

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของไคติน

ผลการทดลองวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของไคติน แสดงในตารางที่ 5.1 พบว่าไคตินเป็นโพลีเมอร์ที่มีปริมาณธาตุน้อยมากในที่นี้มีค่าเพียงร้อยละ 0.46 ค่าปริมาณธาตุนี้อาจถึงประสิทธิภาพในการขจัดแคลเซียมคาร์บอเนตในขั้นตอนของการสกัดไคตินจากเปลือกกุ้ง โดยแคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคลอไรด์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แสดงว่าไคตินตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผ่านกระบวนการขจัดแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดีมาก โดยให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับปริมาณธาตุน้อยของไคตินที่เตรียมตามวิธีของ Hackman (1954) อ้างถึงใน Muzzarelli (1977) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งพบว่าไคตินที่เตรียมได้มีปริมาณธาตุน้อยเท่ากับ 0 ในปี ค.ศ. 1978 Austin และ Rutherford เตรียมไคตินจากเปลือกกุ้งพันธุ์ *Penaeus aztecus* โดยผ่านการกำจัดแร่ธาตุด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิห้อง และผ่านขั้นตอนการกำจัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 2 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณธาตุน้อยเท่ากับ 0.6 และในปี ค.ศ. 1974 Madhavan และ Ramachandran พบว่าปริมาณธาตุน้อยในไคตินจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ โดยเมื่อทั้ง 2 ปัจจัยมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุน้อยในไคตินจะมีค่าลดลง ดังนี้เมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกคงที่ที่ 2.0 นอร์มัล แปรค่าเวลาที่ใช้ที่ 30, 60, 120 และ 180 นาทีพบว่าปริมาณธาตุน้อยมีค่า 2.71, 1.76, 1.03 และ 0.65 ตามลำดับ และเมื่อกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการแช่ไคตินในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกคงที่ที่ 180 นาทีแปรค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ 1.25, 1.50 และ 2.00 นอร์มัล

พบว่าปริมาณเถ้า 2.97, 1.46 และ 0.65 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนจะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนของไคตินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าค่าปริมาณไนโตรเจนของไคตินทางทฤษฎี (theoretical value) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.9 (Muzzarelli, 1973) แสดงว่าเกิดการหลุดของหมู่อะมิโนในระหว่างการไฮดรอลิซ (hydrolytic deamination) ในขั้นตอนการสกัดไคติน หรือเกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่าไคตินมีปริมาณเส้นใยสูงและมีปริมาณไขมันต่ำมากจนตรวจวัดไม่ได้และเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของไคตินที่ผลิตโดยบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) กับค่าตาม specification ของไคติน (McCarthy, 1985) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบทางเคมีของไคตินที่ผลิตโดยบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) เปรียบเทียบกับค่าตาม specification

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ (%)	
	ไคตินผลิตโดยบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด	specification ของไคติน (McCarthy, 1985)
ปริมาณความชื้น	4.69	2-10
ปริมาณไขมัน	น้อยมาก ตรวจวัดไม่ได้	-
ปริมาณไนโตรเจน	6.57	6-7
ปริมาณเถ้า	0.46	<1
ปริมาณเส้นใย	86.72	-

5.2 การตัดแปรไคตินด้วยวิธีการขจัดหมู่อะซิติก

ในการทดลองตัดแปรไคตินด้วยวิธีการขจัดหมู่อะซิติกที่สภาวะต่างๆดังกล่าว ในข้อที่ 4.2 พบว่าผลผลิตไคโตแซนที่ได้มีปริมาณค่อนข้างสูง และจากการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Factorial completely randomized design ขนาด 4x4 พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขจัดหมู่อะซิติกไม่มีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตไคโตแซน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลามีผลต่อค่าร้อยละผลผลิตไคโตแซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.1 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของร้อยละผลผลิตไคโตแซนโดยใช้ Duncan's new multiple range test พบว่าให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งจะเห็นว่าโดยส่วนใหญ่ค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตไคโตแซนจากทั้ง 16 treatments ให้ค่าไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 71.10 ถึง 78.26 ซึ่งค่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณการสูญเสียไคโตแซนในขั้นตอนการกรองและล้าง เพื่อทำให้ไคโตแซนมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6-7 โดยค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตของไคโตแซนที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีค่าใกล้เคียงกับที่ Shahidi และ Synowiecki (1992) รายงานไว้ว่าร้อยละผลผลิตของไคโตแซนที่เตรียมจากไคตินมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 72.25 ถึง 77.00

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละผลผลิตโคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60,70,80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1,2,3 และ 4 ชั่วโมง

