บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

5.1 อภิปรายผล

ผลการเตรียมไคโตซาน ผลของการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ pH และความเข้มข้นของไคโตซานต่าง ๆ ต่อการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส รวมถึงผลขององค์ประกอบทางเคมีของตะกอนจากการตกตะกอนสาหร่าย สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. **การเตรียมไคโตซาน**

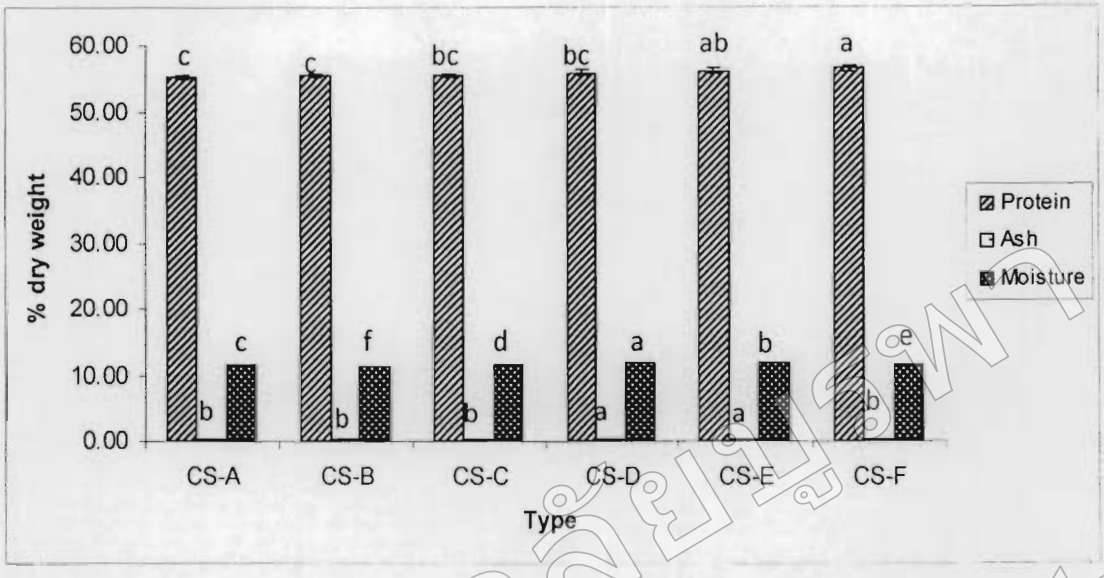
จากการทดลองพบว่าการเตรียมไคโตซานภายใต้สภาวะการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน ได้แก่ อุณหภูมิ 120 และ 130 องศาเซลเซียส จำนวนรอบการสกัด 1 2 และ 3 รอบ และเวลา 1 2 และ 3 ชั่วโมง ทำให้ได้ไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานที่ (80.58±0.41, 83.34±0.38 และ 89.95±0.15) เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ ($3.00\pm0.04\times10^5$, $2.00\pm0.54\times10^5$ และ $1.10\pm0.33\times10^5$) ดาลตัน ตามลำดับ ซึ่งมีสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตซาน อธิบายได้ดังตารางที่ 5-1 และภาพที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สมบัติทางเคมีของไคโตซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้น (แสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดของไคโตซาน	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)		
	ปริมาณโปรตีน	ปริมาณเถ้า	ปริมาณความชื้น
CS-A	55.28 ± 0.30^{c}	0.23 ± 0.01^{b}	11.58 ± 0.01^{c}
CS-B	55.51 ± 0.31^{c}	0.22 ± 0.01^{b}	11.25 ± 0.01^{f}
CS-C	55.55 ± 0.31^{bc}	0.22 ± 0.01^{b}	11.54 ± 0.02^{d}
CS-D	55.90 ± 0.33^{bc}	0.30 ± 0.00^{a}	11.79 ± 0.01^{a}
CS-E	56.16 ± 0.33^{ab}	0.30 ± 0.01^{a}	11.75 ± 0.02^{b}
CS-F	56.51 ± 0.40^{a}	0.22 ± 0.00^{b}	11.49 ± 0.01^{e}

$^{a,b,c,\ldots}$ หมายถึง ตัวอักษรในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-1 สมบัติทางเคมีของไคโตซานที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน

a,b,c,... หมายถึง ตัวอักษรในกราฟเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 5-1 ภาพที่ 5-1 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ภาคผนวก ง.1.3.) สามารถสรุปองค์ประกอบทางเคมีกายภาพของไคโตซาน ได้ดังนี้

ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 55.28-56.51 (ปริมาณโปรตีนของไนโตรเจนร้อยละ 8.88-9.04) พบว่าไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 89.95 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และน้ำหนักโมเลกุล 1.00×10^5 ดาลตัน (CS-F) ทำให้ค่าปริมาณโปรตีนมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เป็น 55.55±0.31 และ 56.51±0.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ นันทิยา เฉียบแหลม (2548) รายงานว่าปริมาณโปรตีน (ไนโตรเจน) ของไคโตซาน มีค่าระหว่างร้อยละ 7.04-7.29 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 81.77-94.39 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล 0.14×10^6-2.20×10^6 ดาลตัน Lertsutthiwong, Suttikarn, and Powtongsook (2009) รายงานว่า ปริมาณโปรตีนร้อยละ 1.64 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 89.90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล 2.20×10^5 ดาลตัน และ Benjakul and Lilapantisithi (1998) รายงานว่า ปริมาณโปรตีน (ไนโตรเจน) ของไคโตซาน มีค่าระหว่างร้อยละ 7.22-7.53 เมื่อมีสมบัติการกำจัดหมู่อะซิติล 31.74-43.42 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ นันทิยา เฉียบแหลม (2548) รายงานว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สกัดส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้าของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 0.22-0.30 พบว่าไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 80.58 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) และน้ำหนักโมเลกุล $3.00x10^5$ ดาลตัน (CS-D) ทำให้ค่าปริมาณเถ้ามีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 0.23±0.01 และ 0.30±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ นันทิยา เฉียบแหลม (2548) ซึ่งพบว่าปริมาณเถ้าของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 0.07-0.27 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 81.77-94.39 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล $0.14x10^6$-$2.20x10^6$ ดาลตัน Lertsutthiwong, Suttikarn, and Powtongsook (2009) รายงานว่า ปริมาณเถ้าของไคโตซานร้อยละ 1.08 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 89.90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล $2.20x10^5$ ดาลตัน Benjakul and Lilapantisithi (1998) รายงานว่า ปริมาณเถ้าของไคโตซาน มีค่าระหว่างร้อยละ 0.61-0.76 เมื่อมีสมบัติการกำจัดหมู่อะซิติล 31.74-43.42 เปอร์เซ็นต์ Bought et al. (1978) รายงานว่าหากไม่มีขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุไคโตซานที่ได้จะมีปริมาณเถ้าสูงถึงร้อยละ 31–36 (ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รายงานว่า เมื่อนำไคตินที่สกัดจากเปลือกกุ้งที่สภาวะต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยา deacetylation ด้วย 50% NaOH (w/v) พบว่าจะมีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 74-76เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเถ้า 0.9-1.0 เปอร์เซ็นต์)

ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 11.25-11.79 พบว่าไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 80.58 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) และน้ำหนักโมเลกุล $3.00x10^5$ ดาลตัน (CS-D) ทำให้ค่าปริมาณความชื้นมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 11.58±0.01 และ 11.79±0.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ นันทิยา เฉียบแหลม (2548) รายงานว่า ปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 6.22-9.92 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 81.77-94.39 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล $0.14x10^6$-$2.20x10^6$ ดาลตัน Lertsutthiwong, Suttikarn, and Powtongsook (2009) รายงานว่า ปริมาณความชื้นของไคโตซานร้อยละ 5.54 ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 89.90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุล $2.20x10^5$ ดาลตัน และ Benjakul and Lilapantisithi (1998) รายงานว่า ปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 6.09-6.82 เมื่อมีสมบัติการกำจัดหมู่อะซิติล 31.74-43.42 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ (2544) และ Muzzarelli (1985) รายงานว่าปริมาณความชื้นของไคโตซานมีค่าระหว่างร้อยละ 2-10 ปริมาณความชื้นของไคโตซานที่สูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิ จำนวนรอบการสกัด และเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการเก็บรักษาไคโตซานตลอดจนสภาพแวดล้อมในขณะทำการทดลองอาจมีผลต่อปริมาณความชื้นของไคโตซาน (ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มหาวิทยาลัย รายงานว่า เมื่อนำไคตินที่สกัดจากเปลือกกุ้งที่สภาวะต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยา deacetylation ด้วย 50% NaOH (w/v) พบว่าจะมีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 74-76 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 7.7-12.6 เปอร์เซ็นต์)

2. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพจากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส

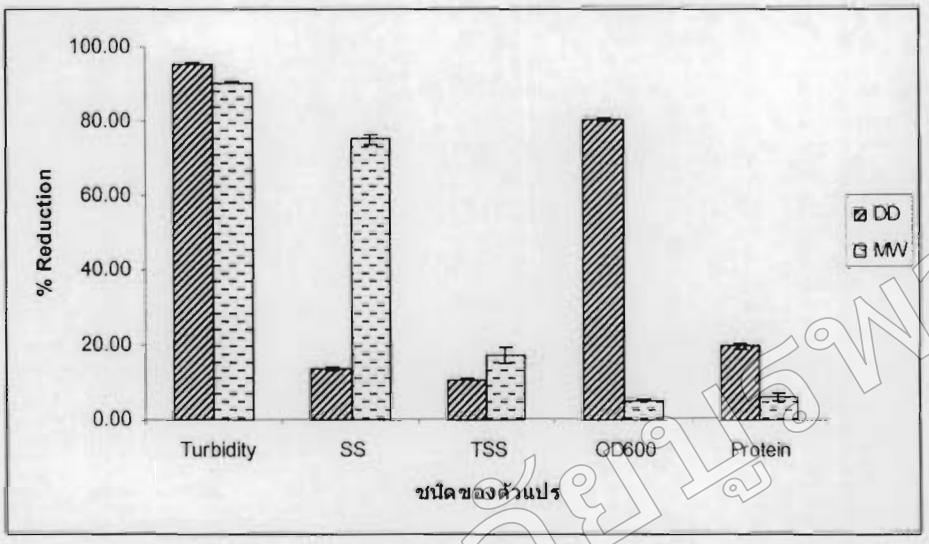
จากการทดลองพบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และความเข้มข้นไคโตซาน มีผลต่อความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน (Lowry) จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส แสดงได้ดังตารางที่ 5-2 และ ภาพที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 สภาวะที่เหมาะสมของไคโตซานในการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสของร้อยละการลดลงของตัวแปรต่าง ๆ

