

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

ผลการเตรียมไคติน ผลการเตรียมไคโตซาน ผลของภาวะที่ใช้ในการเตรียมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติการใช้งานของไคโตซาน รวมทั้งผลการศึกษาสหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพ สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งาน และสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพกับสมบัติการใช้งานของไคโตซาน สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

การเตรียมไคติน

จากผลการทดลองพบว่าไคตินที่แยกได้จากเปลือกกุ้งขาวอบแห้งมีปริมาณร้อยละ 29.88 ± 0.51 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.18 ± 0.01 และปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 6.11 ± 0.03 ใกล้เคียงกับการทดลองของเขวภา ไหวพริบ (2534) ซึ่งพบว่าปริมาณของไคตินที่แยกได้จากเปลือกกุ้ง 5 พันธุ์ ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งโอตัก กุ้งลายน้ำตาล กุ้งขาว และกุ้งลายหิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยกุ้งขาวให้ปริมาณไคตินร้อยละ 29.33 ± 0.71 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.153 ± 0.012 และปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 6.40 ± 0.00 นอกจากนี้ Muzzarelli (1985) รายงานว่าไคตินมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่างร้อยละ 6.0-7.0

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่านอกจากแหล่งหรือวัตถุดิบที่นำมาแยกไคตินจะมีผลต่อสมบัติของไคตินที่แยกได้แล้ว กรรมวิธีที่ใช้ในการแยกไคตินก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งมีผลต่อปริมาณรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของไคตินที่แยกได้ด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณไคตินที่แยกได้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Chamnanmanoontham (1999) และรัตนารุจิรวนิช (2544) แสดงได้ดังตารางที่ 5-1

Peniston and Johnson (1970 อ้างถึงใน เขวภา ไหวพริบ, 2534 หน้า 45) รายงานว่าหากไคตินมีหมู่อะซีติลครบทุกหน่วยในสายพอลิเมอร์ ไคตินจะมีปริมาณไนโตรเจนโดยเฉลี่ยร้อยละ 6.9 สอดคล้องกับรายงานของ Budavari (1976 อ้างถึงใน รัตเกล้า ภูติวรรณถ, 2539, หน้า 4) ซึ่งพบว่าไคตินมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 6.89 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนในไคตินที่แยกได้มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 6.9 ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยา Deamination ซึ่งยังไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด (Rutherford, n.d. อ้างถึงใน เขวภา ไหวพริบ, 2534, หน้า 39)

ตารางที่ 5-1 ผลของภาวะที่ใช้ในการแยกไคตินต่อปริมาณไคตินที่แยกได้ ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจนในไคติน

ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุ	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน	ปริมาณไคตินที่ผลิตได้ (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	เอกสารอ้างอิง
1 โมลาร์ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง	2 โมลาร์ 2 ชั่วโมง 55 องศาเซลเซียส	29.88	0.18	6.11	ข้อมูลจากการทดลอง
2 โมลาร์ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง	2 โมลาร์ 2 ชั่วโมง 55 องศาเซลเซียส	27.82-30.50	0.142-0.158	6.36-6.41	เขาวภา ไหวพริบ (2534)
1 โมลาร์ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง	1 โมลาร์ 2 ชั่วโมง 80-90 องศาเซลเซียส	26-30	-	-	Chamnanmanoontham (1999)
1 โมลาร์ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง (2 รอบ)	ร้อยละ 4 (w/v) 24 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง และ ร้อยละ 4 (w/v) 24 ชั่วโมง 80 องศาเซลเซียส	30	-	-	รัตนา รุจิรวนิช (2544)
ร้อยละ 37 (v/v) 4 ชั่วโมง -20 องศาเซลเซียส	ร้อยละ 10 (w/v) 3 วัน อุณหภูมิห้อง	20	-	7.1	Whistler & BeMiller (1962 cited in Muzzarelli, 1977, p. 90)

การเตรียมไคโตซาน

จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมไคโตซานภายใต้ภาวะการกำจัดหมู่อะซิติลต่าง ๆ กัน ได้แก่ อุณหภูมิ 110-120 และ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 2 และ 3 รอบ และเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ให้ค่าปริมาณผลผลิตของไคโตซานระหว่างร้อยละ 67.72-79.91 โดยน้ำหนักแห้งของไคติน โดยการผลิตไคโตซานภายใต้ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 รอบ และเวลา 1 ชั่วโมง ให้ปริมาณไคโตซาน ร้อยละ 79.76 ± 0.30 สอดคล้องกับรายงานของ Chamnanmanoontham (1999) ซึ่งพบว่าปริมาณไคโตซานซึ่งเตรียมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 ทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเติมสารโซเดียมโบโรไฮไดรไรด์ 0.5 กรัมต่อ ปริมาณไคติน 10 กรัม หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็น แล้วล้างน้ำจนเป็นกลางก่อนนำไปอบแห้งที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ให้ปริมาณผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 78-85 โดยน้ำหนักแห้งของไคติน นอกจากนี้การศึกษากการเตรียมไคโตซานของ รัตนา รุจิรวนิช (2544) โดยใช้วิธีการเตรียม

เช่นเดียวกับวิธีของ Chamnanmanoontham พบว่าให้ปริมาณไคโตซานร้อยละ 24 โดยน้ำหนักแห้งของเปลือกกุ้ง หรือร้อยละ 80 โดยน้ำหนักแห้งของไคติน

จากผลการทดลองพบว่านอกจากการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดจะส่งผลให้ปริมาณไคโตซานที่ผลิตได้ต่ำลงแล้ว การเพิ่มอุณหภูมิ ประกอบกับการทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างซ้ำ (โดยการล้างไคโตซานที่ได้ก่อนที่จะเติมสารละลายต่างลงไปทำปฏิกิริยาซ้ำอีกครั้ง) ยังส่งผลให้ปริมาณไคโตซานที่ผลิตได้ลดต่ำลงด้วย เนื่องจากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติล โดยใช้ภาวะที่รุนแรงขึ้น รวมทั้งการทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างซ้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดหมู่อะซีติลออกจากโครงสร้างของไคโตซาน ปริมาณไคโตซานที่ผลิตได้จึงลดต่ำลง

การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน

การศึกษาผลของภาวะที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน ได้แก่ อุณหภูมิ 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 2 และ 3 รอบ และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซีติล 1 2 และ 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานสามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

1. ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (% DD)

จากผลการทดลองพบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 77.56-95.54 โดยการผลิตไคโตซานภายใต้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 รอบ และเวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลร้อยละ 77.56 ± 0.70 ใกล้เกี่ยวกับการรายงานของ Chamnanmanoontham (1999) ซึ่งพบว่าไคโตซานที่เตรียมได้มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลร้อยละ 79.3-79.8 และสอดคล้องกับการรายงานของ รัตนา รุจิรวนิช (2544) ซึ่งพบว่าไคโตซานที่ได้มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลประมาณร้อยละ 80 นอกจากนี้รัตนายังรายงานว่าหากต้องการเตรียมไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงขึ้น ให้ทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติลตามขั้นตอนเดิม (ขั้นตอนการเตรียมแสดงได้ดังตารางที่ 5-1) ซ้ำอีก 1 รอบ จะทำให้ได้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลประมาณร้อยละ 85-90 สอดคล้องกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 2 รอบ เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งให้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลร้อยละ 88.42 ± 0.58

จิราภรณ์ เชาวลิตสุขุมาวาสี (2544) รายงานว่าโดยทั่วไปค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลของไคโตซานมีค่าประมาณร้อยละ 75-85 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของไคตินซึ่งทำให้หมู่อะซีทาไมด์ที่เหลือไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้โดยง่ายถ้าไม่ใช้ภาวะที่รุนแรงในการทำปฏิกิริยา วิธีการแก้ปัญหาทางหนึ่งในการเตรียมไคโตซานให้มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงกว่าร้อยละ 90 คือการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติลซ้ำ หากหมู่อะซีติลของไคตินถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 จะเรียกว่า Fully Deacetylation Chitosan (Muzzarelli, 1985)

Chinadit, Wanichpongpan, How, Stevens, and Chandkrachang (1998) ศึกษาการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติลของโคติน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 ภายใต้อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง พบว่าโคโตซานที่ได้มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลแตกต่างกันในช่วงร้อยละ 66.23-87.66 นอกจากนี้ Chinadit et al. ยังศึกษาการผลิตโคโตซานในเชิงพาณิชย์เพื่อให้ได้โคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลตามความต้องการของลูกค้า พบว่าการสกัดโคติน 1 2 และ 3 รอบ ให้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลในช่วงร้อยละ 72-76 81-86 และ 88-95 ตามลำดับ เห็นได้ว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติลจำเป็นต้องใช้การทำปฏิกิริยาซ้ำถึง 3 รอบ จึงจะได้โคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงกว่าร้อยละ 90

จากผลการทดลองพบว่าที่จำนวนรอบการสกัดเท่ากันระดับการกำจัดหมู่อะซีติลของโคโตซานที่ผลิตได้จะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4-2 และ 4-4) โดยสังเกตได้ว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดทำให้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากการล้างโคโตซานให้เป็นกลาง และเปลี่ยนสารละลายต่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาใหม่ในรอบของการสกัด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการซึมผ่านของสารละลายต่างเข้าไปทำปฏิกิริยากับโคโตซาน (จิราภรณ์ เชาวลิขุมาวาสี, 2544; McLean, 2000) อย่างไรก็ตามการผลิตโคโตซานโดยใช้จำนวนรอบการสกัด 2 รอบ ในเกือบทุกภาวะ (ยกเว้นที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 2 รอบ เวลา 1 ชั่วโมง) ให้ระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นหากไม่ต้องการผลิตโคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงเกินกว่าร้อยละ 95 จึงไม่จำเป็นต้องใช้การสกัดซ้ำถึง 3 รอบ เนื่องจากการสิ้นเปลืองสารเคมี

2. ความหนืด (Viscosity)

จากผลการทดลองพบว่าความหนืดของโคโตซานมีค่าระหว่าง 4.3-3,094.3 เซนติพอยต์ (โคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซีติกความเข้มข้นร้อยละ 1) สอดคล้องกับรายงานของ Muzzarelli (1985) ซึ่งรายงานว่าโคโตซานมีค่าความหนืดอยู่ระหว่าง 200-3,000 เซนติพอยต์ และความหนืดของโคโตซานอาจมีค่าต่ำกว่านี้ หากโมเลกุลของโคโตซานเกิดการเสื่อมสภาพแต่ Cho et al. (1998) พบว่าความหนืดของโคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 5 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 72-1,928 เซนติพอยต์ ส่วน No et al. (2000) พบว่าความหนืดของโคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 26-360 เซนติพอยต์

Filar and Wirick (1978 อ้างถึงใน วรรณวิมล ปาสาณพันธ์, 2546, หน้า 13-14) แบ่งความหนืดของสารละลายโคโตซานไว้ 3 ระดับ ได้แก่ ความหนืดสูงมีค่าความหนืดมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 เซนติพอยต์ ความหนืดปานกลางมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 100-250 เซนติพอยต์ (ความหนืด

ทั้งสองระดับวัดจากสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1) และความหนืดต่ำมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 25-70 เซนติพอยต์ (วัดจากสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2) ทั้งนี้รุ่นของเครื่องมือ ขนาดหัวเข็ม และความเร็วรอบที่ใช้ในการวัดเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความถูกต้องของค่าความหนืดที่วัดได้ โดยการทดลองนี้ใช้หัวเข็มเบอร์ SC4-18 รุ่น LV (ใช้กับชุด Small Sample Adapter) และใช้ความเร็วรอบในการวัด 2 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นความเร็วรอบที่สามารถอ่านค่าได้ทุกตัวอย่าง และสามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างตัวอย่างได้ แต่ความเร็วรอบที่เลือกใช้ไม่เหมาะสมต่อการวัดความหนืดของสารละลายไคโตซานที่มีค่าความหนืดต่ำ (ให้ %Torque ต่ำกว่าร้อยละ 10) ดังนั้นหากต้องการทราบค่าความหนืดที่มีความถูกต้องมากขึ้น จำเป็นต้องนำตัวอย่างไคโตซานที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า 100 เซนติพอยต์ ไปวิเคราะห์อีกครั้งโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานเป็นร้อยละ 2 ในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2 และเพิ่มความเร็วรอบให้เหมาะสมต่อการวัด จากผลการทดลองพบว่ามีการเตรียมไคโตซานที่ให้ค่าความหนืดต่ำกว่า 100 เซนติพอยต์อยู่ 6 ภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 3 รอบ เวลา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 2 รอบ เวลา 2 และ 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 3 รอบ เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง

จากตัวอย่างข้อมูลต่างๆ ที่ได้จาก Rheocalc Data (ตารางที่ ก-1) พบว่าค่าความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น แสดงว่าสารละลายไคโตซานพบว่ามีสมบัติแบบ Non-Newtonian และมีพฤติกรรมแบบ Pseudoplastic (Kienzie, 1983 cited in Hein, 2003, pp. 39-40)

จากผลการทดลองพบว่าความหนืดของไคโตซานลดลง เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัดรอบ และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิติกภายใต้ภาวะที่รุนแรงขึ้นทำให้เกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของไคโตซานลดลง (จิราภรณ์ เชาวลิขูมาวาสี, 2544; Muzzarelli, 1985) เพราะความหนืดของสารละลายไคโตซานแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล (Muzzarelli, 1985; No et al., 2000)

จากภาพที่ 4-6 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความหนืดสูงจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

3. น้ำหนักโมเลกุล (M_v)

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานมีค่าระหว่าง 0.14×10^6 - 2.22×10^6 ดาลตัน ทั้งนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่เตรียมได้จาก 5 ภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 รอบ เวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 2 รอบ เวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 รอบ เวลา 1 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าการรายงานของ No et al. (2000) ซึ่งพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22×10^6 - 1.67×10^6 ดาลตัน No et al. ยังอ้างถึงการทบทวนเอกสารโดย No and Meyers (1995 cited in No et al., 2000, p. 1135) ซึ่งรายงานว่ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 0.12×10^6 - 1.50×10^6 ดาลตัน นอกจากนี้ No, Cho, Kim, and Meyers (2000) ยังศึกษาปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิติลของไคตินภายใต้ภาวะการนึ่งฆ่าเชื้อ (15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 45 เป็นเวลา 30 นาที และใช้อัตราส่วนไคตินต่อสารละลายค่า 1:15 พบว่าไคโตซานที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุล 1.56×10^6 ดาลตัน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานโดยใช้วิธี Intrinsic Viscosity อาจให้ผลไม่แม่นยำนัก หากน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ผลิตได้มีค่าการกระจายตัวมากกว่า 1 (วิภาวี โสვნ, 2544)

จากผลการทดลองพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัดรอบ และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น Muzzarelli (1977) รายงานว่าการยืดระยะเวลา และการใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาช่วยเพิ่มระดับการกำจัดหมู่อะซิติล แต่จะทำให้ไคโตซานมีขนาดโมเลกุลเล็กลง นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาซ้ำแทนที่จะทำเพียงครั้งเดียว ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ สายโซ่โมเลกุลของไคโตซานจึงสั้นลงได้เช่นกัน

จากภาพที่ 4-7 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

4. ความหนาแน่น (Bulk Density)

จากผลการทดลองพบว่าความหนาแน่นของไคโตซานมีค่าระหว่าง 0.25-0.36 กรัมต่อมิลลิลิตร (ขนาดอนุภาคของไคโตซาน 0.200 มิลลิเมตร) ใกล้เคียงกับรายงานของ Cho et al. (1998) ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 5 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-0.38 กรัมต่อมิลลิลิตร (ขนาดอนุภาคของไคโตซาน 0.150-0.180 มิลลิเมตร) No et al. (2000) รายงานว่าความหนาแน่นของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.18-0.33 กรัมต่อมิลลิลิตร

(ขนาดอนุภาคของไคโตซาน 0.250 มิลลิเมตร) นอกจากนี้บริษัท Parchem Nutrition Inc. (2004) ระบุว่าความหนาแน่นไคโตซานที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงการค้าของบริษัทฯ มีค่า 0.40 กรัมต่อมิลลิลิตร (ขนาดอนุภาคของไคโตซาน 0.425-0.250 มิลลิเมตร) โดย Cho et al. พบความแตกต่างของความเป็นรูพรุนของตัวอย่างไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้าทั้ง 5 ตัวอย่าง 1.9 เท่า ส่วน No et al. พบความแตกต่างของความเป็นรูพรุนของตัวอย่างไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้าทั้ง 6 ตัวอย่าง 1.8 เท่า ในขณะที่ผลการทดลองพบความแตกต่างของความเป็นรูพรุนของไคโตซานที่ผลิต 1.4 เท่า ซึ่งน้อยกว่ารายงานของ Cho et al. และ No et al. แสดงว่าชนิดและแหล่งของวัตถุดิบในการผลิตไคโตซานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของไคโตซาน

ความหนาแน่นของไคโตซานอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ Common Density (CD) ค่าความหนาแน่น 0.20-0.30 กรัมต่อมิลลิลิตร, High Density (HD) ค่าความหนาแน่น 0.40-0.50 กรัมต่อมิลลิลิตร, และ Super High Density (SHD) ค่าความหนาแน่น 0.60-0.70 กรัมต่อมิลลิลิตร (Wellable Group Marine Biological & Chemical Co., Ltd., 2004) ถึงแม้ว่าความหนาแน่นของไคโตซานจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามไคโตซานที่เตรียมได้ทั้งหมดจัดได้ว่ามีค่าความหนาแน่นอยู่ในระดับ CD

จากภาพที่ 4-8 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ความหนาแน่นของไคโตซานสูงขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดส่งผลให้ความหนาแน่นของไคโตซานสูงขึ้นมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความหนาแน่นต่ำจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้เวลาในการสกัดนาน

5. ความเป็นกรดด่าง (pH)

จากผลการทดลองพบว่าความเป็นกรดด่างของไคโตซานมีค่าระหว่าง 7.15-8.66 สอดคล้องกับค่าความเป็นกรดด่างของไคโตซานที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในเชิงการค้าของบริษัท Jiande Biochemical Industry Plant (2004) ซึ่งระบุว่าความเป็นกรดด่างของไคโตซาน (ไคโตซานร้อยละ 1) มีค่าอยู่ระหว่าง 6-9 อย่างไรก็ตามการแตกตัวของไคโตซานในสารละลายขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุพอลิเมอร์ โดยสัมประสิทธิ์การแตกตัว (pKa) ของไคโตซานมีค่าอยู่ระหว่าง 6.2-6.8 (ภาวดี เมธะกานนท์ และคณะ, 2543) นอกจากนี้ Muzzarelli (1985) รายงานว่าค่าคงที่ของการแตกตัว (Ka) ของไคโตซานมีค่าอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 แต่โดยส่วนใหญ่จะมีค่า 6.3

จากผลการทดลองพบว่าความเป็นกรดด่างของไคโตซานสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ภาวะที่รุนแรงขึ้นส่งผลให้สารละลายต่างสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับไคโตซานได้ดีขึ้น การล้างสารเคมีออกจากไคโตซานจึงทำได้ยาก ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารเคมี Stevens (1996) กล่าวว่าขั้นตอนการผลิต

ไคโตซานโดยทั่วไปไม่สามารถกำจัดหมู่อะซิดิลออกจากไคตินได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิดิลซ้ำอีกรอบ หรือทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของ ไนโตรเจน ซึ่งมีการเติมสารเคมี เช่น ไทโอฟีนอล (Thiophenol) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) การกระทำดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีในไคโตซาน ทำให้ไคโตซานไม่เป็นที่ยอมรับในการใช้ประโยชน์ด้านอาหารและยา

จากภาพที่ 4-9 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ความเป็นกรดค้างของไคโตซานสูงขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้ความเป็นกรดค้างของไคโตซานสูงขึ้น มากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความเป็นกรดค้างต่ำจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

6. ปริมาณความชื้น (%Moisture)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 6.22-9.92 สอดคล้องกับรายงานของ สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ (2544) และ Muzzarelli (1985) ซึ่งพบว่าปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2-10 นอกจากนี้ เยาวภา ไหวพริบ (2534) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้ง 5 พันธุ์ ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งโอคัก กุ้งลายน้ตาล กุ้งขาว และกุ้งลายหิน พบว่าปริมาณความชื้นของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 6

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้นของไคโตซานสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการเก็บรักษาไคโตซานตลอดจนสภาพแวดล้อมในขณะทำการทดลองอาจมีผลต่อปริมาณความชื้นของไคโตซาน

จากภาพที่ 4-10 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดส่งผลให้ปริมาณความชื้นของไคโตซานมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ไม่แน่นอน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของปริมาณความชื้นของตัวอย่างก่อนการอบแห้ง กล่าวคือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในตัวอย่างก่อนการอบแห้งมีปริมาณไม่เท่ากันในขณะที่การอบแห้งใช้ระยะเวลาเท่ากัน นอกจากนี้วิธีการเก็บรักษาตัวอย่าง และสภาพแวดล้อมในขณะทำการทดลองอาจมีผลต่อปริมาณความชื้นของไคโตซาน ดังนั้นการอบแห้งควรแน่ใจว่าสามารถกำจัดความชื้นออกจากไคโตซานได้มากที่สุด และควรเก็บไคโตซานในภาชนะหรือหีบห่อที่ปิดสนิทและควรมีสารดูดความชื้นบรรจุไว้ด้วย

7. ปริมาณเถ้า (%Ash)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเถ้าของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 0.065-0.266 สอดคล้องกับรายงานของ Muzzarelli (1985) ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้าของไคโตซานมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 (เถ้าที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ เยาวภา ไหวพริบ (2534) ศึกษาสมบัติทางเคมี

กายภาพของไคโตซานที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้ง 5 พันธุ์ ได้แก่ กุ้งกุลาดำ กุ้งโอคัก กุ้งลายน้ำตาล กุ้งขาว และกุ้งลายหิน พบว่าปริมาณเถ้าของไคโตซานจากเปลือกกุ้ง 5 พันธุ์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.1 ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกำจัดแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากไคติน Bough et al. (1978) รายงานว่าหากไม่มีขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุไคโตซานที่ได้จะมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 31-36

จากผลการทดลองพบว่าที่จำนวนรอบการสกัด และเวลาในการสกัดเท่ากัน ปริมาณเถ้าของไคโตซานที่ผลิตได้จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4-11 และ 4-12) โดยสังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ปริมาณเถ้าของไคโตซานมีค่าสูงกว่าปริมาณเถ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และ 120 องศาเซลเซียส อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานที่มีปริมาณเถ้าต่ำ จึงควรพิจารณาถึงประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดแร่ธาตุออกจากไคติน และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงมาก (130 องศาเซลเซียส) ในการสกัดไคโตซาน

8. ปริมาณไนโตรเจน (%N)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 7.04-7.29 โดยน้ำหนักแห้ง น้อยกว่าปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งขาวตามรายงานของ ยาวภา ไหวพริบ (2534) ซึ่งพบว่ามีค่าร้อยละ 7.93 ± 0.03 แต่ใกล้เคียงกับรายงานของ Cho et al. (1998) ซึ่งพบว่ามีค่าร้อยละ 7.93-8.13 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 6.91-7.16 และสอดคล้องกับรายงานของ Muzzarelli (1985) ซึ่งรายงานว่าไคโตซานมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 7.0-8.4 ส่วน No et al. (2000) รายงานว่าปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7.24-7.90

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Peniston and Johnson (1970 อ้างถึงใน ยาวภา ไหวพริบ, 2534 หน้า 45) รายงานว่าหากไคโตซานไม่มีหมู่อะซิดิลเหลืออยู่ในสายพอลิเมอร์เลย ไคโตซานจะมีปริมาณไนโตรเจนโดยเฉลี่ยร้อยละ 8.7 แสดงว่าแม้จะเพิ่มอุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัด ก็ยังไม่สามารถกำจัดหมู่อะซิดิลออกจากไคโตซานได้อย่างสมบูรณ์

จากภาพที่ 4-14 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานสูงขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดและเวลาที่ใช้ในการสกัดส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีปริมาณไนโตรเจนสูงจึงควรทำการสกัดไคโตซานซ้ำ

การศึกษาสมบัติการใช้งานของไคโตซาน

การศึกษาผลของภาวะที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน ได้แก่ อุณหภูมิ 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 2 และ 3 รอบ และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซิด 1 2 และ 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติการใช้งานของไคโตซาน สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการจับสีย้อม (Dye Binding Capacity)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุด (q_{max}) ของไคโตซานมีค่าระหว่าง 140.193-157.077 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วน Chamnanmanoontham (1999) ศึกษาผลของความเป็นกรดต่างต่อปริมาณการดูดซับ (q) ของไคโตซาน (ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิดร้อยละ 79.55) โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่ค่าความเป็นกรดต่าง 3 ไคโตซานสามารถดูดซับสี C.I. Acid Red 360, C.I. Reactive Red 158, C.I. Direct Red 80 และ C.I. Basic Red 24 ได้ในปริมาณ 100.10 99.89 66.55 และ 1.20 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เห็นได้ว่าไคโตซานสามารถดูดซับสีแอซิด และสีรีแอคทีฟได้ดีที่สุด เนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของหมู่ซัลโฟเนต ($-SO_3^-$) ในสีย้อมกับประจุบวก ($-NH_3^+$) ของไคโตซาน สีไคเร็กมีโครงสร้างประกอบด้วยหมู่ซัลโฟเนตเช่นเดียวกับสีแอซิด และสีรีแอคทีฟ แต่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่า ไคโตซานจึงดูดซับสีไคเร็กได้ในปริมาณน้อยกว่าสีแอซิด และสีรีแอคทีฟ ส่วนสีเบสิกมีปริมาณการดูดซับน้อยที่สุด เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างประจุบวกของหมู่ไตรเมทิลอะมิโน ($-N^+(CH_3)_3$) ในสีเบสิกกับประจุบวกของไคโตซาน เนื่องจากสีย้อมที่ใช้ในการศึกษา คือ สี Brilliant Blue FCF จัดอยู่สีแอซิด ดังนั้นเมื่อเตรียมสารละลายสีย้อมในการทดลองให้มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 สีแอซิดจึงแตกตัวให้หมู่ซัลโฟเนตซึ่งมีประจุลบ กลไกการจับสีย้อมจึงเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างประจุของสีย้อมกับประจุบวกของไคโตซาน

โครงสร้างของสี Brilliant Blue FCF ประกอบด้วยหมู่ซัลโฟเนต 3 หมู่ และมีน้ำหนักโมเลกุล 792.84 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับสี Brilliant Blue FCF ของไคโตซานมีค่าน้อยกว่ารายงานของ Wong et al. (2004) ซึ่งศึกษาความสามารถการดูดซับสีแอซิด 5 ชนิดของไคโตซาน (ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2-2) พบว่าไคโตซานมีความสามารถในการดูดซับสีแอซิดทั้ง 5 ชนิด อยู่ในช่วง 645-973 มิลลิกรัมต่อกรัม Wong et al. สรุปว่าไคโตซานสามารถดูดซับสีย้อมที่มีโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีกว่าสีย้อมที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สอดคล้องกับรายงานของ National Textile Center (1993) ซึ่งกล่าวว่าขนาด และน้ำหนักโมเลกุลของสีย้อมจัดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถการดูดซับสีย้อมของไคโตซาน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าไคโตซานมี

ความสามารถการดูดซับสี Brilliant Blue FCF น้อยกว่าสีแอซิดชนิดอื่น ๆ ที่รวบรวมข้อมูลได้ เนื่องจากโมเลกุลของสีมีขนาดใหญ่

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดของไคโตซานลดลง เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาการดูดซับสีย้อมของไคโตซาน การเพิ่มอุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดควรจะส่งผลให้ความสามารถการจับสีย้อมของไคโตซานสูงขึ้น เนื่องจากภาวะการกำจัดหมู่อะซิดที่รุนแรงขึ้น ทำให้ไคโตซานที่ได้มีหมู่อะมิโนสูงขึ้น ซึ่งหมู่อะมิโนนี้สามารถถูกโปรโตเนตไปอยู่ในรูปประจุบวกได้ ดังนั้นความสามารถการจับสีย้อมของไคโตซานจึงอาจขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพอื่น บางประการนอกเหนือจากระดับการกำจัดหมู่อะซิด

จากภาพที่ 4-15 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดของไคโตซานส่วนใหญ่มีค่าลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้ปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดของไคโตซานลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความสามารถในการจับสีย้อมสูงจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

2. ความสามารถในการจับไขมัน (Fat Binding Capacity)

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถการจับไขมันของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 294-409 โดยน้ำหนักแห้ง จัดอยู่ในช่วงต่ำกว่ารายงานของ Cho et al. (1998) ซึ่งพบว่าความสามารถการจับไขมันของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 5 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 314-535 แต่พบว่าความสามารถการจับไขมันหลายตัวอย่างมีค่าสูงกว่ารายงานของ No et al. (2000) ซึ่งพบว่าความสามารถการจับไขมันของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 217-403 ทั้งนี้ Cho et al. และ No et al. สรุปว่าความสามารถการจับไขมันของไคโตซานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์

Hennen (1996) รายงานว่าในภาวะที่เหมาะสมไคโตซานสามารถจับไขมันได้ประมาณ 4-5 เท่าของน้ำหนักของมันเอง ภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวคือภาวะที่เป็นกรด เนื่องจากกลไกการจับไขมันของไคโตซานเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างประจุบวกของไคโตซาน กับหมู่ฟังก์ชันที่เป็นประจุลบของไขมัน แต่จากผลการทดลองในภาวะที่ไม่เป็นกรดพบว่าไคโตซานสามารถจับไขมันได้ 2.9-4.1 เท่าของน้ำหนักแห้งของไคโตซาน

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถการจับไขมันของไคโตซานลดลง เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในภาวะที่ไม่เป็นกรดไคโตซาน

สามารถจับไขมันได้ดีพอสมควร โดยความสามารถการจับไขมันนี้อาจขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของไคโตซาน

จากภาพที่ 4-16 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ความสามารถการจับไขมันของไคโตซานลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้ความสามารถการจับไขมันของไคโตซานลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความสามารถในการจับไขมันสูงจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

3. ความสามารถในการจับน้ำ (Water Binding Capacity)