สภาวะที่ใช้ในการเตรียมโคโตแซน		ร้อยละผลผลิตโคโตแซน \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	
60 \pm 1	1	75.86 \pm 0.07 ^{bc}
	2	77.16 \pm 0.01 ^b
	3	73.58 \pm 0.11 ^{bcd}
	4	76.64 \pm 0.01 ^{bc}
70 \pm 1	1	74.66 \pm 6.10 ^{bcd}
	2	76.31 \pm 1.00 ^{bc}
	3	75.37 \pm 0.01 ^{bc}
	4	71.10 \pm 0.30 ^d
80 \pm 1	1	74.78 \pm 0.01 ^{bcd}
	2	74.72 \pm 1.24 ^{bcd}
	3	74.09 \pm 0.10 ^{bcd}
	4	75.84 \pm 1.63 ^{bc}
90 \pm 1	1	78.26 \pm 0.37 ^a
	2	74.56 \pm 0.01 ^{bcd}
	3	76.44 \pm 0.20 ^{bc}
	4	72.82 \pm 1.16 ^{cd}

a, b, c, d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

5.3 องค์ประกอบทางเคมีและค่าความหนืดของไคโตแซน

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไคโตแซนที่เตรียมได้แสดงในตารางที่ 5.3 พบว่าปริมาณเส้นใยของไคโตแซนที่เตรียมจากทุกสภาวะที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อพิจารณาปริมาณแก้วและปริมาณเส้นใยของไคโตแซนเทียบกับไคตินจะเห็นว่ามีความต่ำกว่าของไคติน อธิบายได้ว่าแร่ธาตุหรือพวกออกไซด์ในไคตินถูกกำจัดไปอีกในขั้นตอนการเตรียมไคโตแซนด้วยสารละลายต่างที่อุณหภูมิสูง โดยแคลเซียมคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Muzzarelli, 1977) เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในไคโตแซนจะมีค่าสูงกว่าในไคติน และที่สภาวะในการขจัดหมู่อะซิติกรุนแรงขึ้นค่าปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Nud'ga, Plisko และ Danilove อ้างถึงใน Muzzarelli (1977) ที่ทำการขจัดหมู่อะซิติกภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 49 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 3, 4 และ 7 ชั่วโมง พบว่าไคโตแซนที่ได้มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 6.55, 7.55, 7.64 และ 7.88 ตามลำดับ และถ้ามีการขจัดหมู่อะซิติกออกจากไคตินได้ทั้งหมด (complete - deacetylation) ไคโตแซนที่เตรียมได้จะมีค่าปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 8.7 โดยค่านี้ถูกกำหนดให้เป็นค่าทางทฤษฎี (theoretical value) (Muzzarelli, 1977) ในการทดลองนี้ค่าสูงสุดของปริมาณไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 7.86 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าทางทฤษฎีของปริมาณไนโตรเจนของไคตินและไคโตแซน คือ 6.9-8.7 นั้นแสดงว่าในสายโมเลกุลของไคโตแซนยังมีบางหน่วยของวงแหวนน้ำตาลที่ไม่ถูกขจัดหมู่อะซิติก (partial deacetylation)

ตารางที่ 5.3 องค์ประกอบทางเคมีของโคโคชัน

สภาวะที่ใช้ในการเตรียมโคโคชัน		ปริมาณ ความชื้น (%)	ปริมาณ ไนโตรเจน \pm SD (%)	ปริมาณ เถ้า (%)
อุณหภูมิที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (ชั่วโมง)			
60 \pm 1	1	9.72	7.32 \pm 0.08	0.15
	2	9.69	7.56 \pm 0.02	0.09
	3	9.70	7.72 \pm 0.01	0.23
	4	9.58	7.68 \pm 0.32	0.12
70 \pm 1	1	9.43	7.43 \pm 0.13	0.12
	2	8.75	7.86 \pm 0.66	0.13
	3	7.92	6.81 \pm 0.39	0.10
	4	7.65	6.50 \pm 0.08	0.17
80 \pm 1	1	9.82	7.59 \pm 0.04	0.12
	2	9.47	7.65 \pm 0.28	0.17
	3	9.54	7.63 \pm 0.08	0.22
	4	8.41	7.87 \pm 0.36	0.10
90 \pm 1	1	9.71	7.67 \pm 0.02	0.12
	2	9.62	7.43 \pm 0.32	0.10
	3	9.57	7.67 \pm 0.11	0.18
	4	9.34	7.72 \pm 0.16	0.15

หมายเหตุ ปริมาณเส้นใยของโคโคชันที่ทุกสภาวะที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 0
และ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