ตัวแปรที่ศึกษา	ร้อยละการลดลง	สภาวะที่เหมาะสม*		
		ชนิดไคโตซาน	pH	ความเข้มข้นไคโตซาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล				
Turbidity	95.60±0.33	CS-C	6	500
SS	13.71±0.41	CS-C	6	500
TSS	10.95±0.09	CS-A	6	500
OD_{600}	80.57±0.69	CS-C	6	500
Protein	19.84±0.70	CS-B	6	500
น้ำหนักโมเลกุล				
Turbidity	90.42±0.23	CS-C	6	500
SS	17.56±2.04	CS-C	7	500
TSS	5.26±0.16	CS-A	8	0
OD_{600}	75.17±1.41	CS-C	6	500
Protein	6.25±0.95	CS-B	6	500

* มีอิทธิพลร่วมของ 3 ปัจจัย ยกเว้นตัวแปร SS โดยตัวแปร SS มีอิทธิพลร่วมของ ชนิดไคโตซานกับ pH และ pH กับความเข้มข้นไคโตซาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-2 สภาวะที่เหมาะสมของไคโตซานในการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสของร้อยละการลดลงของตัวแปรต่าง ๆ

1. ความขุ่น

ความขุ่น คือ สิ่งแขวนลอยหลาย ๆ ชนิด ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ดิน ตะกอน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ แพลงก์ตอน และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กอื่น ๆ (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตันฑุลเวศน์, 2551) ในที่นี้ คือ แพลงก์ตอน ซึ่งทำให้เกิดการกระจัดกระจาย และดูดซึมของแสง แทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง พบว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และน้ำหนักโมเลกุล 3.00±0.04x10^5 ดาลตัน (CS-D) pH 6.00 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของความขุ่นสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 95.60±0.33 เปอร์เซ็นต์ และ 90.42±0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากระดับการกำจัดหมู่อะซิติลและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้น ที่ pH ต่ำ พบว่า จำนวนประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Hang, Chen, & Pan, 2000) ทำให้จำนวนประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่อะมิโนเป็นแอมโมเนีย มีจำนวนมากขึ้น (Lin & Chao, 2001) และทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Ahmed et al., 2005) และเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น จึงสามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์ได้ดี เมื่อประจุของคอลลอยด์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้ค่าความขุ่นลดลงจนต่ำสุด และยังพบว่าประจุของคอลลอยด์ และค่าความขุ่นจะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไคโตซานที่ใช้ (Pinotti et al., 1997) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Divakaran and Pailla (2002a) และ Beach et al. (2012) รายงานว่า ที่ pH 7-7.2 สามารถลดความขุ่นของการตกตะกอนสาหร่ายได้ 90-95

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2-4) Divakaran and Pailla (2001), Divakaran and Pailla (2002b), Roussy et al. (2005), Moore, Johnson, and Sistrunk (1987) และ Chen et al. (2003) รายงานว่า ที่ pH 4.5-7.5 ความเข้มข้นไคโตซาน 1-80 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (ตารางที่ 2-5) ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548), Jun et al. (1994) และ Hye, Ji, Hong, and Samuel (1994) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน 1.50×10^5 ดาลตันขึ้นไป pH 5-5.8 ความเข้มข้นไคโตซาน 30-300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของความขุ่นจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 97 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (ตารางที่ 2-5) Wibowo et al. (2004) และ จรรยา อินทมณี และคณะ (2553) รายงานว่า ความเข้มข้นไคโตซาน 30-100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นจากน้ำล้างซูริมิได้ 90 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป (ตารางที่ 2.5) อุไรรัตน์ รัตนวิจิตร (2545) และ ธนานันท์ วัฒนมงคล (2545) รายงานว่า ที่ pH 5.90 และ pH 6.00 ความเข้มข้นไคโตซาน 5 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเนยแข็งเกาด้าได้ 93.30 และ 99.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2-5) Cheng et al. (2005) รายงานว่า การตกตะกอนน้ำทิ้งจากการผลิตไวน์โดยใช้ไคโตซาน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 4.5 สามารถลดความขุ่นได้ 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5) Chi and Cheng (2006) รายงานว่า การตกตะกอนน้ำทิ้งจากการผลิตนมโดยใช้ไคโตซาน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 สามารถลดความขุ่นได้ 94.3 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5) และ นิตยา เดชชีวะ (2547) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 81.23 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของไคโตซาน 0.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดความขุ่นต่อการลดความขมในน้ำมะนาวเป็น 62.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5)

