บทที่ 5

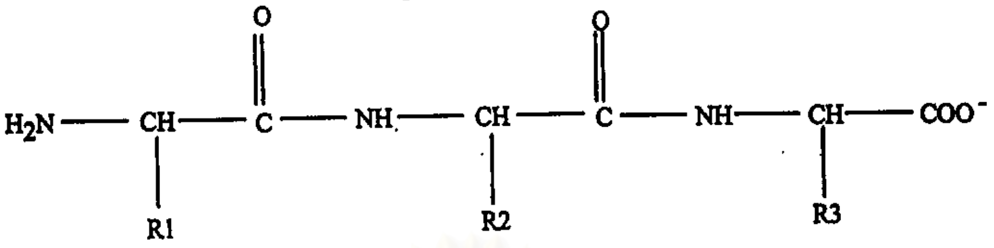
วิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติโดยการใช้สารลดแรงตึงผิวภายใต้ความดัน โดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของสารที่ใช้ในการชะละลาย ค่าแรงตึงผิวของสารที่ใช้ในการชะละลาย ความดันที่ใช้ในการชะละลาย และความสามารถของการชะละลายในขั้นตอน pre curing-leaching ,post curing-leaching และ pre+post curing-leaching ที่มีต่อการชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติสามารถทำการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

1 วิเคราะห์ผลการศึกษาการชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติด้วยสารละลายกรด, เบส และสารลดแรงตึงผิว

1.1 ผลของความเป็นเบสต่อการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.2 ปริมาณโปรตีนที่เหลือในถุงมือยางหลังผ่านการชะละลายด้วยเบส(NaOHและKOH) โดยแปร pH ของน้ำชะละลาย ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าในภาวะการชะละลายโปรตีนด้วยสารละลายเบสที่ค่าpHสูง จะมีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติน้อยกว่าภาวะการชะละลายโปรตีนด้วยสารละลายเบสที่ค่าpHต่ำ แสดงให้เห็นปริมาณเบสที่มากขึ้นจะละลายโปรตีนได้มากขึ้นด้วย สืบเนื่องจากโมเลกุลของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายโมเลกุลมาต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ เมื่ออยู่ในภาวะที่ค่า pH สูง carboxyl group จะอยู่ในรูปของ carboxyl group ionized ดังรูปที่ 5.1 ทำให้เกิดการผลักกันของโมเลกุลของโปรตีนและมีไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จากการแตกตัวของเบสประกอบกับ carboxyl group ทำให้โมเลกุลของโปรตีนสามารถหลุดออกจากผิวของถุงมือยางและละลายอยู่ในสารละลายได้ ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่เหลือในถุงมือยางลดลง



รูปที่ 5.1 โมเลกุลของโปรตีนเมื่ออยู่ในภาวะที่มีค่า pH สูง

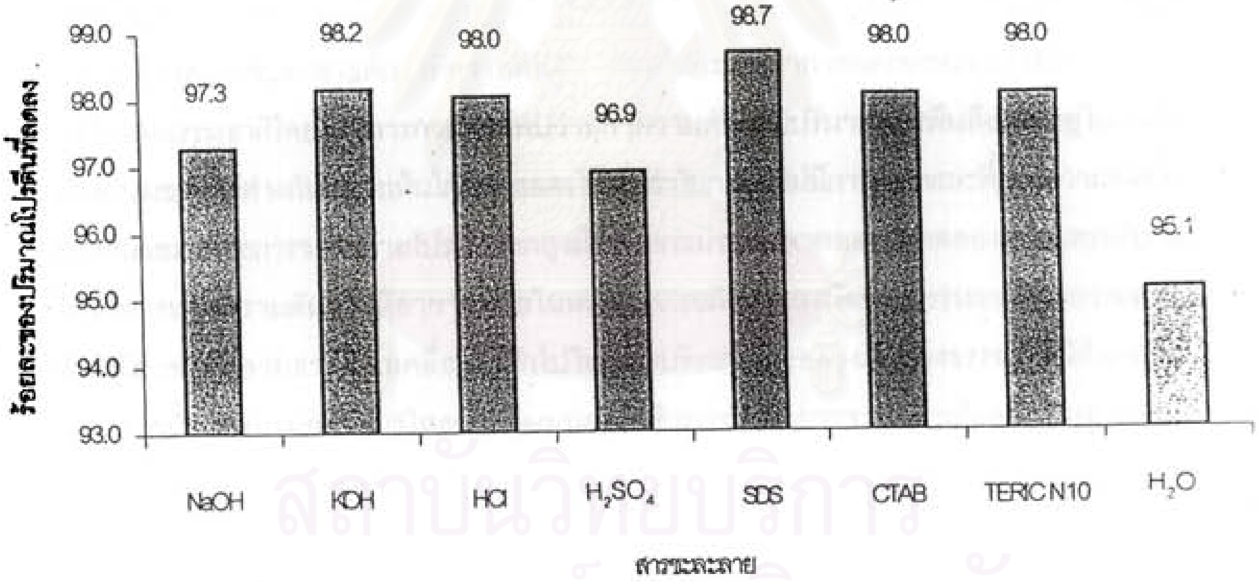
1.2 ผลของความเป็นกรดต่อการชะละลายโปรตีนในถุงมือยางธรรมชาติ

การชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติด้วยสารละลายกรด (HCl และ H_2SO_4) เมื่อนำถุงมือยางที่ผ่านการชะละลายที่ค่าpHต่างๆกัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 พบว่าในภาวะการชะละลายโปรตีนด้วยสารละลายกรดที่pHต่ำ จะมีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติน้อยกว่าภาวะการชะละลายโปรตีนด้วยสารละลายกรดที่ pH สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดที่มากขึ้นช่วยในการชะละลายของโปรตีนออกมาสู่สารละลายได้มากขึ้น สืบเนื่องจากกรดเกิดการแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน(H^+) ซึ่งทำหน้าที่ตกตะกอนโปรตีน โดยภาวะการชะละลายที่ pH ต่ำ จะมีจำนวน H^+ มากกว่า pH สูง ส่งผลมีการดึงโปรตีนด้านที่มีกลุ่ม amine จนทำให้โปรตีนถูกชะละลายออกจากถุงมือยางได้ดีขึ้น ทำให้ปริมาณโปรตีนบริเวณผิวถุงมือยางธรรมชาติลดลง

1.3 ผลของค่าแรงตึงผิวต่อการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติ

สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ที่ทำการศึกษามี 3 ชนิด คือ sodium dodecyl sulphate (SDS) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิก, cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแคทไอออนิก และ nonylphenol ethoxylate (TERIC N_{10}) เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก ได้ทดลองชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติด้วยสารละลายที่ค่าแรงตึงผิวต่างๆกัน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อใช้น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวต่ำในการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยาง พบว่าปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติจะน้อยกว่าการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางโดยใช้น้ำที่มีค่าแรงตึงผิวสูง แสดงให้เห็นว่าสารละลายที่มีค่าแรงตึงผิวต่ำจะลดค่า contact angle ทำให้น้ำเปียกผิวภายในหลุมที่อยู่ในผิวของถุงมือยางได้มากขึ้น ส่งผลให้สามารถ

ชะละลายโปรตีนได้ดีขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการชะละลายโปรตีนในถุงมือยางธรรมชาติด้วย SDS ดีกว่า CTAB เนื่องจากโปรตีนบางโมเลกุลที่ผิวถุงมือยาง เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นสารที่มีประจุ (COO^-) โดย SDS ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแอนไอออนิกมีผลในการผลักโมเลกุลของโปรตีนและเข้าแทนที่โมเลกุลโปรตีนที่ผิวถุงมือยางและถูกชะละลายออกจากผิวของถุงมือยางธรรมชาติ ส่วน CTAB ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทแคทไอออนิกจะไปตกตะกอนโปรตีนโดยการจับโมเลกุลโปรตีน ส่งผลให้การเปียกผิวลดลงการเข้าแทนที่โปรตีนก็ลดลงด้วย การชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติโดยสารละลายลดแรงตึงผิว SDS จึงดีกว่า CTAB และในกรณี TERIC N_{10} มีประสิทธิภาพในการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติได้น้อยว่าการใช้ SDS และ CTAB เนื่องมาจากว่า TERIC N_{10} ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิกจะไม่มีผลของความมีประจุเข้าช่วยในการชะละลาย ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติได้น้อยว่าการใช้ SDS และ CTAB ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 แสดงถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ลดลง เมื่อใช้สารละลายกรด เบส และสารลดแรงตึงผิว ณ ความเข้มข้นที่ชะละลายที่ดีที่สุด