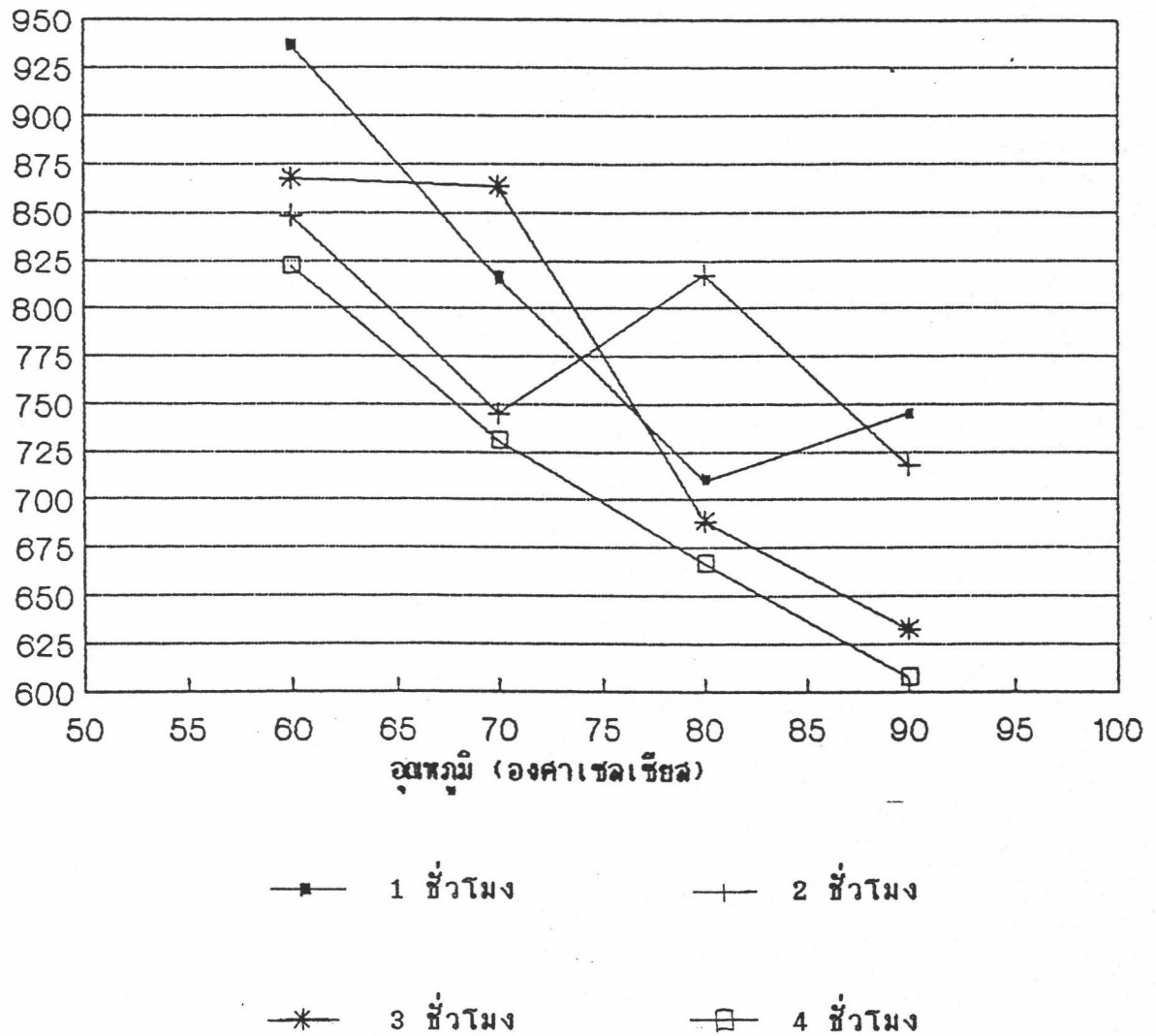
ไคโตแซนเป็นโพลิเมอร์ที่ละลายได้ในกรดเจือจางและให้สารละลายที่มีลักษณะหนืด จากการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Factorial completely randomized design ขนาด 4x4 พบว่าค่าความหนืดของสารละลายไคโตแซนมีความแปรปรวนมาก โดยอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการจัดหม้อะซิติก และอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลามีผลต่อค่าความหนืดของสารละลายไคโตแซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.2 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความหนืดของสารละลายไคโตแซนโดยใช้ Duncan's new multiple range test พบว่าค่าความหนืดของสารละลายไคโตแซนนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามสภาวะที่ใช้ในการเตรียม ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 5.4 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของความหนืดของสารละลายไคโตแซนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในกรดอะซิติกเจือจางความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 กวนด้วย magnetic stirrer ที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนืดที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ probe no.3 ที่ระดับความเร็วรอบของเครื่องวัดเท่ากับ 100 รอบต่อนาทีจะเห็นว่าไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีค่าความหนืดสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 936.50 ± 58.69 เซนติพอยส์ ในขณะที่ไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะมีค่าความหนืดต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 607.50 ± 17.68 เซนติพอยส์ และเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าไคโตแซนที่ได้จากการเตรียมที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน จะมีแนวโน้มของค่าความหนืดลดลง ทั้งนี้เพราะที่สภาวะรุนแรงขึ้น (อุณหภูมิสูงขึ้น เวลามากขึ้น) จะทำให้เกิดการแตกตัวของสายโมเลกุลของไคโตแซน (degradation) มีผลทำให้ค่าความหนืดลดลง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Muzzarelli (1977) ซึ่งพบว่าเวลาที่ใช้ในการจัดหม้อะซิติกมีผลต่อค่าความหนืดของไคโตแซนที่เตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะมีค่าลดลง

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยความหนืดของสารละลายโคโคแชนที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในกรดอะซิติกเจือจางความเข้มข้นร้อยละ 1 วัดที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 และที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ probe no.3

สภาวะที่ใช้ในการเตรียมโคโคแชน		ความหนืด \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เซนติพอยส์)
อุณหภูมิที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (ชั่วโมง)	
60 \pm 1	1	936.50 \pm 58.69 ^a
	2	848.50 \pm 48.79 ^b
	3	867.50 \pm 16.26 ^b
	4	822.00 \pm 16.97 ^b
70 \pm 1	1	816.00 \pm 8.49 ^b
	2	745.50 \pm 20.51 ^c
	3	863.50 \pm 10.61 ^b
	4	731.00 \pm 43.84 ^c
80 \pm 1	1	709.50 \pm 23.33 ^{cd}
	2	817.50 \pm 9.19 ^b
	3	688.50 \pm 16.26 ^{cd}
	4	666.50 \pm 12.02 ^{cd}
90 \pm 1	1	745.50 \pm 9.19 ^c
	2	718.00 \pm 11.31 ^{cd}
	3	632.50 \pm 24.75 ^{ef}
	4	607.50 \pm 17.68 ^f

a, b, c, d, e, f ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ความหนืด (เซนติพอยล์)