2. ของแข็งแขวนลอย

ของแข็งแขวนลอย คือ ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ ตะกอนมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตันฑุลเวศน์, 2551) ในที่นี้ คือ แพลงก์ตอน พบว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และน้ำหนักโมเลกุล $3.00 \pm 0.04 \times 10^5$ ดาลตัน (CS-D) pH 6.00 และ pH 7.00 ตามลำดับ ความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของของแข็งแขวนลอยสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 13.71±0.41 เปอร์เซ็นต์ และ 17.56±2.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548) รายงานว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28×10^6 ดาลตัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

pH 5 ความเข้มข้นไคโตซาน 0.03 กรัมต่อลิตร สามารถลดของแข็งแขวนลอยจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 97.40 และ 97.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2-5) Bough et al. (1975), Bough et al. (1975 a), Bough et al. (1975 b), วิไล ทบหลง (2535), Moore, Johnson, and Sistrunk (1987) และ Shahidi et al. (1999) รายงานว่า ที่ pH 4.70-7.80 ความเข้มข้นไคโตซาน 2.5-200 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าของแข็งแขวนลอยได้ 44.00-97.00 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5)

3. การลดลงของค่าของแข็งทั้งหมด

ของแข็งทั้งหมด คือ ของแข็งทั้งหมดที่เหลืออยู่ในภาชนะ ภายหลังจากการระเหยน้ำออกจากตัวอย่างน้ำจนหมด (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์ และมั่นรักษ์ ตันฑุลเวศน์, 2551) ในที่นี้ คือ แพลงก์ตอน พบว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) และน้ำหนักโมเลกุล 1.10±0.33x10^5 ดาลตัน (CS-F) pH 6.00 ความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของของแข็งทั้งหมดสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 10.95±0.09 เปอร์เซ็นต์ และ 2.68±0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548) รายงานว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28x10^6 ดาลตัน pH 5 ความเข้มข้นไคโตซาน 0.03 กรัมต่อลิตร สามารถลดของแข็งทั้งหมดจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 95.40 และ 95.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2-5) จารุรัตน์ เชาว์เลิศ และคณะ (2543) รายงานว่า สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำทิ้งโรงงานฆ่าสัตว์ปีกด้วยไบโอโพลิเมอร์ ด้วยไคโตซาน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 7 สามารถลดค่า TSS ได้ 64-94 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5) Moore, Johnson, and Sistrunk (1987) และ Guerrero et al. (1997) รายงานว่า ที่ pH 7.20-7.80 ความเข้มข้นไคโตซาน 10-80 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าของแข็งทั้งหมดได้ 8-97 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5)

4. การลดลงของ OD_{600}

ค่า OD_{600} คือ การดูดกลืนแสงของสิ่งแขวนลอยหลาย ๆ ชนิด ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (Lubian, 1989) ในที่นี้ คือ แพลงก์ตอน พบว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และน้ำหนักโมเลกุล 3.00±0.04x10^5 ดาลตัน (CS-D) pH 6.00 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 60 นาที และ 120 นาที ตามลำดับ ให้ร้อยละการลดลงของค่า OD_{600} สูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 80.57±0.69 เปอร์เซ็นต์ และ 75.17±1.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Morales, de la Noue, and Picard (1985), Lubian (1989), Sirin et al. (1990) และ Buelna et al. (1990) รายงานว่าที่ pH 6-9.9 ความเข้มข้นไคโตซาน 5-40 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่า OD_{600}

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(ประสิทธิภาพการตกตะกอน) สาหร่ายได้ 75-100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-4) นิตยา เดชชีวะ (2547) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 81.23 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นของไคโตซาน 0.5 กรัมต่อลิตร สามารถลดค่าการดูดกลืนแสงที่ 660 นาโนเมตร ต่อการลดความขุ่นในน้ำมะนาวเป็น 62.23 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5)

5. การลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry)

ปริมาณโปรตีน คือ ปริมาณโปรตีนที่รวบรวมได้จากสิ่งแขวนลอยหลาย ๆ ชนิด ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน (Wibowo et al, 2004) ในที่นี้ คือ แพลงก์ตอน พบว่า ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) และน้ำหนักโมเลกุล $3.00\pm0.04\times10^5$ ดาลตัน (CS-D) pH 6.00 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry) สูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 19.84±0.70 เปอร์เซ็นต์ และ 6.25±0.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากที่ pH ต่ำ (pH 6.00) จะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสาหร่าย คือ โกลบูลิน ซึ่งมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากับ 0 หรือมีค่าเท่ากับจุดไอโซอิเล็กตริกของมัน เนื่องจากจุดไอโซอิเล็กตริกของโกลบูลินที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายมีค่าอยู่ที่ระหว่าง pH ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการตกตะกอนที่ pH 6.00 จึงทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสาหร่ายคีโตเซอรอสไม่ละลาย และตกตะกอนลงมา ดังนั้นที่ pH 6.00 จึงทำให้ปริมาณโปรตีนในส่วนใสน้อยที่สุด (Bough, 1975; Moore et al., 1987) สอดคล้องกับผลการทดลองของ ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28×10^6 ดาลตัน pH 5 ความเข้มข้นไคโตซาน 0.03 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณโปรตีนจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 84.13 และ 92.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2-5) และ Wibowo et al. (2004) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28×10^6 ดาลตัน สามารถรวบรวมปริมาณโปรตีนจากน้ำล้างซูริมิกลับคืนมาได้ 83 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 2-5)

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน และน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นจะทำให้สามารถลดค่าความขุ่น และค่า OD_{600} (ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และน้ำหนักโมเลกุล $3.00\pm0.04\times10^5$ ดาลตัน (CS-D)) เท่ากับ 95.60±0.33 และ 80.57±0.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ได้ดีกว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) และน้ำหนักโมเลกุล $1.10\pm0.33\times10^5$ ดาลตัน (CS-F)) เท่ากับ 90.42±0.23 และ 75.17±1.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพในการตกตะกอนขึ้นอยู่กับค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