จากรูปที่ 5.2 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองโดยศึกษาถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ลดลง การวิเคราะห์นี้จะบอกถึงประสิทธิภาพของการใช้สารชะละลายแต่ละประเภทที่ทำการศึกษา โดยแสดงถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ลดลง เมื่อใช้สารละลาย KOH, NaOH, HCl, H_2SO_4, SDS, CTAB, และ TERIC N_{10} ณ ความเข้มข้นที่ชะละลายที่ดีที่สุด เปรียบเทียบกับปริมาณโปรตีนเริ่มต้น(1575 ไมโครกรัม/กรัมถุงมือยาง) เมื่อพิจารณาพบว่าการชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติด้วยสารละลาย SDS มีประสิทธิภาพสูงที่สุด จึงได้เลือกสารละลาย SDS ทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2 ผลของความดันต่อการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติ ณ อุณหภูมิห้อง

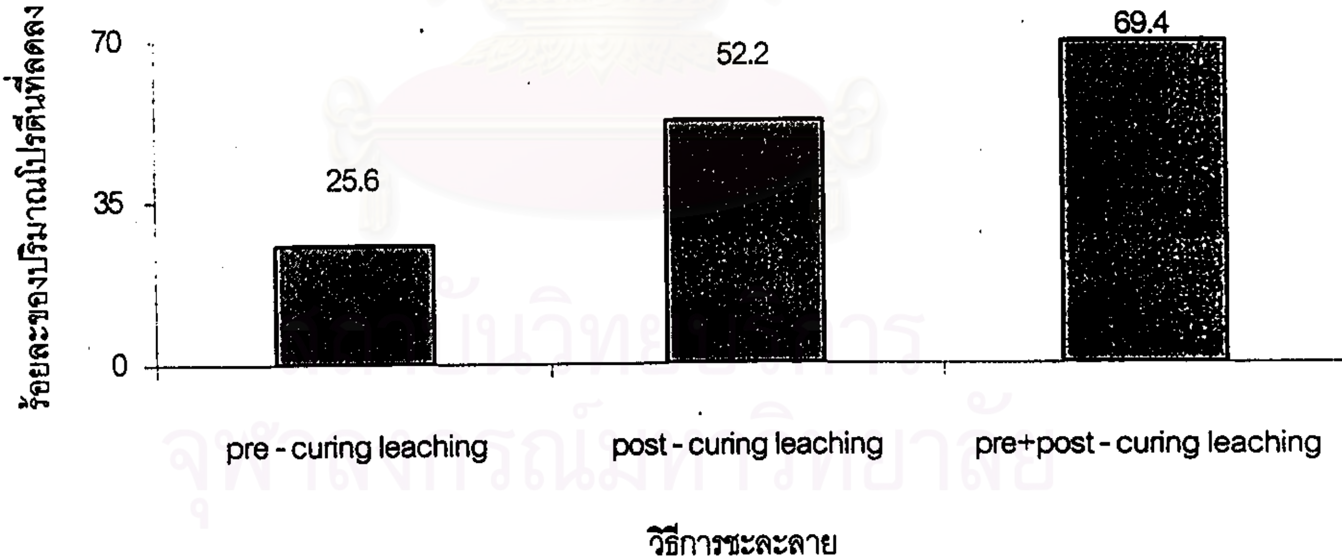
ทำการทดลองการชะละลายโดยน้ำและ SDS (ค่าแรงตึงผิว 32 ไดน์/เซนติเมตร หรือความเข้มข้น 1.73 กรัม/ลิตร) ที่ความดันเกจ 0 , 10 , 20 , 30 และ 40 บาร์ ในภาวะที่มีการกวนความเร็วรอบ 225 รอบ/นาที และไม่มีการกวน ผลของการทดลองแสดงเป็นปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ ดังในรูปที่ 4.5 พบว่ากรณีที่มีการกวนเมื่อความดันสูงขึ้นปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติจะมีค่าลดลงมากขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติที่ความดันสูงจะมีประสิทธิภาพการชะละลายดีกว่าที่ความดันต่ำ ส่วนในกรณีที่ทำการทดลองชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติโดยไม่มีการกวนนั้น พบว่าทุกๆความดันจะมีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางธรรมชาติไม่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ไม่มีการกวนขณะที่เพิ่มความดันนั้นส่งผลน้อยมากต่อการชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติ จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มความดันทำให้อากาศภายในหลุมบริเวณผิวของถุงมือยางธรรมชาติเกิดการหดตัว ทำให้ตัวชะละลายสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในหลุมบริเวณผิวของถุงมือยางธรรมชาติได้มากขึ้น นอกจากนั้นการกวนจะมีการไหลวน (eddies) เข้ามาช่วยในการชะละลายโดยการไหลวนจะมีหลายขนาด ซึ่งจะมีช่วงขนาดหนึ่งที่เหมาะสมการชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติ ส่งผลให้สามารถชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น ในกรณีของการชะละลายด้วยสารละลาย SDS เมื่อเพิ่มความดันเป็น 40 บาร์จะลดปริมาณโปรตีนลงไปอีกร้อยละ 54 โดยปริมาณโปรตีนที่เหลือในถุงมือยางวัดได้ 21 μg/g ซึ่งค่าที่ต่ำขนาดนี้ถือว่าไม่มีโปรตีนพอที่จะวัดได้ในถุงมือยาง(วิธี modify Lowry มีขอบเขตปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ถึงประมาณ 50 μg/g)