รูปที่ 5.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขจัดหมู่อะซิติกต่อค่าความหนืดของสารละลายโคโตนแซนที่เตรียมได้จากการทดลอง

จากผลการศึกษาค่าประกอบทางเคมีและค่าความหนืดของไคโตแซนที่เตรียมได้ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตาม specification ในตารางที่ 5.5 (McCarthy, 1985) พบว่าไคโตแซนที่เตรียมได้มีค่าปริมาณความชื้น ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณเถ้า และความหนืดอยู่ในช่วงที่กำหนด ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนของไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมงจะมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด

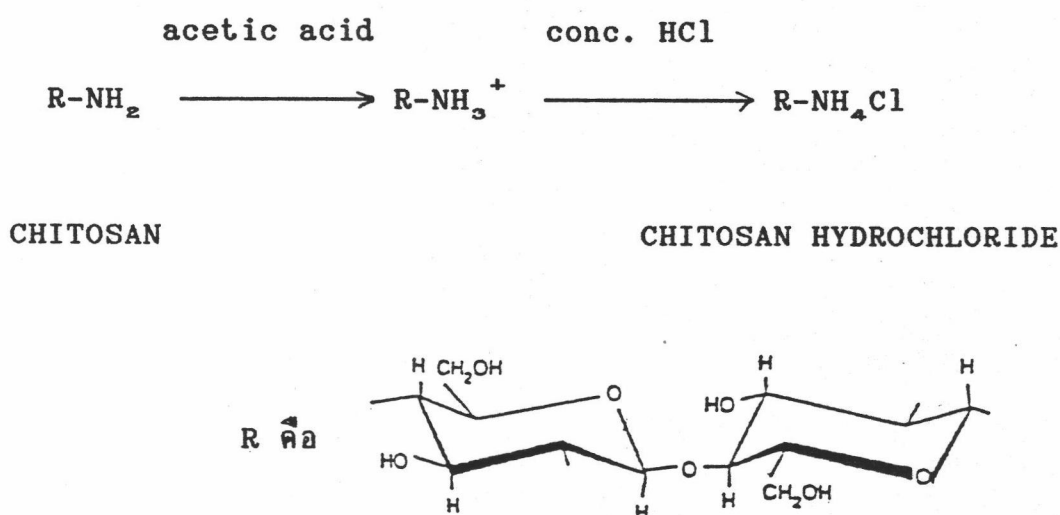
ตารางที่ 5.5 Specification สำหรับไคโตแซน (McCarthy, 1985)

Specification	ไคโตแซน
ปริมาณความชื้น (%)	2-10
ปริมาณไนโตรเจน (%)	7-8.4
ร้อยละการขจัดหมู่อะซิติก (%)	60
ปริมาณเถ้า (%)	<1.0
ความหนืด (เซนติพอยส์)	200-3000

5.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกของไคโตแซน

จากการวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Factorial completely randomized design ขนาด 4x4 พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการขจัดหมู่อะซิติก และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา มีผลต่อค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.3 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่าการตัดแปรไคตินด้วยวิธีการขจัดหมู่อะซิติกที่อุณหภูมิและเวลาต่างกันทำให้ได้ไคโตแซนที่มีค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกต่างกัน ดังแสดงผลการทดลองในตารางที่ 5.6 โดยจะเห็นว่าการขจัดหมู่อะซิติกที่

อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง ทำให้ได้ไคโตแซนที่มีค่าปริมาณการจับหมู่อะมิโนสูงสุดเท่ากับ 4.08×10^{-3} โมลแอมโมเนียต่อกรัม ไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์ หรือเท่ากับร้อยละ 80.58 สำหรับค่า 0 นั้นมาจากการที่นำไคโตแซนมาละลายในกรดอะซิติกเจือจางความเข้มข้นร้อยละ 10 และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นแล้วไม่เกิดตะกอนสีขาวของไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์ แสดงว่ามีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระต่ำมาก หรือยังมีหมู่อะมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวนน้ำตาลซึ่งขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของหมู่ HCl การเกิดไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์เป็นไปตามปฏิกิริยาต่อไปนี้ ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของวงแหวนน้ำตาลของไคโตแซน



เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการจับหมู่อะมิโนของไคโตแซนที่เตรียมได้ (ยกเว้นค่า 0) กับค่า specification ที่กำหนดในตารางที่ 5.5 พบว่าไคโตแซนที่ได้จากการทดลองมีค่าร้อยละการจับหมู่อะมิโนสูงกว่าที่กำหนด โดยมีค่าสูงกว่าร้อยละ 60 การที่ไคโตแซนมีค่าร้อยละการจับหมู่อะมิโนสูงขึ้นแสดงว่ามีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระเพิ่มขึ้น Muzzarelli และ Tubertini (1969) รายงานว่าการที่ไคโตแซนมีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระมากกว่าไคติน ทำให้ไคโตแซนมีความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะหมู่ทรานสิชันได้ดีกว่าไคติน (รายละเอียดแสดงในข้อ 2.3) จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าถ้าไคโตแซนมีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นน่าจะมีความสามารถในการจับไอออนโลหะทรานสิชันได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นงาน

วิจัยนี้จึงได้พิจารณาเลือกโคโตแซนที่มีค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อนำไปทำการวิจัยสมบัติในการเคลือบเฟอร์ริกไอออน เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคือเลือกโคโตแซนที่มีค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกสูง และถ้าที่ระดับค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จะเลือกโคโตแซนที่เตรียมโดยใช้เวลาและอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงเลือกโคโตแซนดังต่อไปนี้

1. โคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกเท่ากับ 80.38
2. โคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกเท่ากับ 72.29
3. โคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าร้อยละการขจัดหมู้อะซิติกเท่ากับ 65.77

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งแสดงผลของเวลา (3-4 ชั่วโมง) และอุณหภูมิ (60-90 องศาเซลเซียส) ที่ใช้ในการขจัดหมู้อะซิติกต่อค่าปริมาณการขจัดหมู้อะซิติกของโคโตแซนตามลำดับ พบว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการขจัดหมู้อะซิติกเพิ่มขึ้น ค่าปริมาณการขจัดหมู้อะซิติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang (1984) ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ

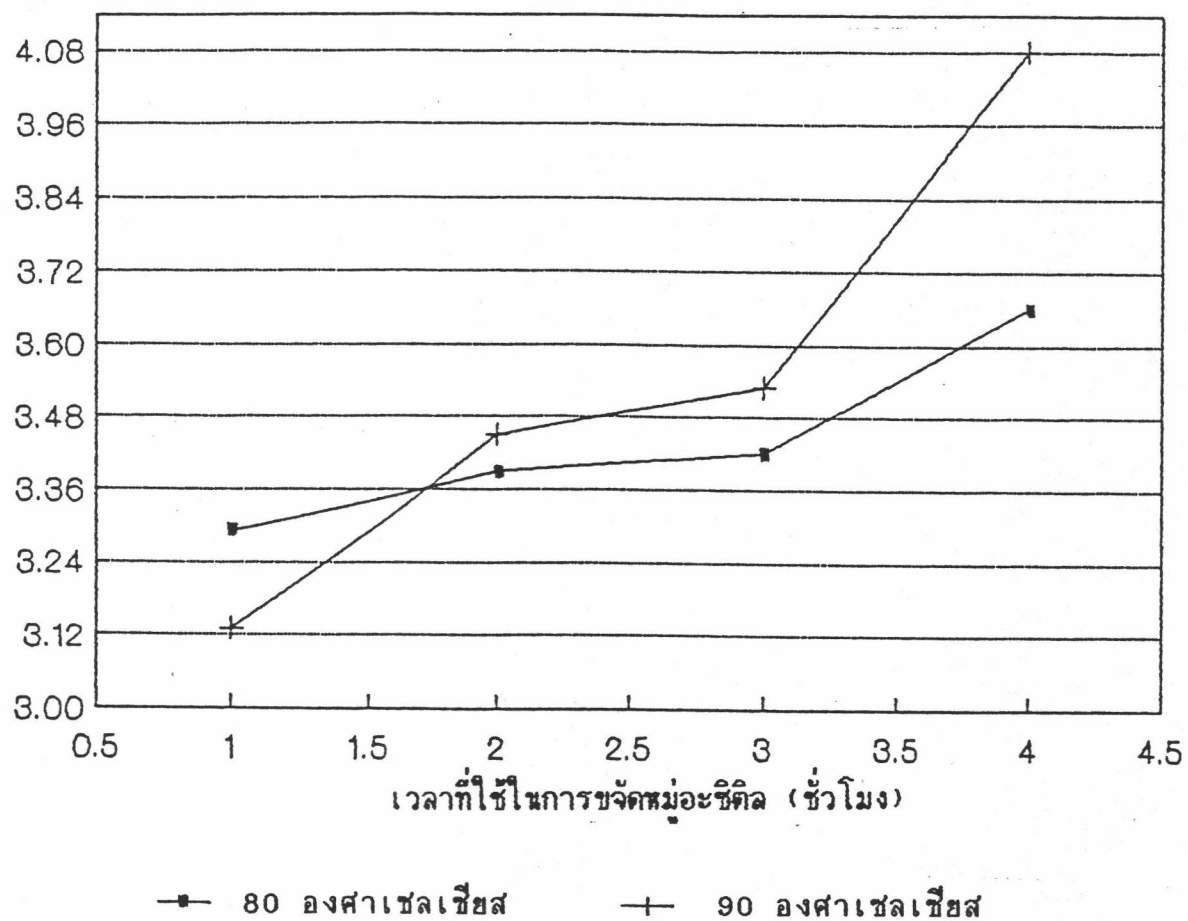
ตารางที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกของโคโคแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ และเวลาในการขจัดหมู่อะซิติกต่างๆ (เปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง)

โคโคแซน		ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก	
อุณหภูมิที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการ ขจัดหมู่อะซิติก (ชั่วโมง)	$\times 10^{-3}$ $\text{mole NH}_3/\text{gCH}^*$	(%)
60+1	1	0	0
	2	0	0
	3	3.33 ^{bc}	65.77 ^{bc}
	4	3.39 ^{bc}	66.95 ^{bc}
70+1	1	0	0
	2	3.33 ^{bc}	65.77 ^{bc}
	3	3.48 ^{bc}	68.73 ^{bc}
	4	3.55 ^{bc}	70.11 ^{bc}
80+1	1	3.29 ^{bc}	64.98 ^{bc}
	2	3.39 ^{bc}	66.95 ^{bc}
	3	3.42 ^{bc}	67.55 ^{bc}
	4	3.66 ^b	72.29 ^b
90+1	1	3.13 ^c	61.82 ^c
	2	3.45 ^{bc}	68.14 ^{bc}
	3	3.53 ^{bc}	69.72 ^{bc}
	4	4.08 ^a	80.38 ^a

a, b, c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

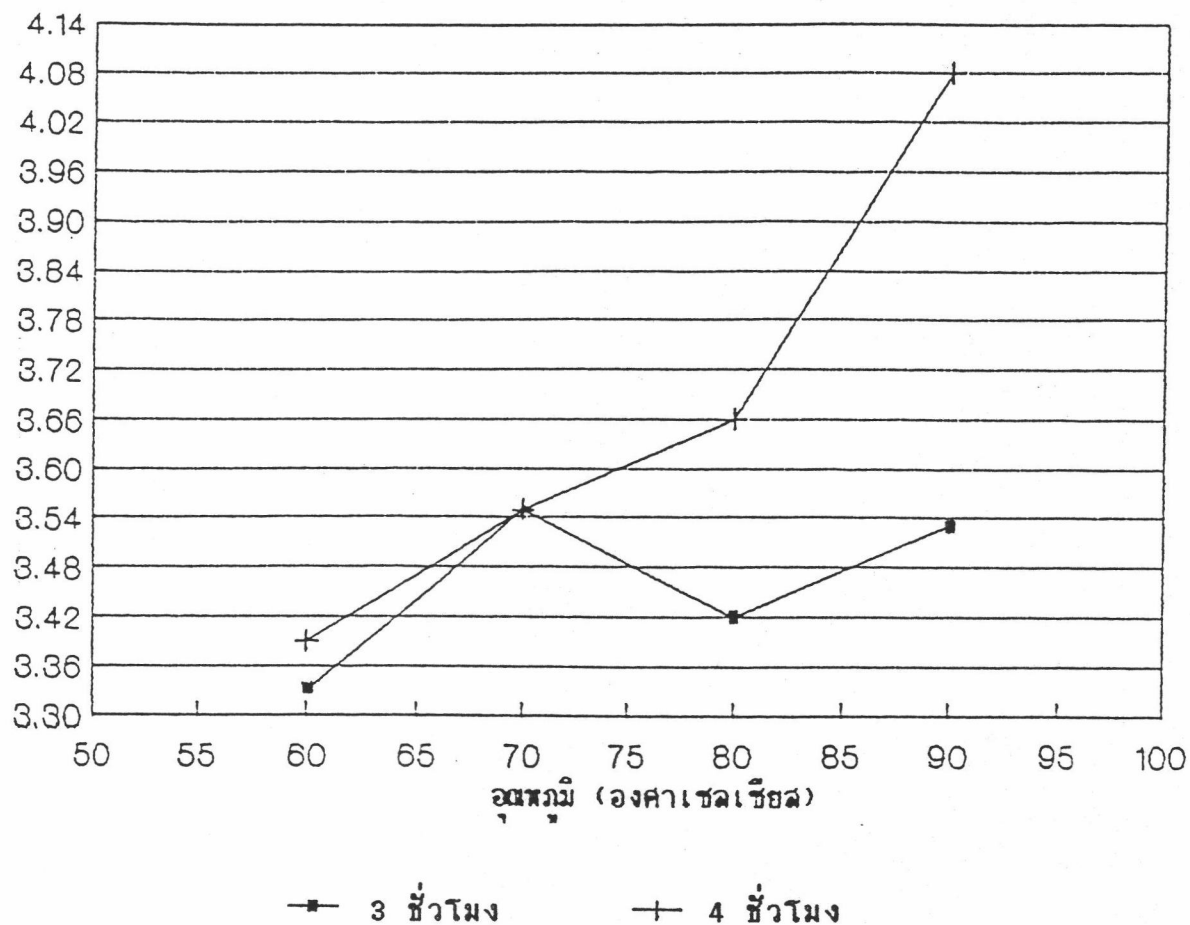
* $\text{mole NH}_3/\text{gCH}$ คือโมลแอมโมเนียต่อกรัมโคโคแซนไฮโดรคลอไรด์

ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก ($\times 10^{-3}$ โมลแอมโมเนียต่อกรัมไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์)



รูปที่ 5.2 ผลของเวลาที่ใช้ในการขจัดหมู่อะซิติกต่อค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกของไคโตแซนที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส

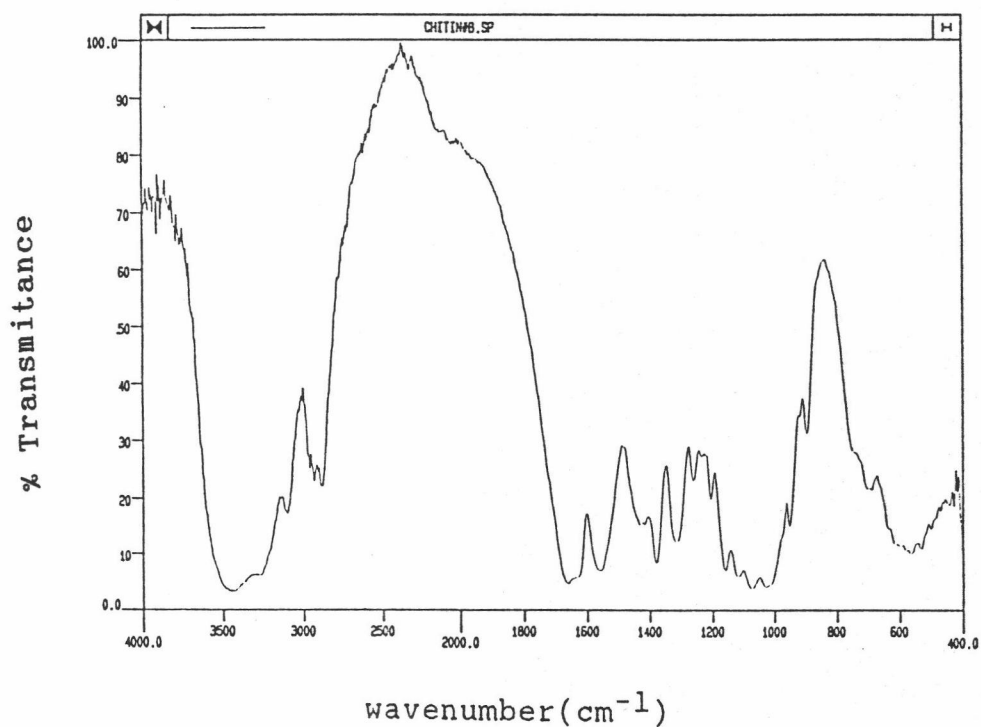
ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก ($\times 10^{-3}$ โมลแอมโมเนียต่อกรัมไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์)



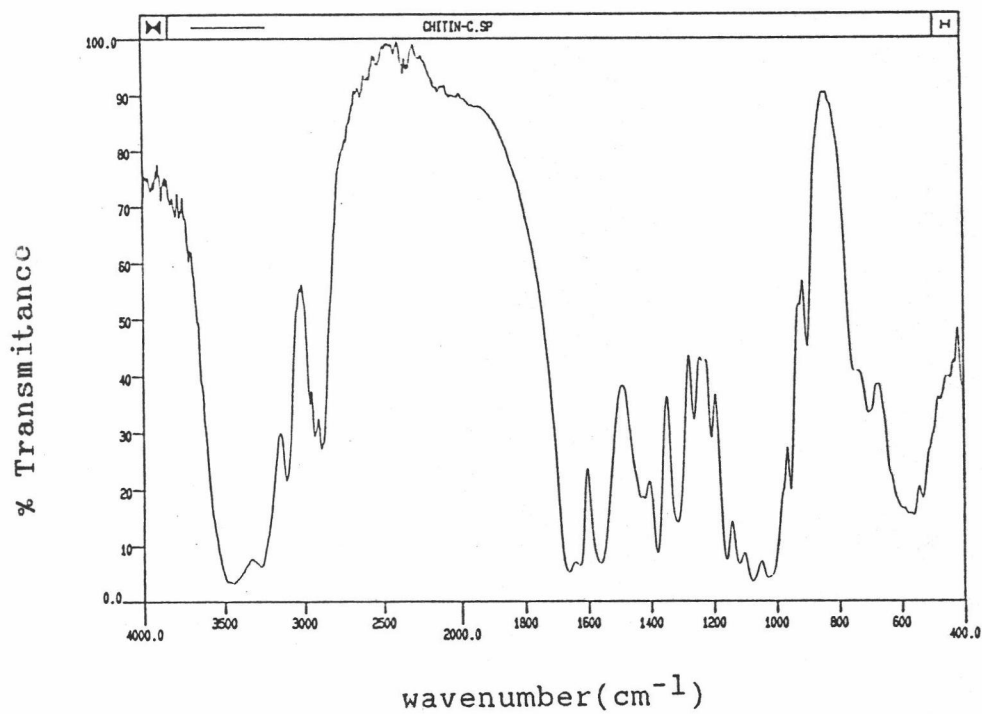
รูปที่ 5.3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการขจัดหมู่อะซิติกต่อค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกของไคโตแซนที่เวลาการขจัด 3 และ 4 ชั่วโมง

5.5 อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Spectrum) ของไคตินและไคโตแซน