และ pH ของสารตกตะกอน (Renault, Sancey, Badot, & Crini, 2009) ดังนั้น เมื่อตกตะกอนด้วยไคโตซานที่มีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลสูงและ pH ต่ำ จะทำให้การตกตะกอนดีขึ้น เนื่องจากไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่ pH ต่ำ จะแตกตัวเป็นประจุบวกมาก เพียงพอกับการจับกับผิวของสาหร่าย จึงทำให้สาหร่ายเกิดการจับกันเป็นก้อนกลุ่มก้อน และตกตะกอนลงมา (Divakaran & Pillai, 2002; Guibal & Roussy, 2007; Kaseamchochoung et al., 2006; Knuckey et al., 2006.) และประสิทธิภาพในการตกตะกอน bentonite suspension จะตกตะกอนได้น้อยลงเมื่อ MW น้อย ขณะที่ MW ไม่มีผลต่อ kaolinite suspension สรุปได้ว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลมีผลต่อ bentonite suspension และ dye solution มากกว่า kaolinite suspension และ humic acid suspension พบว่าความเข้มข้นของสาร biopolymer เพียงเล็กน้อยทำให้ตกตะกอน bentonite ได้เร็ว และมีความขุ่นน้อย (Guibal, 2005) และการนำไคโตซานซึ่งเป็นสารไบโอพอลิเมอร์มาประยุกต์ในการตกตะกอนอนุภาคคอลลอยด์ (น้ำสังเคราะห์) พบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานสูงขึ้น จะทำให้ความขุ่นของน้ำลดน้อยลง หรือมีประสิทธิภาพการตกตะกอนเพิ่มขึ้นนั่นเอง (Huang, Chen, & pan, 2000)

3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตะกอน

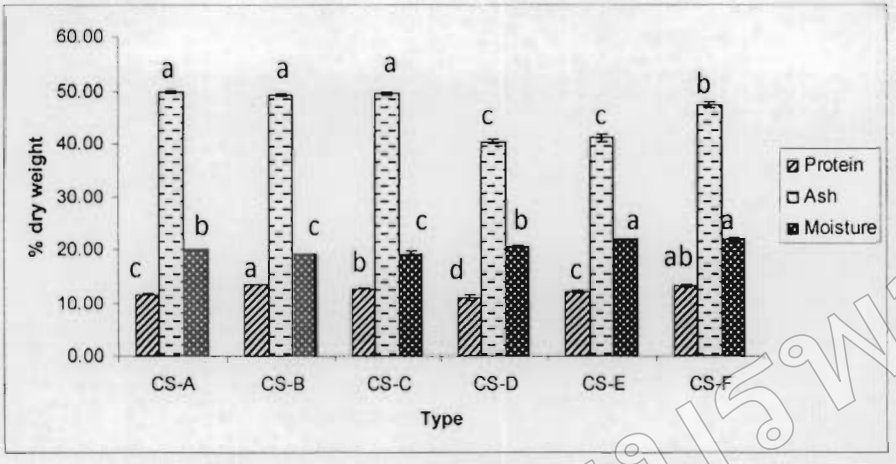
จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของตะกอนจากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส พบว่า ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุล ร้อยละน้ำหนักแห้งของส่วนตะกอน แสดงได้ดังตารางที่ 5-3 และภาพที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ต่อร้อยละน้ำหนักแห้งของส่วนตะกอน (แสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ชนิดของไคโตซาน	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)		
	ปริมาณโปรตีน	ปริมาณเถ้า	ปริมาณความชื้น
CS-A	11.64±0.07^{c}	49.85±0.34^{a}	20.05±0.06^{b}
CS-B	13.55±0.07^{a}	49.39±0.30^{a}	19.13±0.11^{c}
CS-C	12.79±0.11^{b}	49.59±0.34^{a}	19.24±0.48^{c}
CS-D	10.91±0.50^{d}	40.37±0.43^{c}	20.58±0.27^{b}
CS-E	12.05±0.21^{c}	41.05±0.71^{c}	21.84±0.25^{a}
CS-F	13.16±0.33^{ab}	47.35±0.55^{b}	21.84±0.47^{a}

$^{a,b,c,...}$ หมายถึง ตัวอักษรในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 5-3 ผลของร้อยละน้ำหนักแห้งขององค์ประกอบในตะกอนของไคโตซานชนิดต่าง ๆ

^{a,b,c} หมายถึง ตัวอักษรในกราฟเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากตารางที่ 5-3 ภาพที่ 5-3 และผลวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (ภาคผนวก ง.3.3.) พบว่าตะกอนของสาหร่ายคีโตเซอรอสเมื่อตกตะกอนที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.10\pm0.33\times10^5$ ดาลตัน (CS-F) ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 13.55±0.07 และ 13.16±0.33 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของ J Lopez-Elias et al. (2005) อ้างถึง Coutteau (1996) รายงานว่า สาหร่าย *Chaetoceros calcitrans* มีปริมาณโปรตีน 57.60 เปอร์เซ็นต์ Renaud et al. (2002) รายงานว่า อุณหภูมิต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายออสเตรเลีย โดยให้ปริมาณโปรตีน 57.30 เปอร์เซ็นต์ Renaud et al. (2002) รายงานว่า อุณหภูมิต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโต และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายออสเตรเลีย พรพิมล พิมลรัตน์ (2553) รายงานว่า การผลิต *Chaetoceros gracilis* ความหนาแน่นสูง ในห้องปฏิบัติการเพื่ออนุบาลลูกกุ้งทะเล ให้ปริมาณโปรตีน 27.79-59.61 ร้อยละน้ำหนักแห้ง Jun et al. (1994) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.50×10^5 ดาลตัน ให้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 41.90 เปอร์เซ็นต์ Savent and Torres (2000) รายงานว่า ปริมาณไคโตซานผสมอัลจิเนต 0.03 กรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการได้ปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนจากกระบวนการผลิตเซ็ดด้าชีสเวย์ได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น 1.28×10^6 ดาลตัน ให้ปริมาณโปรตีนในส่วน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตะกอนจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 46.13 และ 49.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Wibowo et al. (2004) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28x10^6$ ดาลตัน สามารถรวบรวมปริมาณโปรตีนจากน้ำล้างซูริมิกลับคืนมาได้ 83 เปอร์เซ็นต์

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) (ไม่แตกต่างกับที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B)) และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.10±0.33x10^5$ ดาลตัน (CS-F) ให้ปริมาณเถ้าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 49.85±0.34 ร้อยละน้ำหนักแห้ง (เป็น 49.59±0.34 และ 49.39±0.30 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และ 47.35±0.55 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Lopez-Elias et al. (2005) อ้างถึง Coutteau (1996) รายงานว่า สาหร่าย *Chaetoceros calcitrans* มีปริมาณเถ้า 44.00 เปอร์เซ็นต์ พรพิมล พิมลรัตน์ (2553) รายงานว่าการผลิต *Chaetoceros gracilis* ความหนาแน่นสูง ในห้องปฏิบัติการเพื่ออนุบาลลูกกุ้งทะเล ให้ปริมาณเถ้า 22.74-48.03 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ภานุเชษฐ รักขันแสง (2548) รายงานว่า ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานมากกว่า 82.60 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.28x10^6$ ดาลตัน ให้ปริมาณเถ้าในส่วนตะกอนจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ได้ 2.90 และ 4.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเป็น 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเป็น $1.10±0.33x10^5$ ดาลตัน (CS-F) (ไม่แตกต่างกับที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $2.00±0.54x10^5$ ดาลตัน (CS-E)) ให้ปริมาณความชื้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เท่ากับ 20.05±0.058 ร้อยละน้ำหนักแห้ง และ 21.84±0.47 ร้อยละน้ำหนักแห้ง (เท่ากับ 21.84±0.25 ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5.2 ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และความเข้มข้นของไคโตซาน

1. ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Hang, Chen, & Pan, 2000) ทำให้จำนวนประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่อะมิโนเป็นแอมโมเนีย มีจำนวนมากขึ้น (Lin & Chao, 2001) และทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Ahmed et al., 2005) ดังนั้นระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานที่มากกว่า 80.00 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนจากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงขึ้น

2. ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อาจจะเกิดจากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Lin and Chao (2001) รายงานว่าความยาวของสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน เนื่องจากความยาวของสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้นน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเพิ่มขึ้น ทำให้หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3x10^5$ ดาลตัน ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงตาม

Tsaih and Chen (1997); Chen and Tsaih (1998) รายงานว่า น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะสัมพันธ์กับ Intrinsic Viscosity โดยพบว่าถ้าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูง Intrinsic Viscosity จะสูง (Bough, Salter, Wu, & Perkins, 1978; Muzzarelli, 1985) เนื่องจากกลุ่มประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นตรงและรูปร่างของไคโตซานแผ่ขยายออกได้ดี และทำให้โมเลกุลไคโตซานไม่สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงได้การต้านทานการไหลจึงเกิดมากขึ้น (พรทิพย์ จารุดำรงศักดิ์, 2544 อ้างอิงจาก ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ดังนั้นเมื่อสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น แอมโมเนียซึ่งเป็นประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลไคโตซานจะมีจำนวนมากขึ้น ทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Lin & Chao, 2001; Du, 2003)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. **ผลของ** pH

ผลของ pH กับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อ pH ลดลง ทำให้ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากที่ pH ต่ำจะทำให้จำนวนประจุบวกเพิ่มขึ้นโดยหมู่อะมิโนของไคโตซานถูกโปรโตเนตเป็นแอมโมเนีย และทำให้ประจุของคอลลอยด์ หรือซีต้าโพเทนเชียลระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ลดลง (มั่นสิน ตันฑุลเวศน์, 2532; Pan et al., 1999; Ahmed et al., 2005 citing Chiou & Li, 2003) นอกจากนี้ Pinotti et al. (1997) รายงานว่า เมื่อประจุของคอลลอยด์มีค่าเข้าใกล้ 0 ทำให้ค่าความขุ่นลดลงจนต่ำสุด และยังพบว่าประจุของคอลลอยด์ และค่าความขุ่นจะสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไคโตซานที่ใช้ (Mukhopadhyay et al., 2003 citing O' Mellia, 1972, p. 383) รายงานว่า การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์อาจเกิดจากกลไก Charge Neutralization และ Bridge Formation ส่วน Pinotti and Zaritzky (2001) รายงานว่า กลไก Charge Neutralization เหมาะสำหรับการใช้ไคโตซานตกตะกอน เพราะเมื่อประจุของคอลลอยด์มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ค่าความขุ่นต่ำสุด นอกจากนี้ Pan et al. (1999) รายงานว่า ความเข้มข้นไคโตซานที่เหมาะสม จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ pH โดยเมื่อ pH มีค่าลดลง ความเข้มข้นไคโตซานที่เหมาะสมจะลดลงด้วย ดังนั้น ที่ pH 6.00 ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานที่มากกว่า 80.00 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงขึ้น เมื่อเทียบกับ pH 7.00 และ 8.00 ตามลำดับ

ผลของ pH กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อ pH ลดลง ทำให้ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนลดลง เนื่องจากที่ pH ต่ำจะทำให้จำนวนประจุบวกเพิ่มขึ้นโดยหมู่อะมิโนของไคโตซานถูกโปรโตเนตเป็นแอมโมเนีย ซึ่งเป็นประจุบวก ทำให้เกิดการผลักกันมีผลทำไคโตซานยืดออกเป็นเส้นตรงยาว (วิภาวี โฮเว่น, 2544) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Pan et al. (1999) รายงานว่า ในสารละลายกรด โมเลกุลของไคโตซานยืดได้ออกมาก ทำให้จำนวนประจุบวกมีจำนวนมากและจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น ดังนั้น ที่ pH 6.00 น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3x10^5$ ดาลตัน ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงตาม เมื่อเทียบกับ pH 7.00 และ 8.00 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Tsaih and Chen (1997) รายงานว่า น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะสัมพันธ์กับ Intrinsic Viscosity แล้วยังสัมพันธ์กับแรงประจุไฟฟ้า (Ionic Strength) ด้วย โดยพบว่าถ้าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูง ให้ Intrinsic Viscosity สูง แต่ Ionic Strength จะต่ำ จะทำให้รูปร่างโมเลกุลของไคโตซานแผ่ขยายออกได้มากกว่า Ionic Strength

จากการลดลงของปริมาณโปรตีนในส่วนใสนอกเหนือจากเหตุผลข้างต้นแล้ว อีกเหตุผลที่สอดคล้องกับ pH เพราะที่ pH ต่ำ (pH 6.00) จะทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสาหร่าย คือ โกลบูลิน ซึ่งมีค่าประจุไฟฟ้าเท่ากับ 0 หรือมีค่าเท่ากับจุดไอโซอิเล็กตริกของมัน เนื่องจากจุดไอโซอิเล็กตริกของโกลบูลินที่เป็นองค์ประกอบในสาหร่ายมีค่าอยู่ที่ระหว่าง pH ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการตกตะกอนที่ pH 6.00 จึงทำให้โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในสาหร่ายคีโตเซอรอสไม่ละลาย และตกตะกอนลงมา ดังนั้นที่ pH 6.00 จึงทำให้ปริมาณโปรตีนในส่วนใสน้อยที่สุด

นอกจากนี้พบว่า pH 6.00 เป็นค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ pH ก่อนกระบวนการตกตะกอน และผลการทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับผู้วิจัยหลายท่าน ซึ่งพบว่าไคโตซานเป็นสารโคแอกกูแลนท์ที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการโคแอกกูเลชั่น ซึ่งมีความสามารถในการลดของแข็งแขวนลอยจากกระบวนการตกตะกอนสาหร่าย แม้ว่าสาหร่ายนั้นจะไม่ผ่านการปรับ pH (Bough, 1975; Moore et al., 1987)

4. ผลของความเข้มข้นของไคโตซาน

ความเข้มข้นของไคโตซานกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนประจุเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (Hang, Chen, & Pan, 2000) ทำให้จำนวนประจุบวกที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่อะมิโนเป็นแอมโมเนียมีจำนวนมากขึ้น (Lin & Chao, 2001) และทำให้สามารถจับกับประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ได้มากขึ้น (Ahmed et al., 2005) นอกจากนี้ Huang et al. (2000) รายงานว่าความเข้มข้นของไคโตซานที่เหมาะสมจะแปรผันกลับระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน โดยเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไคโตซานที่เหมาะสมลดลง ดังนั้น ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานที่มากกว่า 80.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้นทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความเข้มข้นของไคโตซานกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

จากผลการทดลองเมื่อความเข้มข้นของไคโตซานเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น อาจจะเกิดจากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานสูงขึ้นจะทำให้สายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นเส้นยาวมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองของ Lin and Chao (2001) รายงานว่า ความยาวของสายโซ่โมเลกุลไคโตซานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน เนื่องจากความยาวของสายโซ่โมเลกุลเพิ่มขึ้นน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเพิ่มขึ้น ทำให้หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้น ดังนั้น น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3x10^5$ ดาลตัน เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้น ทำให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน จากการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสสูงขึ้น

