูปที่ได้มีความมันที่ผิว หรือมีไขมันเกาะส่วนผิวเป็นอุปสรรคต่อการตกแต่งหนัง (99) และนอกจากนี้ ไบมอล-เอ ก็ไม่มีผลกระทบต่อพีเอชของสารละลายอีกด้วย

4.5 การทำงานร่วมกันของสารเคมีต่าง ๆ ในขั้นตอนเตรียมการฟอก

สารเคมีทุกตัวที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนเตรียมการฟอก จะช่วยกันปรับสภาพโครงสร้างของเส้นใยภายในหนังกล่าวคือ มันจะร่วมกับสารประกอบซัลไฟด์เพื่อช่วยกำจัดขน สภาพที่เป็น

ต่างสูงนี้จะทำลายโปรตีนบางชนิด เป็นการเปิดโครงสร้างของเส้นใยส่วนหนึ่ง ต่อจากนั้นจะกำจัดปูนออกจากหนังโดยใช้แอมโมเนียมซัลเฟต เพื่อที่จะช่วยให้เอนไซม์สามารถเข้าทำงานได้สะดวกขึ้น และปรับพีเอชให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์จะช่วยในการย่อยสลายโปรตีนที่อยู่รอบ ๆ เส้นใย เพื่อเปิดโครงสร้างของเส้นใยอีก ในขั้นตอนนี้อาจจะมีการใช้เอนไซม์ย่อยไขมัน หรือเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต ร่วมกันกับเอนไซม์ย่อยโปรตีนด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีอยู่ในหนังแต่ละชนิด การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์จะช่วยกำจัดขนร่วมกับเอนไซม์

4.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณลักษณะทางกายภาพของหนังฟอกสำเร็จรูป

จากการทดสอบทางกายภาพของชิ้นหนังทดสอบที่ได้ จะมีค่าแรงฉีกและค่าแรงดึงอยู่ในมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดคือ ค่าแรงฉีกและแรงดึงต้องไม่ต่ำกว่า 43 และ 200 กิโลกรัมแรงต่อเซนติเมตร และกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ส่วนค่าระยะเวลาการยืดตัวไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามหนังที่มีค่าแรงดึง หรือค่าแรงฉีกสูงอาจไม่เป็นที่ต้องการเพราะหนังจะแข็งมากเกินไป หนังที่ค่อนข้างแข็งจะเหมาะกับหนังรองพื้นซึ่งต้องการความคงทน ส่วนหนังที่มีค่าระยะเวลาการยืดตัวสูงมาก จะทำให้ลำบากในการขึ้นรูปหนังหรือทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ Jonczyk และ Studniarski กล่าวว่าคุณลักษณะทางกายภาพของหนังเช่น ค่าแรงดึง แรงฉีก จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น ปริมาณปูนหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) สารประกอบซัลไฟด์ ระยะเวลาที่ล้างหนัง ความเข้มข้นของเอนไซม์ จากผลการทดลองฟอกหนังในถังหมนขนาด 50 ลิตรและ 300 ลิตร (ข้อ 3.5) จะสังเกตเห็นว่าหนังที่ผ่านการใช้เอนไซม์ จะให้ผลการทดสอบของค่าแรงฉีกและแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อใช้เอนไซม์ในปริมาณมากขึ้น ค่าแรงฉีกและแรงดึงของหนังจะค่อย ๆ ลดลง ดังที่ Yates (83) กล่าวว่าการใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในหนัง จะทำให้ค่าทดสอบทางกายภาพของหนังได้แก่ ค่าแรงดึง และระยะเวลาการยืดตัวของหนัง เพิ่มขึ้นกว่าหนังที่ผ่านการลงปูนร่วมกับใช้สารประกอบซัลไฟด์ (lime/sulphide unhaired hides) นอกจากนี้ จากการวิจัยของ Jonczyk และ

Studniarski (98) ก็พบว่า ความเข้มข้นของเอนไซม์ย่อยโปรตีนที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าแรงดึงของชิ้นหนังทดสอบลดลง และค่าแรงดึงของหนังทดสอบที่ใช้เอนไซม์จะต่ำกว่าหนังทดสอบที่ไม่ได้ใช้เอนไซม์ Russell (108) ได้ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของหนังสำเร็จรูปและกล่าวว่า คุณลักษณะทางกายภาพของหนังจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ลักษณะเฉพาะของหนังสัตว์แต่ละตัว การเลี้ยงดู ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และขึ้นอยู่กับขั้นตอนการฟอกหนังอีกด้วย

จากการพิจารณาความเข้มข้นของเอนไซม์โบรมีเลนและลูทรอน-เอชเมื่อทำการทดลองฟอกหนังในถังหมนขนาด 300 ลิตร (ข้อ 3.5.2) จะสังเกตเห็นว่า ค่าทดสอบทางกายภาพของชิ้นหนังทดสอบได้แก่ค่าแรงฉีก ค่าแรงดึง และระยะการยืดตัวของหนัง เมื่อใช้โบรมีเลนความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนัง มีค่าที่ไม่แตกต่างจากการใช้ลูทรอน-เอชความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนัง ในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการวิจัยนี้ สรุปได้ว่า มีโอกาสเป็นไปได้ในการนำโบรมีเลนมาใช้ในกระบวนการฟอกหนังเพราะด้วยคุณสมบัติของโบรมีเลนเอง ที่มีพีเอชเหมาะสมอยู่ในช่วงที่กว้าง และมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่ช่วงพีเอชของการเบกคิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งให้ผลการทดสอบคุณลักษณะทางกายภาพของหนัง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลูทรอน-เอช ที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการทดลอง

1. พีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของโบรมีเลน ลูทรอน-เอช โพลีซิม 606 โอโรพอน-เอน และ แพนครีติค 606 เท่ากับ 6.0-8.5, 8.0-9.5, 7.0-9.5, 8.0-10.0, 8.0-10.0 ตามลำดับ โบรมีเลนจะมีพีเอชที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาอยู่ในช่วงที่กว้างและค่อนข้างต่ำกว่าเบคคิงเอเจนท์เชิงพาณิชย์
2. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของโบรมีเลน ลูทรอน-เอช โพลีซิม 606 โอโรพอน-เอน และ แพนครีติค 606 ประมาณ 50-65, 45-55, 30-45, 35-45 และ 40-50 ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาของโบรมีเลนอยู่ในช่วงที่สูงกว่าเบคคิงเอเจนท์เชิงพาณิชย์
3. ความสามารถในการไฮโดรไลซ์เคซีนสับสเตรทในน้ำแช่แข็งของโบรมีเลนจะสูงกว่า ลูทรอน-เอช ประมาณ 2 เท่า และประมาณครึ่งหนึ่งของแพนครีติค 606
4. การศึกษาผลกระทบของแอมโมเนียซัลเฟตต่อพีเอชของสารละลายน้ำแช่แข็งพบว่าแอมโมเนียซัลเฟตช่วยทำให้พีเอชของสารละลายน้ำแช่แข็งลดลง แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากกว่า 0.2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลงเกือบคงที่ที่พีเอช 8.0
5. การศึกษาผลกระทบของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ต่อพีเอชของสารละลายน้ำแช่แข็งพบว่า โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ช่วยทำให้พีเอชของสารละลายน้ำแช่แข็งลดลง แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักหนึ่งจะทำให้ค่าพีเอชลดลงเกือบคงที่
6. การศึกษาผลกระทบของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ต่อพีเอชของสารละลายน้ำแช่แข็งพบว่า การ

เติมไบมอล-เอ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้พีเอชของสารละลายน้ำแข็งเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัดเจน

7. เมื่อใช้ไบรมีเลนความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง และใช้ ลูกรอน-เอช 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง ในการทดลองระดับขวดเขย่า พบว่าให้ค่าทดสอบทางกายภาพได้แก่แรงจิก แรงดึง ระยะเวลาฉีดตัว ของชั้นแห้งทดสอบ และความนุ่มกึ่ง ที่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และหนึ่งส่วนตะโพกจะมีค่าแรงจิกและแรงดึง สูงกว่าหนึ่งส่วนโหล และส่วนท้อง ตามลำดับ ทั้งของการใช้ไบรมีเลนและ ลูกรอน-เอช

8. เมื่อแปรค่าความเข้มข้นของไบรมีเลน (0.05-0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง) และลูกรอน-เอช (0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง) ในการทดลองระดับถังหมัก 50 ลิตร พบว่าเมื่อใช้ลูกรอน-เอชในความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของไบรมีเลน จะได้ค่าทดสอบทางกายภาพได้แก่แรงจิก แรงดึง ระยะเวลาฉีดตัว ของชั้นแห้งทดสอบ และความนุ่มกึ่ง ที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะเป็นส่วนตะโพก ส่วนท้อง หรือส่วนโหล

9. เมื่อแปรค่าความเข้มข้นของไบรมีเลน (0.05-0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง) และลูกรอน-เอช (0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง) ในระดับการผลิตขนาดเล็ก (ถังหมัก 300 ลิตร) พบว่าเมื่อใช้ลูกรอน-เอชในความเข้มข้นเป็น 2 เท่าของไบรมีเลน จะได้ค่าทดสอบทางกายภาพของชั้นแห้งทดสอบ และความนุ่มกึ่ง ที่ใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับการทดลองในระดับขวดเขย่า และในถังหมักขนาด 50 ลิตร

10. ในการศึกษาผลกระทบของแอมโมเนียมซัลเฟต ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของชั้นแห้งทดสอบ พบว่าแอมโมเนียมซัลเฟตในความเข้มข้นมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแห้ง จะให้ค่าแรงจิกและแรงดึงลดลง แต่ระยะเวลาฉีดตัวเพิ่มขึ้นทั้งการใช้ไบรมีเลน และลูกรอน-เอช

11. จากการศึกษาผลกระทบของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ต่อคุณลักษณะทางกายภาพของขึ้นหนังทดสอบพบว่า เมื่อใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ในความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ค่าแรงฉีก และแรงดึงของขึ้นหนังทดสอบจะลดลงเล็กน้อย ส่วนระยะการยืดตัว เปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งของการใช้โบรมีนเลน และลูทรอน-เอช

12. จากการศึกษาผลกระทบของไบมอล-เอ ต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ของขึ้นหนังทดสอบพบว่า เมื่อใช้ไบมอล-เอ ไม่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะทางกายภาพของขึ้นหนังทดสอบอย่างสังเกตเห็นได้