เมื่อเทียบกับความดันเกจ 0 บาร์ กรณีผลการชะละลายในภาวะไม่มีการกวนขณะชะละลาย ตัวชะละลายสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในหลุมบริเวณผิวของถุงมือยางธรรมชาติได้แต่ไม่มีผลของการไหลวนเข้ามาช่วยในการชะละลาย จึงมีผลให้สามารถชะละลายโปรตีนจากถุงมือยางธรรมชาติได้ในปริมาณต่ำ ซึ่งเกิดจากเวลาที่ใช้ในการทดลองอาจจะน้อยเกินไปที่จะเห็นผลของความดันต่อการชะละลายในภาวะที่ไม่มีการกวนขณะชะละลาย

3 วิเคราะห์ผลการศึกษาการชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางธรรมชาติในขั้นตอน pre – curing leaching post – curing leaching และpre+post - curing leaching

จากรูปที่ 4.6 ปริมาณโปรตีนที่เหลือในถุงมือยางหลังผ่านการชะละลายขั้นตอน pre –curing leaching ,post - curing leaching **และ** pre+post - curing leaching **ด้วยสารละลายลดแรงตึงผิวSDS (ค่าแรงตึงผิว 32 ไดน์/เซนติเมตร) พบว่าปริมาณโปรตีนที่เหลือจากขั้นตอน** pre+post - curing leaching **จะน้อยกว่า ขั้นตอน** post - curing leaching **และ**pre - curing leaching **ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโปรตีนถูกชะละลายออกมาในลักษณะที่ต่างกัน โดยในขั้นตอน** pre –curing **เป็นการชะละลาย** wet gel **โปรตีนจึงถูกชะละลายออกมาส่วนหนึ่ง เมื่อมีการอบน้ำจะพาโปรตีนภายในเนื้อยางเคลื่อนออกมาอีก เมื่ออบจนยางสุกแล้ว การชะละลายในช่วงที่เป็น** post – curing **จึงเป็นการชะละลายโปรตีนที่อยู่ที่ผิวทั้งหมด**