5.3 สรุปผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไคโตซาน

พบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.15 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) ให้ปริมาณโปรตีน (Kjeldahl) สูงสุด ไม่ต่างกับที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) เท่ากับ 55.55±0.31, 55.51±0.31 และ 55.28±0.30 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $1.0±0.33x10^5$ ดาลตัน (CS-F) ทำให้ค่าปริมาณโปรตีนมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เป็น 56.51±0.40 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ไม่แตกต่างกับที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $2.0±0.54x10^5$ ดาลตัน (CS-E) เท่ากับ 56.16±0.33 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) ให้ปริมาณเถ้าสูงสุด ไม่ต่างกับที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.32 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) เท่ากับ 0.23±0.01, 0.22±0.01 และ 0.22±0.01 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $2.00±0.54x10^5$ ดาลตัน (CS-E) ทำให้ค่าปริมาณเถ้ามีค่าสูงสุด ($p<0.05$) เป็น 0.30±0.01 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ไม่แตกต่างกับที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3.00±0.04x10^5$ ดาลตัน เท่ากับ 0.30 ± 0.00 ร้อยละน้ำหนักแห้ง และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) ให้ปริมาณความชื้นสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 11.58±0.01 ร้อยละน้ำหนักแห้ง และที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3.0±0.04x10^5$ ดาลตัน (CS-D) ให้ปริมาณความชื้นสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 11.79±0.01 ร้อยละน้ำหนักแห้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน

พบว่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน (80.58±0.41; (CS-A), 83.34±0.38; (CS-B) และ 89.95±0.15;(CS-C) เปอร์เซ็นต์) pH (6.00, 7.00 และ 8.00) และความเข้มข้นของไคโตซาน (0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่อการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส พบว่ามีอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล pH และความเข้มข้นของไคโตซานต่อร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน (Lowry) (p<0.05) โดยพบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.32 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น และค่า OD_{600} สูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 95.60±0.33 และ 80.57±0.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของของแข็งทั้งหมดสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 10.95±0.09 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34 เปอร์เซ็นต์ pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของปริมาณโปรตีน (Lowry) สูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 19.84±0.70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนร้อยละการลดลงของค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุด (p<0.05) มีอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย ได้แก่ ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซานกับ pH และ pH กับความเข้มข้นของไคโตซาน เท่ากับ 13.71±0.41 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.32 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนตะกอน พบว่าที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) ให้ค่าร้อยละปริมาณโปรตีนสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 13.55±0.07 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) ให้ค่าร้อยละปริมาณเถ้าสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 49.85±0.34 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ไม่ต่างกับที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 89.95±0.32 เปอร์เซ็นต์ (CS-C) และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 83.34±0.38 เปอร์เซ็นต์ (CS-B) เท่ากับ 49.59±0.34 และ 49.39±0.30 ร้อยละน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และที่ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน 80.58±0.41 เปอร์เซ็นต์ (CS-A) ให้ค่าร้อยละปริมาณความชื้นสูงสุด (p<0.05) เท่ากับ 20.05±0.06 ร้อยละน้ำหนักแห้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. ผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ($3.00\pm0.04\times10^5$; (CS-D), $2.00\pm0.54\times10^5$; (CS-E) และ $1.10\pm0.33\times10^5$; (CS-F) ดาลตัน) pH (6.00, 7.00 และ 8.00) และความเข้มข้นของไคโตซาน (0, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่อการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส พบว่ามีอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล pH และความเข้มข้นของไคโตซาน ต่อร้อยละการลดลงของความขุ่น ของแข็งทั้งหมด ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน (Lowry) ($p<0.05$) โดยพบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3.00\pm0.04\times10^5$ ดาลตัน (CS-D) pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของความขุ่น ค่า OD_{600} และปริมาณโปรตีน (Lowry) สูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 90.42±0.23, 75.17±1.41 และ 6.25±0.95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $1.10\pm0.33\times10^5$ ดาลตัน (CS-F) pH 6 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ร้อยละการลดลงของค่าของแข็งทั้งหมดสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 2.68±0.20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนร้อยละการลดลงของค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุด ($p<0.05$) มีอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานกับ pH และ pH กับความเข้มข้นของไคโตซาน เท่ากับ 17.56±2.04 เปอร์เซ็นต์ ที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $3.00\pm0.04\times10^5$ ดาลตัน (CS-D) pH 7 และความเข้มข้นไคโตซาน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของส่วนตะกอน พบว่าที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $1.10\pm0.33\times10^5$ ดาลตัน (CS-F) ให้ค่าร้อยละปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้นสูงสุด ($p<0.05$) เท่ากับ 13.16±0.33, 47.35±0.55 และ 21.84±0.47 ร้อยละน้ำหนักแห้ง (ปริมาณความชื้นไม่ต่างกับที่น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน $2.00\times10^5\pm0.54$ ดาลตัน (CS-E) เป็น 21.84±0.25 ร้อยละน้ำหนักแห้ง)

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และความเข้มข้นของไคโตซานต่อการตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอส ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการใช้ไคโตซานในตกตะกอนสาหร่ายคีโตเซอรอสดังนี้

1. ควรมีการใช้ไคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติล และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และความเข้มข้นของไคโตซานที่ระดับอื่น ๆ เพราะจากการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วงนาทีท้าย ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ควรมีวัดค่าปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณความชื้นที่เวลาต่าง ๆ เพื่อสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการทดลองนี้ได้ดี

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความเข้มข้นของไคโตซาน และเวลาที่ใช้ทดลอง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของไคโตซานให้มากกว่านี้

4. ควรมีการนำไคโตซานที่มีของระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน pH และความเข้มข้นของไคโตซานไปใช้กับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University