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถการจับน้ำของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 391-684 โดยน้ำหนักแห้ง (คิดเป็น 3.9-6.8 เท่าของน้ำหนักแห้งของไคโตซาน) จัดอยู่ในช่วงต่ำกว่ารายงานของ Cho et al. (1998) ซึ่งพบว่าความสามารถการจับน้ำของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 5 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 458-805 แต่พบว่าค่าความสามารถการจับน้ำอยู่ในช่วงสูงกว่ารายงานของ No et al. (2000) ซึ่งพบว่าความสามารถการจับน้ำของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 355-611 ทั้งนี้ Cho et al. และ No et al. สรุปว่าความสามารถการจับน้ำของไคโตซานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองพบว่าความสามารถการจับน้ำของไคโตซานลดลง เมื่ออุณหภูมิจำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ภาวะการก่อกำจัดหมู่อะซิดิลที่รุนแรงขึ้นส่งผลให้ค่าระดับการก่อกำจัดหมู่อะซิดิลของไคโตซานสูงขึ้น ทำให้ไคโตซานมีความชอบน้ำมากขึ้น แต่ไคโตซานกลับสามารถจับน้ำได้น้อยลง ดังนั้นความสามารถการจับน้ำของไคโตซานจึงอาจขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพอื่นบางประการนอกเหนือจากระดับการก่อกำจัดหมู่อะซิดิล

จากภาพที่ 4-17 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสกัดส่งผลให้ความสามารถการจับน้ำของไคโตซานลดลง ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดส่งผลให้ความสามารถการจับน้ำของไคโตซานลดลงมากกว่าการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความสามารถในการจับน้ำสูงจึงไม่ควรสกัดไคโตซานซ้ำหลายรอบ และไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงในการสกัด

4. ความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifying Capacity)

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าชั้นบนของสารละลายอิมัลชันตามเวลาโดยมีไคโตซานเป็นอิมัลซิไฟเออร์ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าชั้นบนของสารละลายอิมัลชันแบ่งเป็น 3 รูปแบบ กล่าวคือ รูปแบบแรกค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง จากนั้นคงที่แล้วลดลง รูปแบบที่สองค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างคงที่แล้วลดลง และรูปแบบที่สามค่าการนำไฟฟ้าลดลงทันที จากการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าตามรูปแบบที่สามสรุปได้ว่าไคโตซานซึ่งใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ไม่สามารถคงสภาพอิมัลชันเนื้อเดียวกันไว้ได้ เนื่องจากค่าการนำ

ไฟฟ้ามีการลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าสารละลายอิมัลชันกำลังเกิดการแยกชั้นเป็นชั้นน้ำมันซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าโคโคซานที่เตรียมได้ภายใต้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ทุกภาวะไม่สามารถคงสภาพอิมัลชันเนื้อเดียวไว้ได้ และมีโคโคซานที่เตรียมได้ภายใต้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส บางภาวะที่ไม่สามารถคงสภาพอิมัลชันเนื้อเดียวไว้ได้เช่นกัน ในขณะที่โคโคซานที่เตรียมได้ภายใต้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ในทุกภาวะสามารถคงสภาพอิมัลชันเนื้อเดียวไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่คำนวณได้กับค่าการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่ทำนายจาก Second-Order Exponential Equation พบว่าค่าการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่คำนวณได้กับค่าการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ที่ทำนายได้มีค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง สรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Second-Order Exponential Equation สามารถนำมาใช้ทำนายค่าการนำไฟฟ้าสัมพัทธ์ของสารละลายอิมัลชันได้ดี และพบว่าค่า Relaxation Time (t_1) ของสารละลายอิมัลชันจาก Second-Order Exponential Equation มีค่าระหว่าง 125-1,293 นาฬิกา จากการศึกษาของ Sanchez et al. (2005) พบว่าค่า t_1 สามารถใช้อธิบายกลไกการระบายของน้ำออกจากโฟม (Liquid Drainage from the Foam) ของโซเดียมเคซีเนต (Sodium Caseinate) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการระบายของน้ำออกตามแรงโน้มถ่วง (Gravitational Drainage) และการกลับคืนสภาพ (Marginal Regeneration) ซึ่งอาจนำมาใช้อธิบายลักษณะการแยกตัวของสารละลายอิมัลชันได้ เนื่องจากการไม่คงสภาพของอิมัลชันเกิดจากการพยายามรักษาสภาพของโมเลกุล ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของวัฏภาคภายใน (Internal or Disperse Phases) กับวัฏภาคภายนอก (External or Continuous Phases) (Del Blanco et al., 1999; Rodriguez et al., 2005) ทำให้หยดวัฏภาคภายในที่กระจายตัวอยู่เกิดการรวมตัวกัน และแยกออกจากวัฏภาคภายนอก

จากผลการทดลองพบว่าค่า t_1 ของสารละลายอิมัลชันชั้นบนลดลง เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสก๊ต และเวลาที่ใช้ในการสก๊ตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของโคโคซานอาจขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของโคโคซาน

จากภาพที่ 4-20 พบว่าการเพิ่มจำนวนรอบการสก๊ตส่งผลให้ค่า t_1 ของสารละลายอิมัลชันชั้นบนส่วนใหญ่มีค่าลดลง ทั้งนี้ที่เวลาที่ใช้ในการสก๊ต 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการสก๊ต 110 องศาเซลเซียส การเพิ่มจำนวนรอบการสก๊ตส่งผลให้ค่า t_1 ของสารละลายอิมัลชันชั้นบนลดลงมากกว่าการใช้เวลาในการสก๊ตที่นานกว่า และอุณหภูมิในการสก๊ตที่สูงกว่า ดังนั้นการผลิตโคโคซานให้มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์สูงจึงไม่ควรสก๊ตโคโคซานซ้ำหลายรอบ

สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ กับสมบัติการใช้งานของไคโตซาน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของไคโตซานประกอบด้วย สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพ สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งาน และสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ กับสมบัติการใช้งาน มีรายละเอียดดังนี้

1. สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพ

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ความหนืด น้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน จากตารางที่ 4-21 แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณเถ้ากับปริมาณไนโตรเจนเท่านั้นที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ($r = 0.335$; $p \geq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัด ส่งผลให้สมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน (มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)) มีค่าสูงขึ้น ส่วนความหนืด และน้ำหนักโมเลกุล (มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$)) มีค่าลดลง สอดคล้องกับรายงานของ No et al. (2000) ซึ่งศึกษาสหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง (ตารางที่ 2-7) พบว่าความหนืดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักโมเลกุล ($r = 0.903$; $p < 0.05$) การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลลดลงส่งผลให้ความหนืดของไคโตซานลดลงด้วย (Bough et al., 1978; Muzzarelli, 1985) ดังนั้นการผลิตไคโตซานให้มีความหนืดสูงจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ภาวะการผลิตที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์น้อยที่สุด (Muzzarelli, 1977; No et al., 2000) No et al. ยังพบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจน ($r = 0.942$; $p < 0.01$) ดังนั้นจึงอาจคาดคะเนระดับการกำจัดหมู่อะซีติลได้จากปริมาณไนโตรเจน

นอกจากนี้ Bough et al. (1978) รายงานว่าปริมาณเถ้าของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนืด สังเกตได้จากตัวอย่างไคโตซานที่ไม่ผ่านกระบวนการกำจัดแร่ธาตุในขั้นตอนการเตรียมไคตินมีความหนืดต่ำกว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการกำจัดแร่ธาตุ เนื่องจากกรดอะซีติกซึ่งใช้เป็นตัวทำลายไคโตซานในการหาค่าความหนืดทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุที่เหลืออยู่ในไคโตซาน เช่น แคลเซียม เกิดเป็นเกลือที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ แคลเซียมอะซิเตต

2. สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งาน

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งานของไคโตซาน ได้แก่ ความสามารถในการจับสีย้อม ศึกษาในรูปค่าปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุด ความสามารถในการจับไขมัน ความสามารถในการจับน้ำ และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ศึกษาในรูปค่า Relaxation Time

(t_1) จากตารางที่ 4-22 แสดงให้เห็นว่าสมบัติการใช้งานของไคโตซานทุกพารามิเตอร์ภายในกลุ่มมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ยกเว้นความสามารถการจับ สีย้อมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าสมบัติการใช้งานด้านใดด้านหนึ่งของไคโตซานสามารถใช้เป็นหลักเกณฑ์เบื้องต้นในการพิจารณาความสามารถการใช้งานด้านอื่น ๆ ของไคโตซานได้ อย่างไรก็ตามการนำไคโตซานไปใช้งานในด้านต่าง ๆ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความสามารถการใช้งานในด้านนั้น ๆ อีกครั้งเพื่อให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของไคโตซาน เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลต่อความสามารถการใช้งานของไคโตซาน

3. สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ กับสมบัติการใช้งานของไคโตซาน

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ความหนืด น้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น ความเป็นกรดค่า ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน กับสมบัติการใช้งานของไคโตซาน ได้แก่ ความสามารถในการจับสีย้อมศึกษาในรูปค่าปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุด ความสามารถในการจับไขมัน ความสามารถในการจับน้ำ และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ศึกษาในรูปค่า Relaxation Time (t_1) จากตารางที่ 4-23 แสดงให้เห็นว่าสมบัติทางเคมีกายภาพกับสมบัติการใช้งานของไคโตซานทุกพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) โดยความสามารถการจับสีย้อม ความสามารถในการจับไขมัน และความสามารถการจับน้ำ และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนืด และน้ำหนักโมเลกุล และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ความหนาแน่น ความเป็นกรดค่า ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์ส่วนหนึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา กล่าวคือ Cho et al. (1998) ศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติการใช้งานของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 5 ตัวอย่าง (ตารางที่ 2-6) พบว่าความสามารถการจับน้ำและไขมันของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเถ้า ($r = 0.81, 0.80; p < 0.05$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่น ($r = -0.98, -0.95; p < 0.01$) No et al. (2000) ศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้า 6 ตัวอย่าง (ตารางที่ 2-8) พบว่าความสามารถการจับน้ำ และไขมันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่น ($r = -0.939, -0.968; p < 0.01$) ความสามารถในการจับไขมันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนืด ($r = 0.834; p < 0.05$) ความสามารถในการจับสีย้อมทั้ง 3 สี (สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเถ้า ($r = -0.919, -0.993, -0.949; p < 0.01$) และความสามารถการจับน้ำมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ($r = 0.802;$

$p < 0.055$) นอกจากนี้ Rout (2001 cited in Kim, 1991, p. 14) พบว่าการลดลงของความหนืดของไคโตซานส่งผลให้ความสามารถการจับไขมันลดลง

จากผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถการจับไขมันและน้ำของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นในระดับสูง ($r = -0.964, -0.903; p < 0.01$) และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cho et al. (1998) และ No et al. (2000) นอกจากนี้ความสามารถการจับสีย้อมของไคโตซานยังมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นในระดับสูงกว่าพารามิเตอร์อื่น ($r = -0.857; p < 0.01$) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน ได้แก่ ความหนาแน่นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับของไคโตซาน เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นไคโตซานที่มีค่าความหนาแน่นต่ำจะมีความเป็นรูพรุนสูงกว่าไคโตซานที่มีค่าความหนาแน่นสูง ดังนั้นพื้นที่ผิวในการดูดซับสารจึงมีมากกว่า โดยกลไกการดูดซับสารส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นภายในรูพรุน

จากผลการวิเคราะห์พบว่าความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ($r = -0.651; p < 0.01$) สอดคล้องกับรายงานของ Del Blanco et al. (1999) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของระดับการกำจัดหมู่อะซีติล (ระดับการกำจัดหมู่อะซีติลระหว่างร้อยละ 73-95) ต่อสมบัติการเกิดอิมัลชันในน้ำมันดอกทานตะวัน พบว่าไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลต่ำ (ระดับการกำจัดหมู่อะซีติลร้อยละ 81 และ 88) ทำให้การเกิดอิมัลชันสมบูรณ์ ส่วนไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงมีสมบัติในการเกิดอิมัลชันต่ำเนื่องจากไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงทำให้เกิดอิมัลชันเชิงเดี่ยวชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W) จากการศึกษาพบว่าอิมัลชันเชิงเดียวนั้น ไม่มีเสถียรภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamically Unstable) ส่งผลให้เกิดจากการรวมตัวกันของหยดอนุภาค (Coalescence) ที่กระจายตัวอยู่ (Van der Graff, Schroen & Boom, 2005) อิมัลชันจึงเกิดการแยกชั้น อย่างไรก็ตามธรรมชาติของประจุไขมันจะส่งผลต่อสมบัติของอิมัลชัน ดังนั้นค่าระดับการกำจัดหมู่อะซีติลที่ดีที่สุดในการเกิดอิมัลชันจึงขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ใช้ด้วย

ความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักโมเลกุล ($r = 0.825; p < 0.01$) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งพบว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecules) และสารพอลิอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolytes) ซึ่งมีพื้นที่ผิวที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเป็นบริเวณกว้าง (Large Surface Active Molecules) มีข้อดีคือช่วยควบคุมทั้งการคงสภาพและชนิดของอิมัลชัน โดยอาศัยกลไกการคงสภาพ 2 กลไก คือ Electrosteric Stabilization และ Viscosifying Stabilization ซึ่งช่วยลดการแยกชั้นของอิมัลชัน ในขณะที่สารซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low Molecular Weight Surface Active Agents) มีเฉพาะกลไกการคงสภาพแบบ Electrosteric

Stabilization เท่านั้น (Del Blanco et al., 1999; Rodriguez et al., 2005) นอกจากนี้พบว่าความสามารถเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไคโตซานมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนืด ($r = 0.856$; $p < 0.01$) ด้วย เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความหนืด

แม้ระดับการกำจัดหมู่อะซีติลจะเป็นสมบัติสำคัญที่บ่งบอกถึงความเป็นไคโตซาน อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความสามารถใช้งานของไคโตซานไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับการกำจัดหมู่อะซีติลเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพอื่น ๆ ด้วย ทั้งนี้การผลิตไคโตซานให้มีระดับการกำจัดหมู่อะซีติลสูงจำเป็นต้องใช้ภาวะที่รุนแรง หรือนำไคโตซานมาทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีติลซ้ำ ซึ่งล้วนส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซาน ทำให้ไคโตซานที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดลดลง นอกจากนี้ยังเป็นการสิ้นเปลืองเวลา และทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นด้วย ดังนั้นการนำไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้าไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จึงควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของสมบัติทางเคมีกายภาพที่มีต่อสมบัติการใช้งานของไคโตซาน เพื่อให้ได้ไคโตซานที่มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด

สรุปผลการทดลอง

การศึกษาผลของภาวะที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน ได้แก่ อุณหภูมิ 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 2 และ 3 รอบ และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะซีติล 1 2 และ 3 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซีติล ความหนืด น้ำหนักโมเลกุล ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน และสมบัติการใช้งานของไคโตซาน ได้แก่ ความสามารถในการจับสีย้อม ความสามารถในการจับไขมัน ความสามารถในการจับน้ำ และความสามารถเป็นอิมัลซิไฟเออร์ รวมทั้งผลการศึกษาสหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพ สหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งาน และสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพ กับสมบัติการใช้งาน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. พบอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิกับจำนวนรอบการสกัด อุณหภูมิกับเวลา และจำนวนรอบการสกัดกับเวลา ต่อระดับการกำจัดหมู่อะซีติล และปริมาณเถ้าของไคโตซานที่เตรียมได้ในเชิงบวก
2. พบอิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลา ต่อความหนาแน่น ความเป็นกรดต่าง ปริมาณความชื้น และปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานที่เตรียมได้ในเชิงบวก

3. พบอิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลา ต่อ ความหนืด น้ำหนักโมเลกุล ความสามารถในการจับสีย้อม ความสามารถในการจับไขมัน ความสามารถในการจับน้ำ และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไคโตซานที่เตรียมได้ในเชิงลบ

4. การสกัดไคโตซานโดยใช้ภาวะที่มีความรุนแรงสูง ได้แก่ การสกัดซ้ำ 3 รอบ และเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ชั่วโมง ให้ค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูงสุดร้อยละ 95.04 ± 1.01

5. การสกัดไคโตซานโดยใช้ภาวะที่มีความรุนแรงต่ำ ได้แก่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และการสกัดซ้ำ 1 รอบ ให้ค่าความหนืด น้ำหนักโมเลกุล ความสามารถในการจับสีย้อม ความสามารถในการจับไขมัน ความสามารถในการจับน้ำ และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์สูง

6. การสกัดไคโตซานโดยใช้ภาวะที่มีความรุนแรงต่ำ ได้แก่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และการสกัดซ้ำ 1 รอบ ให้ค่าความหนาแน่น ความเป็นกรดต่ำ และปริมาณแอมิโน

7. การศึกษาสหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซานที่เตรียมได้ พบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติล ความหนาแน่น ความเป็นกรดต่ำ ปริมาณความชื้น ปริมาณแอมิโน และปริมาณไนโตรเจน มีความสัมพันธ์กับความหนืด และน้ำหนักโมเลกุลในเชิงลบ

8. การศึกษาสหสัมพันธ์ในกลุ่มสมบัติการใช้งานของไคโตซานที่เตรียมได้ พบว่าทุกพารามิเตอร์ภายในกลุ่มมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อกัน

9. การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมีกายภาพกับสมบัติการใช้งานของไคโตซานที่เตรียมได้ พบว่าสมบัติทางเคมีกายภาพกับสมบัติการใช้งานมีความสัมพันธ์ต่อกันทุกพารามิเตอร์ โดยความสามารถการจับสีย้อมมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นมากที่สุดในเชิงลบ ความสามารถในการจับไขมันมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นมากที่สุดในเชิงลบ ความสามารถในการจับน้ำมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลมากที่สุดในเชิงบวก และความสามารถการเป็นอิมัลซิไฟเออร์มีความสัมพันธ์กับความหนืดมากที่สุดในเชิงบวก ดังนั้นการเลือกใช้ไคโตซานที่ผลิตเชิงการค้าเพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จึงควรพิจารณาดังนี้

9.1 การนำไคโตซานไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม ควรเลือกไคโตซานที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ

9.2 การนำไคโตซานไปใช้ในการแยกไขมันออกจากน้ำทิ้ง ควรเลือกไคโตซานที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ

9.3 การนำไคโตซานไปใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ควรเลือกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

9.4 การนำไคโตซานไปใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือเครื่องสำอาง ควรเลือกไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุล และความหนืดสูง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการคายสีของไคโตซาน รวมทั้งการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อประโยชน์ต่อการนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมต่อไป
2. ควรมีการศึกษาเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับเพื่อให้ทราบถึงกลไกการดูดซับของไคโตซาน
3. ควรมีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับความไม่คงตัวของสารละลายอิมัลชันที่มีไคโตซานเป็นอิมัลซิไฟเออร์ให้ละเอียดมากขึ้น เพื่อให้สามารถอธิบายกลไกในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ของไคโตซานได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
4. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเป็นรูปพรุนของไคโตซาน เพื่อให้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการดูดซับของไคโตซานกับความหนาแน่นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น