การชะละลายทั้ง pre –curing และpost – curing จะช่วยลดโปรตีนได้มาก เพราะการชะละลายขณะเป็น wet gel จะช่วยให้เหลือโปรตีนที่ผิวน้อยลง ทำให้โปรตีนที่อยู่ในเนื้อยางลึกลงไปสามารถเคลื่อนออกมาที่ผิวถุงมือยางมากขึ้น และถูกชะละลายออกได้ในขั้น post – curing ส่งผลให้ความเข้มข้นของโปรตีนในสารละลายที่ติดอยู่ที่ผิวยางจะต่ำกว่า เมื่อถุงมือยางแห้งจึงเหลือโปรตีนน้อยกว่า



รูปที่ 5.3 แสดงถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ลดลง เมื่อทำการชะละลายด้วยสารละลาย SDS (ค่าแรงตึงผิว 32 ไดน์/เซนติเมตร) ในขั้นตอนต่างๆที่ทำการศึกษา

รูปที่ 5.3 แสดงถึงร้อยละของปริมาณโปรตีนที่ลดลง เมื่อทำการชะละลายด้วยสารละลาย SDS ในขั้นตอนต่างๆที่ทำการศึกษา เปรียบเทียบกับการชะละลายด้วยน้ำในขั้นตอน pre+post - curing leaching, พบว่า ขั้นตอน pre+post - curing leaching ,post – curing leaching และ pre - curing leaching สามารถลดปริมาณโปรตีนได้ร้อยละ 69.4, 52.6 และ 25.6 ตามลำดับ

การวิเคราะห์เปรียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลงานของ / รายการ	K. Makuuchi (2539)	สุพะไชย์ จินดาวุฒิกุล (2540)	ชโนวิทก์ ตู้บรรเทิง (2541)
ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา	รังสีแกมมาหรือลำอิเล็กตรอนจาก low energy electron bream machine	อุณหภูมิ เวลา อัตราการขยายผิวของถุงมือยาง	กรด-เบส สารลดแรงตึงผิว ความดัน ภาวะการกวนและไม่กวนขณะชะละลาย การชะละลายก่อนและหลังการทำให้ยางสุก
วัตถุดิบ	น้ำยางสด น้ำยางข้นประเภท HA-Latex	ถุงมือยางธรรมชาติ	ถุงมือยางธรรมชาติ
วิธีวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน	BCA(Bi Cinchoninic Acid)	Modify Lowry	Modify Lowry
ปริมาณโปรตีนที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์	ปราศจากโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในผลิตภัณฑ์	สามารถชะละลายโปรตีนออกจากถุงมือยางได้สูงแต่ไม่ได้แสดงปริมาณโปรตีนที่คงเหลือในผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง	ในภาวะที่ดีที่สุด พบว่าสามารถชะละลายโปรตีนในถุงมือยางธรรมชาติคงเหลือประมาณ 20 ไมโครกรัม/กรัมถุงมือ

			ยาง
ข้อคิดเห็น	มีขั้นตอนยุ่งยากเนื่องจากเมื่อน้ำยางฉายรังสีจากนั้นเจือจางด้วยน้ำและ centrifuge อีกครั้งหนึ่งทำให้เวลาในการผลิตและต้นทุนสูง การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ยาก อีกทั้งรังสีแกมมาอาจก่อเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหากการควบคุมและป้องกันไม่ดีพอขณะปฏิบัติงาน	จากการศึกษามีความเป็นไปได้ในกรณี อุณหภูมิและเวลา สำหรับประยุกต์ในอุตสาหกรรม แต่กรณีการขยายผิวของถุงมือยางในขณะชะละลายเป็นไปได้ยากที่จะประยุกต์ในอุตสาหกรรม	กรณีการใช้กรด-เบส, สารลดแรงตึงผิว,ภาวะการกวนและไม่กวนขณะชะละลาย และการชะละลายก่อนและหลังการทำให้ยางสุกสามารถประยุกต์ในอุตสาหกรรม เพราะไม่ต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตมากส่วนผลของความดันอาจประยุกต์ในอุตสาหกรรมได้ยาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย