3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การเตรียมไคตินและไคโตแซน

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าไคตินและไคโตแซนที่เตรียมจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ได้ปริมาณเท่ากับ 36.82 และ 16.35% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Benjakul และ Sophanodora (1993) และ มณฑา จำเริญรักษ์ (2544)

ตารางที่ 6 ผลผลิตจากการสกัดไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*)

ชนิดของผลผลิต	ปริมาณ (%)
ไคติน	36.82
ไคโตแซน[1]	16.35
ไคโตแซน[2]	75.31

ไคโตแซน[1] ปริมาณเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งจากเปลือกกุ้งบด

ไคโตแซน[2] ปริมาณเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักแห้งของไคติน

3.2 คุณสมบัติของไคโตแซน

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไคโตแซนที่เตรียมได้ด้วยวิธีวัดความหนืด (viscoscopic method) พบว่ามีค่า $1.99 \pm 0.11 \times 10^6$ ดาลตัน ซึ่งต่ำกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากวัตถุดิบและวิธีการคล้ายกันโดยมณฑา จำเริญรักษ์ (2544) ที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ย $2.69 \pm 0.11 \times 10^6$ ดาลตัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการกำจัดหมู่อะซิติลอุณหภูมิขณะรีฟลักซ์ด้วย 50% NaOH ในที่นี้สูงกว่า ($131^{\circ}C$) ทำให้โมเลกุลของไคโตแซนมีขนาดเล็กลง

เมื่อนำไคโตแซนที่เตรียมได้ไปทดสอบการละลายใน 1.08% อะซิติก พบว่าสามารถละลายได้สูงสุด 3% (น.น. : ปริมาตร) ซึ่งสูงกว่าผลการทดลองของมณฑา จำเริญรักษ์ (2544) เล็กน้อย อาจเป็นผลจากไคโตแซนในที่นี้มีน้ำหนักโมเลกุลเล็กกว่าจึงสามารถละลายได้มากกว่า (Muzzarelli and Jeuniaux, 1976)

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนที่เตรียมได้มีค่า 84.40±0.38% ซึ่งต่ำกว่าผลการศึกษาของมณฑา จำเริญรักษ์ (2544) ที่รายงานระดับการกำจัดหมู่อะซิติลที่ 92.24% จึงเป็นไปได้ว่าอุณหภูมิสำหรับปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติลขณะรีฟลั๊กซ์ที่ต่างกันเล็กน้อยไม่มีผลต่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติล แต่มีผลต่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตแซน (Wu and Bough, 1978)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*P. monodon*) แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± S.E.(จากการทดลอง 3 ซ้ำ)

คุณสมบัติของไคโตแซน	ผลการวิเคราะห์
น้ำหนักโมเลกุล (ดาลตัน)	$1.99 \pm 0.11 \times 10^6$
ความสามารถในการละลาย (%, น.น. : ปริมาตร)	3
ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (%)	84.40±0.38

3.3 คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำยางสกิม

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของน้ำยางสกิมจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย ± S.E. (จากการทดลอง 3 ซ้ำ)

คุณสมบัติของน้ำยางสกิม	ตัวอย่างน้ำยางสกิม	
	เก็บครั้งที่ 1	เก็บครั้งที่ 2
pH	10.2	9.8
ปริมาณของแข็งรวมในน้ำยางสกิม (TSC, %)	8.011±0.01	9.213±0.00

ตารางที่ 8 แสดงคุณสมบัติของน้ำยางสกิมซึ่งเก็บตัวอย่างจากโรงงานฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางข้น จำกัด พบว่าน้ำยางสกิมมีสภาพความเป็นด่างสูงโดยตัวอย่างที่เก็บ 2 ครั้ง มีค่า pH แตกต่างกันคือ 10.2 และ 9.8 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยางซึ่งเป็นวัตถุดิบก่อนนำส่งโรงงานต้องเติมแอมโมเนียลงไปเพื่อป้องกันการจับตัวของอนุภาคยางและเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้น้ำยางบูด ดังนั้นก่อนที่จะนำน้ำยางสกิมไปใช้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ตลอดการทดลองนี้จึงต้องปรับ pH ของตัวอย่างน้ำยางสกิมให้มีมาตรฐานเดียวกันคือ 9

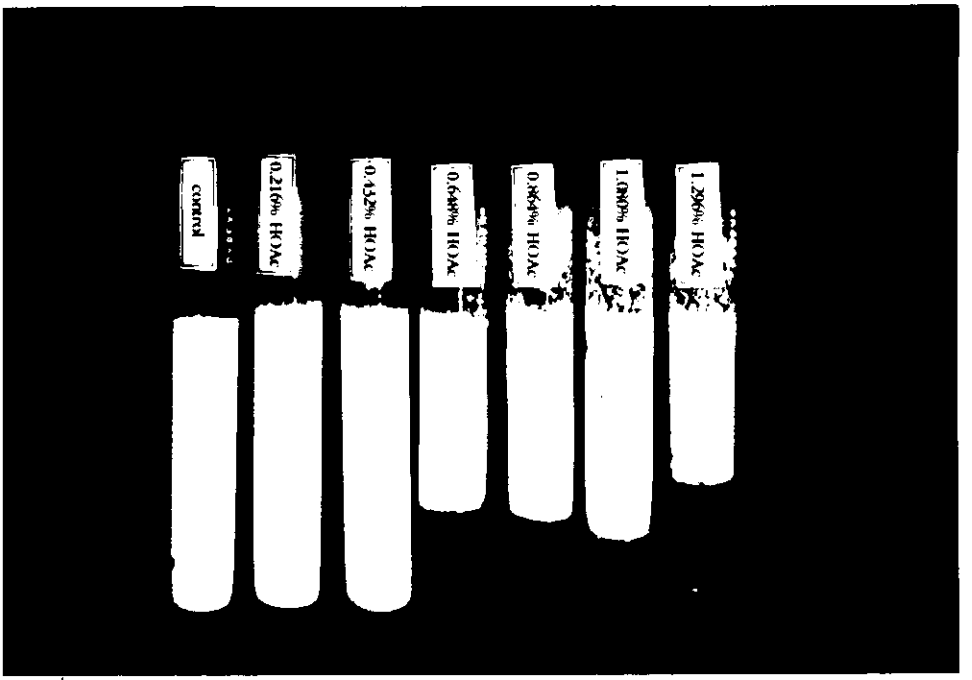
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งรวม (total solid content : TSC) ในน้ำยางสกิมซึ่งเก็บตัวอย่างสองครั้งมีค่าเป็น 8.011±0.01 และ 9.213±0.00% (ตารางที่ 8) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณ 8.32% ในน้ำยางสกิมจาก บริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด ที่รายงานโดย ศิวโรฒ บุญราศรี (2543)

3.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการรวมเนื้อยางของไคโตแซน

3.4.1 อิทธิพลของกรดอะซิติกต่อการจับตัวของอนุภาคยางสกิม

รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของกรดอะซิติกต่อการจับกลุ่มของอนุภาคยางในน้ำยางสกิม จะเห็นว่าเมื่อเติม 2 มล. กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.08% และ 2.16% ลงใน 8 มล. น้ำยางสกิม pH 9 ไม่สามารถทำให้อนุภาคยางจับตัวกัน (ความเข้มข้นของกรดในของผสมเป็น 0.216% และ 0.432% ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดเป็น 0.648% พบว่าเนื้อยางเกิดการรวมกลุ่มได้บางส่วนแต่ของเหลวยังมีขุ่นสูงแสดงว่าการจับตัวของอนุภาคยางยังไม่สมบูรณ์ แม้ลักษณะการจับตัวจะปรากฏให้เห็นชัดเจนขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดเป็น 0.864% แต่เนื้อยางแยกออกมายังคงมีลักษณะเปื่อยยุ่ย

ผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมกรดอะซิติกลงในน้ำยางสกิมให้มีความเข้มข้น 1.08 และ 2.16% ไม่มีผลทำให้อนุภาคยางจับตัวกัน ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของกรดอะซิติกดังกล่าวนี้มาใช้เป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายไคโตแซนสำหรับการศึกษาเฉพาะอิทธิพลของไคโตแซนต่อการรวมอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมในขั้นตอนต่อไป



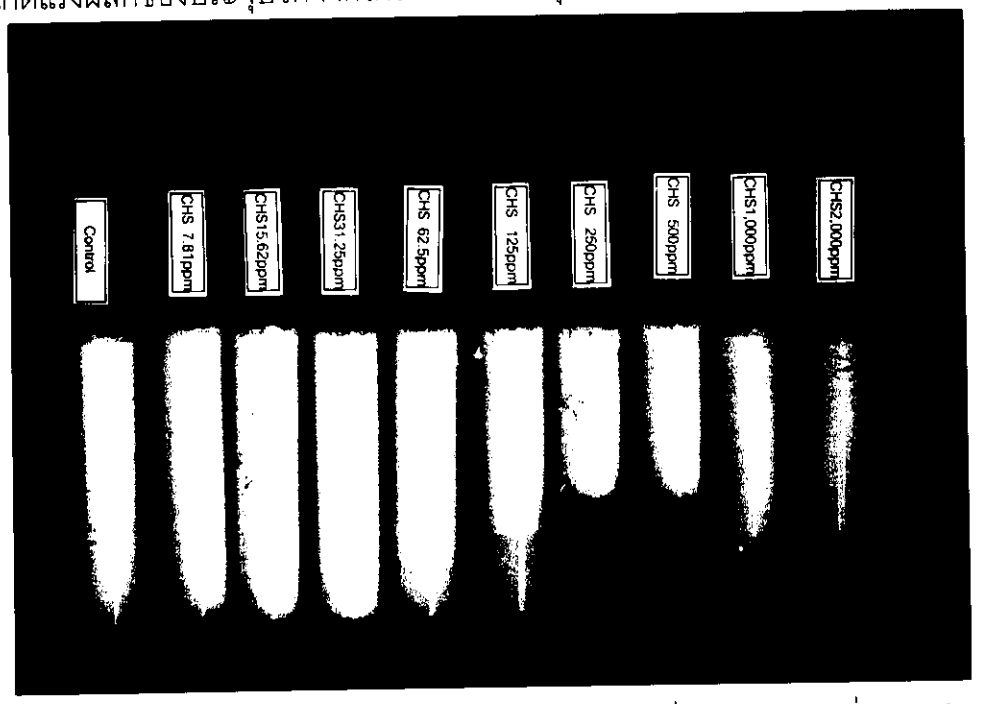
รูปที่ 8 แสดงอิทธิพลของกรดอะซิติกต่อการจับตัวกันของอนุภาคยางสกิม ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.216-1.296%ในน้ำยางสกิม pH 9

3.4.2 ความเข้มข้นของกรดอะซิติกและการประเมินความเข้มข้นของไคโตแซนเพื่อแยกอนุภาคยางในช่วงกว้าง

ผลการทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นของไคโตแซนที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคยางแยกออกจากของเหลวพบว่า เมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.08% เป็นตัวทำละลายจะต้องใช้ไคโตแซนในน้ำยางสกิมที่ความเข้มข้นสูงประมาณ 1,000 ppm จึงสามารถทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคยางได้ (ไม่ได้แสดงรูปผลการทดลอง) แต่เมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 2.16% เป็นตัวทำละลายพบว่าความเข้มข้นไคโตแซนตั้งแต่ 250 ppm ขึ้นไปสามารถทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคยางในน้ำยางสกิมได้เป็นอย่างดี (รูปที่ 9)

เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อผสมไคโตแซนลงไปให้มีความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm นอกจากจะทำให้เกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคยางในน้ำยางสกิมได้เป็นอย่างดีแล้วยังทำให้การรวมกลุ่มมีลักษณะที่จับตัวกันแน่นกว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่ช่วงความเข้มข้นดังกล่าวทำให้การรวมกลุ่มของอนุภาคยางเกิดขึ้นได้พอดีหรือเป็นสภาวะสมดุลย์ระหว่างประจุบวกของไคโตแซนและประจุลบของอนุภาคยาง แต่เมื่อเพิ่ม

ความเข้มข้นให้สูงขึ้นทำให้ไคโตแซนส่วนเกินเข้าไปสอดแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคยางมากขึ้น ทำให้เกิดแรงผลักของประจุบวกจากไคโตแซนซึ่งมีอนุภาคยางเกาะเกี่ยวอยู่ด้วยมากขึ้น

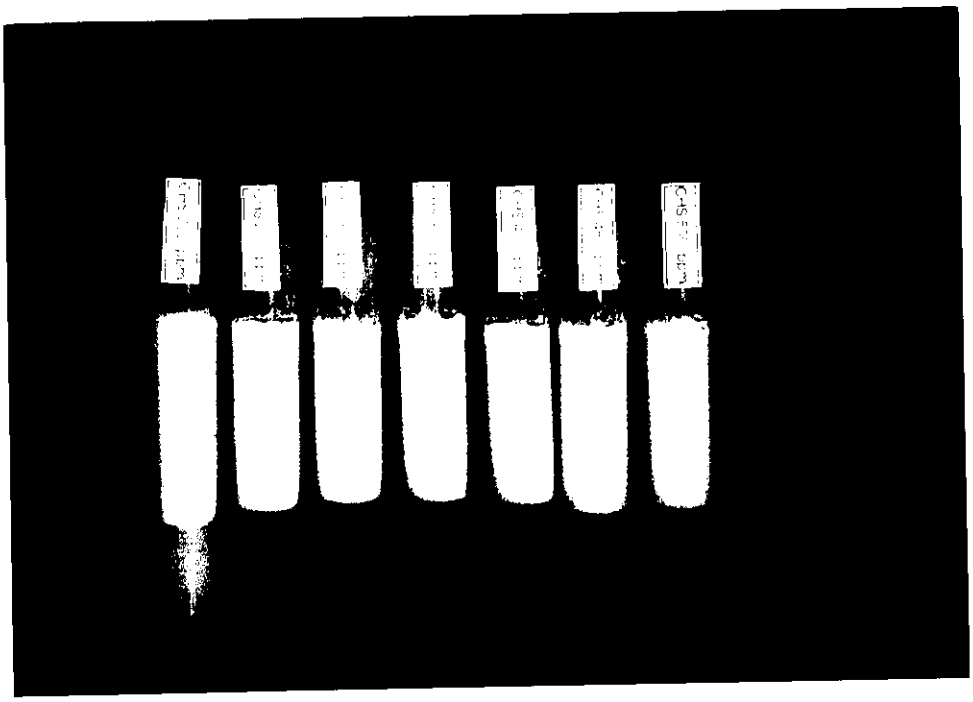


รูปที่ 9 แสดงอิทธิพลในการรวมเนื้อยางแยกออกจากส่วนที่เป็นของเหลวที่ความเข้มข้น 7.81–2000 ppm ไคโตแซน (ที่มี 2.16% อะซิติก เป็นตัวทำละลาย) ในน้ำยางสกิม pH 9 หลังจากที่วางให้เกิดการจับกันของอนุภาคยางด้วยเวลามากเกินพอ (24 ชั่วโมง)

ผลจากการทดลองนี้สรุปได้ว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 2.16% เป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารละลายไคโตแซน แล้วเติมสารละลายไคโตแซนลงในน้ำยางสกิมให้ความเข้มข้นของของผสมอยู่ในช่วง 250-500 ppm สามารถทำให้เกิดการแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิมได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามความเข้มข้นดังกล่าวนี้ยังนับว่าเป็นช่วงกว้างจึงควรทำการทดสอบหาความเข้มข้นที่ละเอียดต่อไป

3.4.2 ความเข้มข้นของไคโตแซนที่เหมาะสมสำหรับแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิม

รูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมสารละลายไคโตแซนซึ่งเตรียมในกรดอะซิติกความเข้มข้น 2.16% ปริมาตร 2 มล. ลงในน้ำยางสกิม pH 9 ปริมาตร 8 มล. เช่นเดียวกับการทดลองข้างต้น แต่ปรับความเข้มข้นของไคโตแซนในน้ำยางสกิมระหว่าง 200-500 ppm ให้แคบลงเป็น 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 ppm พบว่า ไคโตแซนความเข้มข้น 200 ppm ไม่สามารถแยกเนื้อยางออกมาได้



รูปที่ 10 แสดงผลการแยกของเนื้อยางออกจากน้ำส่วนที่เป็นของเหลว เมื่อใช้ 200-500 ppmไคโตแซน (ที่มี 2.16% อะซิติก เป็นตัวทำละลาย) ในน้ำยางสกิม pH 9 หลังจากที่ผสมให้เข้ากันและวางไว้ 30 นาที

แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 300-350 ppm ไคโตแซนสามารถแยกอนุภาคยางลอยขึ้นมาได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลาประมาณ 5 นาที (จับเวลาหลังการผสมให้เข้ากันดีจนสังเกตด้วยสายตาเห็นการแยกของเนื้อยางและของเหลวเกิดขึ้น) อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการแยกอนุภาคยางของไคโตแซนไม่ได้แปรผันโดยตรงกับความเข้มข้น เพราะที่ระดับความเข้มข้น 250 และ 400 ใช้เวลาพอๆกันคือประมาณ 10 นาที ในขณะที่ที่ระดับความเข้มข้น 450-500 ppm ใช้เวลาประมาณ 15 นาที ข้อที่น่าสังเกต

จากการทดลองนี้คือความแน่นในการจับกลุ่มของอนุภาคยางระดับความเข้มข้นของไคโตแซนระหว่าง 250-500 ppm ไม่มีความแตกต่างกัน

3.5 คุณสมบัติของของเหลวที่เหลือหลังการแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิม

3.5.1 ปริมาณโปรตีน

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโปรตีนในของเหลวหลังจากแยกเนื้อยางจากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการและสภาวะที่ต่างกันคือ การปั่นเหวี่ยง การใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าความเข้มข้นของโปรตีนในของเหลวที่เหลือเมื่อแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิม (serum) ที่ไม่ปรับ pH ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงมีค่า 7.62 มก./มล.ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นจากน้ำยางสกิมที่ปรับ pH เป็น 9 (6.82 มก./มล.) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับของเหลวที่เหลือหลังการแยกอนุภาคยางด้วยวิธีอื่นจะเห็นว่าซีรั่มที่เตรียมได้จากทั้ง 2 สภาวะมีส่วนประกอบของโปรตีนสูงกว่า ดังนั้นถ้าถือว่าปริมาณโปรตีนในของเหลวหลังการแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมที่ปรับ pH เป็น 9 ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงคือ 100% จะเห็นว่าโปรตีนที่เหลือในของเหลวหลังการใช้กรดซัลฟิวริกเพื่อแยกอนุภาคยางมีความเข้มข้นต่ำที่สุดคือ 48.55% และรองลงมาคือการใช้กรดอะซิติก (59.76%) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำยางสกิมออกมารวมกับอนุภาคยางได้ไม่เท่ากัน

การใช้ไคโตแซนเพื่อแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิม pH 9 ที่ความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm พบว่าของเหลวมีส่วนประกอบของโปรตีนใกล้เคียงกันมาก (3.56-3.67 มก/มล.) หรือ 62.14-64.07% (ค่าเฉลี่ย 63.24%) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากปริมาณเป็นร้อยละจะเห็นว่าความเข้มข้นของโปรตีนในของเหลวจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นไคโตแซน (ตารางที่ 9) จึงคาดว่าการใช้สารละลายไคโตแซนในการแยกเนื้อยางน่าจะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้นเพราะมีส่วนประกอบของโปรตีนน้อยลง

เป็นที่น่าสังเกตว่า pH ของของเหลวเมื่อใช้ 1.84% ซัลฟิวริก มีค่าต่ำสุดคือ 3.3 และรองลงมาคือของเหลวที่เหลือเมื่อใช้ 1.30% อะซิติก และ ไคโตแซน ซึ่งมีค่า 4.2 และ 6.5 ตามลำดับ จากสภาวะของน้ำยางสกิมที่มีความเป็นกรดสูงกว่าจึงมีโอกาสทำให้โปรตีนเสียสภาพและตกตะกอนออกมารวมตัวกับอนุภาคยางได้มากกว่า

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นของโปรตีนในของเหลวหลังจากแยกเนื้อยางด้วยการปั่นเหวี่ยง เปรียบเทียบกับการใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	ความเข้มข้นของโปรตีน	
	ในน้ำเสีย (มก./มล.)	ในน้ำเสีย/น้ำยางสกิม (%)
จากน้ำยางสกิมที่ยังไม่ปรับ pH	7.62	-
จากน้ำยางสกิมที่ปรับ pH เป็น 9	6.82	100
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	2.79	48.55
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	3.43	59.76
จากน้ำยางสกิม pH 9+250 ppm ไคโตแซน	3.67	64.07
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	3.66	63.70
จากน้ำยางสกิม pH 9+350 ppm ไคโตแซน	3.65	63.62
จากน้ำยางสกิม pH 9+400 ppm ไคโตแซน	3.63	63.36
จากน้ำยางสกิม pH 9+450 ppm ไคโตแซน	3.56	62.14
จากน้ำยางสกิม pH 9+500 ppm ไคโตแซน	3.59	62.56

3.5.2 ค่า COD (Chemical Oxygen Demand)

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่า COD ที่วิเคราะห์ได้ในของเหลวหลังจากแยกเนื้อยางจากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการและสภาวะที่ต่างกันคือ การปั่นเหวี่ยง การใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าค่า COD ในของเหลวที่เหลือเมื่อแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิม (serum) ที่ไม่ปรับ และ ปรับ pHเป็น 9 ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงมีค่า 34,110 และ 39,212 มก. O_2/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าที่รายงานโดย ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล (2538 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) เล็กน้อย การใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% และ กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% พบว่าค่า COD ในของเหลวมีค่า 20,400 และ 41,500 มก. O_2/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ไคโตแซนที่ความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm มีค่า COD ใกล้เคียงกันมาก คือ 31,253-32,924 มก.O_2/ลิตร

(เฉลี่ย 32,000 มก.O_2/ลิตร) ทั้งนี้เนื่องจากทั้งกรดอะซิติกและไคโตแซนเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้

ตารางที่ 10 ค่า COD ของเหลวที่เหลือจากการแยกจากเนื้อยางด้วยการปั่นเหวี่ยงใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	COD (มก.O_2/ลิตร)
จากน้ำยางสกิมที่ยังไม่ปรับ pH	34,110
จากน้ำยางสกิมที่ปรับ pH 9 เป็น 9	39,212
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84% ซัลฟิวริก	20,400
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30% อะซิติก	41,500
จากน้ำยางสกิม pH 9+250 ppm ไคโตแซน	31,704
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	31,253
จากน้ำยางสกิม pH 9+350 ppm ไคโตแซน	31,888
จากน้ำยางสกิม pH 9+400 ppm ไคโตแซน	31,504
จากน้ำยางสกิม pH 9+450 ppm ไคโตแซน	32,924
จากน้ำยางสกิม pH 9+500 ppm ไคโตแซน	32,348

แม้ว่าของเหลวที่เหลือหลังการใช้สารละลายไคโตแซนเพื่อแยกอนุภาคยางมีค่า COD สูงกว่าการใช้กรดซัลฟิวริก แต่วิธีนี้จะไม่เพิ่มซัลเฟตลงไปในน้ำทิ้งจึงควรจะช่วยลดปัญหากลิ่นเหม็นเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นผลิตผลจากปฏิกิริยารีดักชั่นของซัลเฟตโดยแบคทีเรียในสกุล *Desulfovibrio* (Brock *et al.*, 1984) ถ้าในบรรยากาศมีก๊าซดังกล่าวนี้ 30 ppm ทำให้รู้สึกกลิ่นเหม็น แต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงถึง 600 และ 2,000 ppm จะทำให้สิ้นสติภายใน 30 นาทีและ เสียชีวิตในไม่กี่นาที ตามลำดับ (Dally, 1982 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539)

3.5.3 ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้ในของเหลวหลังจากแยกเนื้อยางจากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการและสภาวะที่ต่างกันคือ การปั่นเหวี่ยง การใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าค่า BOD ในของเหลวที่เหลือเมื่อแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมที่ไม่ปรับ pH และ ปรับ pH เป็น 9 ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงมีค่า 9,109 และ 13,500 มก. O_2/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ 13,670 มก. O_2/ลิตร ที่รายงานโดย ธีรยศ วิทิตสุวรรณกุล (2538 อ้างโดย แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์, 2539) การใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% และ กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% พบว่าค่า BOD ในของเหลวมีค่า 10,184 และ 18,421 มก.O_2/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ไคโตแซนที่ความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm มีค่า BOD ใกล้เคียงกันมาก คือ 13,125-14,000 มก.O_2/ลิตร (เฉลี่ย 13,437 มก.O_2/ลิตร)ทั้งนี้เนื่องจากทั้งกรดอะซิติกและไคโตแซนเป็นสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งที่ได้จากการแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิมทั้ง 3 วิธี มีระดับความสกปรกสูงกว่ามาตรฐาน ที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรมว่าต้องมีค่า COD และ BOD ไม่เกิน 400 มก.O_2/ลิตร และ 60 มก.O_2/ลิตร ตามลำดับ (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2, 2539) จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดจึงจะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้

ปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำยางข้นบางแห่งพยายามปรับวิธีบำบัดน้ำเสียไปเป็นระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เพื่อสามารถแก้ปัญหากลิ่นและนำผลิตผลคือแก๊สมีเทนไปใช้ต่อเนื่องเป็นพลังงานเชื้อเพลิง แต่ระบบดังกล่าวก็ยังคงเป็นปัญหาในทางปฏิบัติเพราะการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบดังกล่าวเกิดขึ้นโดยกิจกรรมของแบคทีเรียซึ่งจะถูกยับยั้งเมื่อมีระดับของซัลเฟตในสารละลายสูงกว่า 2,000 ppm (Choi and Rim, 1990) แต่น้ำทิ้งจากโรงงงานผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปมีปริมาณซัลเฟตสูงถึง 7,000 ppm ปัญหาดังกล่าวนี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ถ้าใช้กรดซัลฟิวริกมาแยกอนุภาคยางจากน้ำยางสกิม จึงคาดว่าการใช้สารละลายไคโตแซนน่าจะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

ตารางที่ 11 ค่า BOD ในของเหลวทีเหลือจากการแยกเนื้อยางด้วยการปั่นเหวี่ยง ใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย จากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	BOD (มก.O_2/ลิตร)
จากน้ำยางสกิมที่ยังไม่ปรับ pH	9,109
จากน้ำยางสกิม pH 9	13,500
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	10,184
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	18,421
จากน้ำยางสกิม pH 9+250 ppm ไคโตแซน	14,000
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	13,125
จากน้ำยางสกิม pH 9+350 ppm ไคโตแซน	13,250
จากน้ำยางสกิม pH 9+400 ppm ไคโตแซน	14,000
จากน้ำยางสกิม pH 9+450 ppm ไคโตแซน	13,000
จากน้ำยางสกิม pH 9+500 ppm ไคโตแซน	13,250

3.6 ประเมินคุณภาพเนื้อยาง

3.6.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิมและการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของยางที่ผ่านมาพบว่าคุณภาพเนื้อยางและสมบัติของของเหลวที่เหลือจากการแยกเนื้อยางด้วยไคโตแซนที่ความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm ให้ผลใกล้เคียงกันมาก แต่ที่ความเข้มข้น 300-350 ppm ใช้เวลาน้อยที่สุด และจากการสังเกตเนื้อยางเบื้องต้นเนื้อยางที่ความเข้มข้น 250 ppm ไคโตแซน ที่ได้ยังค่อนข้างยุ่ย ดังนั้นคุณสมบัติของเนื้อยางที่แยกด้วยไคโตแซนจึงเลือกใช้เฉพาะระดับความเข้มข้น 300 ppm เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้ 1.84% ซัลฟิวริก และ 1.30% อะซิติก ต่อไป

3.6.1.1 ปริมาณไนโตรเจน

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการและสภาวะที่ต่างกันคือ การปั่นเหวี่ยง การใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนในเนื้อยางจากน้ำยางสกิมที่ไม่ปรับ pH และ ปรับ pH เป็น 9 ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงมีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกันคือ 0.54 และ 0.59% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อยางที่ได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% และ กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% กับน้ำยางสกิมสภาวะเดียวกันมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดคือ 2.42% และรองลงมาคือ 1.73% ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อยางที่แยกได้จากน้ำยางสกิม ด้วยการปั่นเหวี่ยง ใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย จากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	ไนโตรเจน (%)
จากน้ำยางสกิมที่ยังไม่ปรับ pH	0.54
จากน้ำยางสกิม pH 9	0.59
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	2.42
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	1.73
จากน้ำยางสกิม pH 9+250 ppm ไคโตแซน	1.66
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	1.65
จากน้ำยางสกิม pH 9+350 ppm ไคโตแซน	1.69
จากน้ำยางสกิม pH 9+400 ppm ไคโตแซน	1.74
จากน้ำยางสกิม pH 9+450 ppm ไคโตแซน	1.74
จากน้ำยางสกิม pH 9+500 ppm ไคโตแซน	1.82

การใช้ไคโตแซนความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm เพื่อแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิม pH 9 พบว่าเนื้อยางที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนระหว่าง 1.65-1.82% (เฉลี่ย 1.72%) ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับการใช้กรดอะซิติก เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณไนโตรเจนใน

เนื้อยางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไคโตแซนความเข้มข้นสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากไคโตแซนซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 8.09 % (มณฑา จำเริญรักษ์ 2544) เข้าไปเกาะกับอนุภาคยางมากขึ้น อย่างไรก็ตามเนื้อยางที่ได้เมื่อแยกออกมาด้วยไคโตแซนสามารถลดปริมาณไนโตรเจนลงประมาณ 30% เมื่อเทียบกับการใช้ 1.84% ซัลฟิวริก

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนในยางที่ได้จากการแยกทั้ง 3 วิธี มีปริมาณอยู่ในช่วงเดียวกับผลการทดลองของ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ และ คณะ (2543) ที่รายงานว่าในยางสกิมเกรดปกติมีปริมาณไนโตรเจน 1.841% และจากการเตรียมโดยเทคนิคของดันลอปมีประมาณในช่วง 1.0-4.0% (อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์, 2542) เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณดังกล่าวนี้มีระดับที่สูงกว่ามาตรฐานยางไทย (Standard Thai Rubber: STR) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.60% (สถาบันวิจัยยาง, 2538) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากน้ำยางสกิมมีโปรตีนต่อเนื้อยางสูงเนื่องจากอนุภาคยางสกิมมีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวมากกว่าอนุภาคของน้ำยางสดทั่วไป

3.6.1.2 ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตน

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนในเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการและสภาวะที่ต่างกันคือ การปั่นเหวี่ยง การใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ จะเห็นว่าปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนในเนื้อยางจากน้ำยางสกิมที่ไม่ปรับ pH และ ปรับ pH เป็น 9 ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงมีค่าต่ำสุดและใกล้เคียงกันคือ 3.92 และ 4.24% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อยางที่ได้จากการใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% และ กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% กับน้ำยางสกิมสภาวะเดียวกันมีปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนสูงที่สุดและใกล้เคียงกันคือ 7.95 และ 7.29% ตามลำดับ

การใช้ไคโตแซนความเข้มข้นระหว่าง 250-500 ppm เพื่อแยกเนื้อยางออกจากน้ำยางสกิม pH 9 พบว่าเนื้อยางที่ได้มีปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนใกล้เคียงกันมากระหว่าง 6.72-6.92% (เฉลี่ย 6.82%) ซึ่งต่ำกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกและกรดอะซิติกเล็กน้อย

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนในยางที่ได้จากการแยกทั้ง 3 วิธี มีปริมาณใกล้เคียงกับผลการทดลองของ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ (2542) ที่รายงานว่าในยางสกิมที่เตรียมโดยเทคนิคของดันลอปมีปริมาณ 6.4% เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณดังกล่าวนี้มีระดับที่สูงกว่ายางแผ่น STR 5L ซึ่งมีค่า 3.4%

ตารางที่ 13 ปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนในเนื้อยางที่แยกได้จากน้ำยางสกิมด้วยการปั่นเหวี่ยง ใช้กรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	สารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตน (%)
จากน้ำยางสกิมที่ยังไม่ปรับ pH	3.92
จากน้ำยางสกิม pH เป็น 9	4.24
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	7.95
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	7.29
จากน้ำยางสกิม pH 9+250 ppm ไคโตแซน	6.78
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	6.93
จากน้ำยางสกิม pH 9+350 ppm ไคโตแซน	6.72
จากน้ำยางสกิม pH 9+400 ppm ไคโตแซน	6.77
จากน้ำยางสกิม pH 9+450 ppm ไคโตแซน	6.84
จากน้ำยางสกิม pH 9+500 ppm ไคโตแซน	6.92

สารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนในเนื้อยางอาจมาจากสารหลายชนิดเช่น ซัลเฟอร์, กรดไขมัน, เกลือของกรดไขมัน, สารประกอบไฮโดรคาร์บอน, plasticizer, antioxidants, bituminous (ASTM,1982) การที่เนื้อยางมีส่วนประกอบของสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนปริมาณสูงจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ว่าคุณภาพของยางนั้นต่ำ

3.6.1.3 **ปริมาณเถ้า** (ash)

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณเถ้าในเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้น 300 ppm จะเห็นว่าปริมาณเถ้าในเนื้อยางที่แยกออกมาจากน้ำยางสกิมที่ปรับ pH เป็น 9 ด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% และ กรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% มีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.47% และ 0.46% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการใช้สารละลายไคโตแซน (0.79%) ทั้งนี้อาจเนื่องจากไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็น chelating agent จึงสามารถดูดซับโลหะในน้ำยางสกิมออกมาสอดแทรกอยู่ในเนื้อยางได้มากกว่า

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเถ้าในยางที่ได้จากการแยกทั้ง 3 วิธี มีปริมาณต่ำกว่าผลการทดลองของ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ (2542) ที่รายงานว่าในยางสกิมที่เตรียมด้วยเทคนิคดันลอปมีปริมาณเถ้า เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณดังกล่าวนี้มีระดับต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับยางแผ่น STR 20 ซึ่งมีค่า 0.8%

เนื่องจากเถ้า (ash) ในยางธรรมชาติประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) พวกคาร์บอเนตออกไซด์ และฟอสเฟตของโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆ นอกจากนี้ก็อาจเป็นพวกซิลิกา หรือซิลิเกต ที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติหรือเป็นสิ่งแปลกปลอมจากภายนอก (ASTM,1982) การที่ยางมีระดับของเถ้าสูงจึงมีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อยาง

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณเถ้า (ash) ในเนื้อยางที่ได้จากน้ำยางสกิม pH 9 กับ 1.84%ซัลฟิวริก 1.30%อะซิติก และ 300 ppm ไคโตแซน แสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองตัวอย่างละ 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	ปริมาณเถ้า (%)
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	0.47
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	0.46
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	0.79

3.6.2 การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์

3.6.2.1 ความเข้มของสี

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มของสีในเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้น 300 ppm พบว่าเนื้อยางจากน้ำยางสกิม pH 9 ที่แยกได้จากทั้ง 3 วิธี คือใช้ 1.84% ซัลฟิวริก 1.30% อะซิติก และสารละลายไคโตแซนความเข้มข้น 300 ppm มีความเข้มของสีเกิน 16.0 ตามมาตรฐานของ Lovibond (ASTM, 1982) จึงไม่สามารถวัดได้ แสดงว่าเนื้อยางที่แยกได้จากน้ำยางสกิมด้วยวิธีการที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตวัสดุใส

3.6.2.2 ดัชนีความอ่อนตัว (plasticity retention index : PRI)

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบดัชนีความอ่อนตัวของเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้น 300 ppm จะเห็นว่าเนื้อยางที่แยกออกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% มีค่าดัชนีความอ่อนตัวสูงที่สุดคือ 69.05 รองลงมาคือตัวอย่างที่ได้จากการแยกด้วยไคโตแซนและกรดอะซิติกความเข้มข้น 1.30% คือ 59.50 และ 53.85 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลของซัลเฟอร์จากกรดซัลฟิวริกและพอลิเมอร์ของไคโตแซนเข้าไปยึดพอลิไอโซพรีนในยางทำให้โมเลกุลแตกหักยากขึ้น และเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกน่าจะทำให้โมเลกุลต้านการแตกหักของโมเลกุลได้ดีกว่าเพราะในการวิเคราะห์ขั้นนี้จะต้องทำที่อุณหภูมิสูงที่ 140^{0}C ซึ่งจะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดการยึดของกำมะถันกับโมเลกุลของยางได้มากขึ้นในลักษณะการเกิดวัลคาไนซ์ได้มีผลให้ค่า P_{30} (มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดที่อบ 140 ^{0}C แล้ว) มีค่ามากกว่า P_{0} (มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดก่อนอบ) มาก จึงทำให้ค่า PRI สูง

เนื่องจากดัชนีความอ่อนตัวของยางเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ความต้านทานของยางต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงหรือต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลสูง (ASTM, 1982) จึงเป็นไปได้ว่ายางที่ได้จากการแยกด้วยไคโตแซนน่าจะมีคุณสมบัติดังกล่าวนี้ในระดับปานกลาง

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า PRI ของยางที่ได้จากการแยกทั้ง 3 วิธี มีค่าสูงกว่าผลการทดลองของ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ (2542) ที่รายงานว่ายางสกิมที่เตรียมด้วยเทคนิคดันลอปมีค่าน้อยกว่า 40 ในขณะที่ยางแผ่น STR 20 มีค่า 40

ตารางที่ 15 แสดงดัชนีความอ่อนตัว (plasticity retention index : PRI) ในเนื้อยาง จากน้ำยางสกิม pH 9 กับ 1.84% ซัลฟิวริก 1.30% อะซิติก และ 300 ppm ไคโตแซน แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	Plasticity retention index : PRI
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	69.05
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	53.85
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	59.50

3.6.2.3 **ความหนืดมูนนี่** (Mooney viscosity - V_R)

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความหนืดมูนนี่ของเนื้อยางที่แยกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริก กรดอะซิติก และสารละลายไคโตแซนที่ความเข้มข้น 300 ppm จะเห็นว่าเนื้อยางที่แยกออกจากน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.84% มีค่าความหนืดมูนนี่ต่ำที่สุดคือ 87.90 รองลงมาคือตัวอย่างที่ได้จากการแยกด้วยกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1.30% และ ไคโตแซน คือ 98.90 และ 101.95 ตามลำดับ

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความหนืดมูนนี่ของยางที่ได้จากการแยกทั้ง 3 วิธี มีค่าสูงกว่าผลการทดลองของ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์ (2542) ที่รายงานว่าในยางสกิมที่เตรียมด้วยเทคนิคไฟร์สโตน และ STR 5L มีค่า 74.0 และ 67.0 ตามลำดับ

เนื่องจากความหนืดมูนนี่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของยาง ยางที่มีความหนืดสูงมีน้ำหนักโมเลกุลมากจะแข็งมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไคโตแซนเข้าไปยึดระหว่างสายโซ่พอลิไอโซปรีนทำให้โมเลกุลของยางจับกลุ่มรวมตัวกันใหญ่ขึ้น ยางที่แยกออกมาด้วยไคโตแซนน่าจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่มีความแข็ง แต่ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบที่ต้องการความนิ่มหรือต้องผ่านกระบวนการบดเพื่อผสมสารเคมีต่างๆลงไปเพราะใช้เวลานานและสิ้นเปลืองพลังงาน

ตารางที่ 16 แสดงความหนืดมูนนี (Mooney viscosity - V_R) ในเนื้อยาง จากน้ำยางสกิม pH 9 กับ 1.84%ซัลฟิวริก 1.30% อะซิติก และ 300 ppm ไคโตแซน แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

สภาวะการแยกเนื้อยาง	Mooney viscosity ML1+4(100^0C)
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.84%ซัลฟิวริก	87.90
จากน้ำยางสกิม pH 9+1.30%อะซิติก	98.90
จากน้ำยางสกิม pH 9+300 ppm ไคโตแซน	101.95