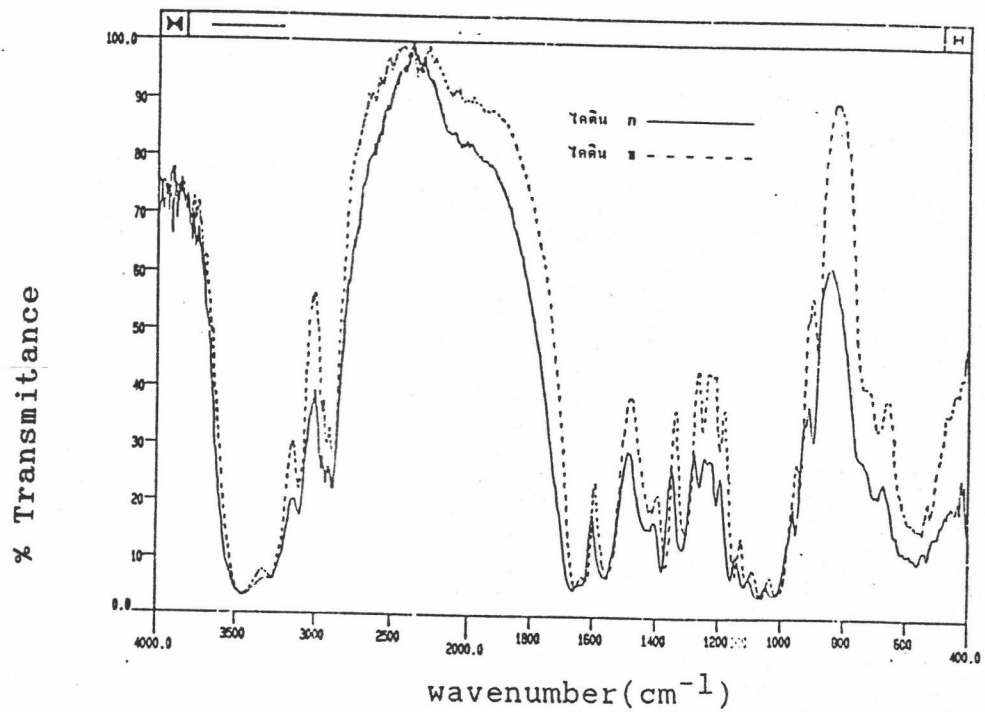
จากผลการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินจากบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) เปรียบเทียบกับไคตินบริสุทธิ์ของบริษัท Sigma ประเทศสหรัฐอเมริกา แสดงดังรูปที่ 5.4-5.6 พบว่าให้ลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมที่เหมือนกันโดยมี absorption band ที่สำคัญคือ absorption band ของ carbonyl (C=O) และ amide interaction ของ acetamido group (-NHCOCH₃) โดย absorption band ของ C-2 amide group จะพบที่เลขคลื่นในช่วง 3500-3100 cm⁻¹ ส่วน absorption band ของ NH bending จะพบที่เลขคลื่น 1550 cm⁻¹ รวมทั้ง absorption band ของ acetyl carbonyl group (C=O) จะพบที่เลขคลื่น 1656 cm⁻¹ (amide I band) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Muzzarelli (1977) รายงานไว้ว่าไคตินประกอบด้วย absorption band ที่เด่นคือที่เลขคลื่น 1656 cm⁻¹ ซึ่งแสดง C=O stretching และที่เลขคลื่น 1626 cm⁻¹ ซึ่งแสดง amide II vibration (amide carbonyl) นอกจากนี้ยังมี absorption band ของ acetamido methyl (-CH₃) group ที่เลขคลื่น 2950 cm⁻¹ และที่ 2900 cm⁻¹ และเมื่อเปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมมาตรฐานของ N-acetyl-glucosamine แสดงดังรูปที่ 5.7 พบว่ามีตำแหน่งของ absorption band ที่สำคัญเหมือนกันได้แก่ absorption band ของ NH bending ที่เลขคลื่น 1550 cm⁻¹ absorption band ของ acetyl carbonyl group (C=O) ที่เลขคลื่น 1620 cm⁻¹ และ absorption band ของ acetamido methyl (-CH₃) group ที่เลขคลื่น 2900 cm⁻¹



รูปที่ 5.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินที่ผลิตโดยบริษัท Sigma ประเทศสหรัฐอเมริกา (solid phase, KBr)



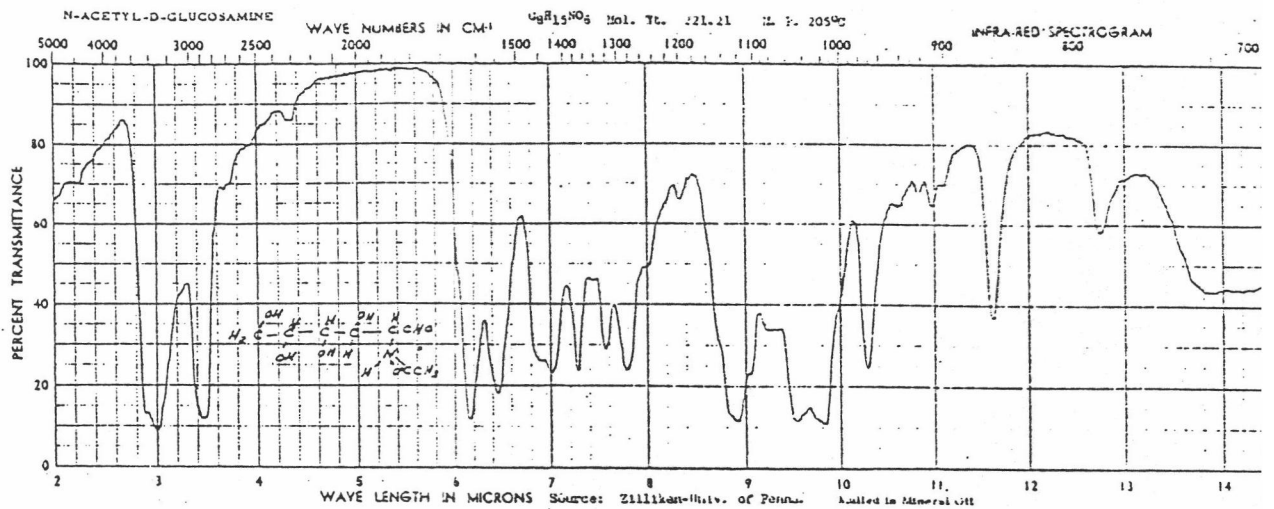
รูปที่ 5.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคตินที่ใช้ในงานวิจัย ผลิตโดยบริษัท ยูนิคอร์น จำกัด (มหาชน) (solid phase, KBr)



โคติน ก หมายถึง โคตินจากบริษัท Sigma

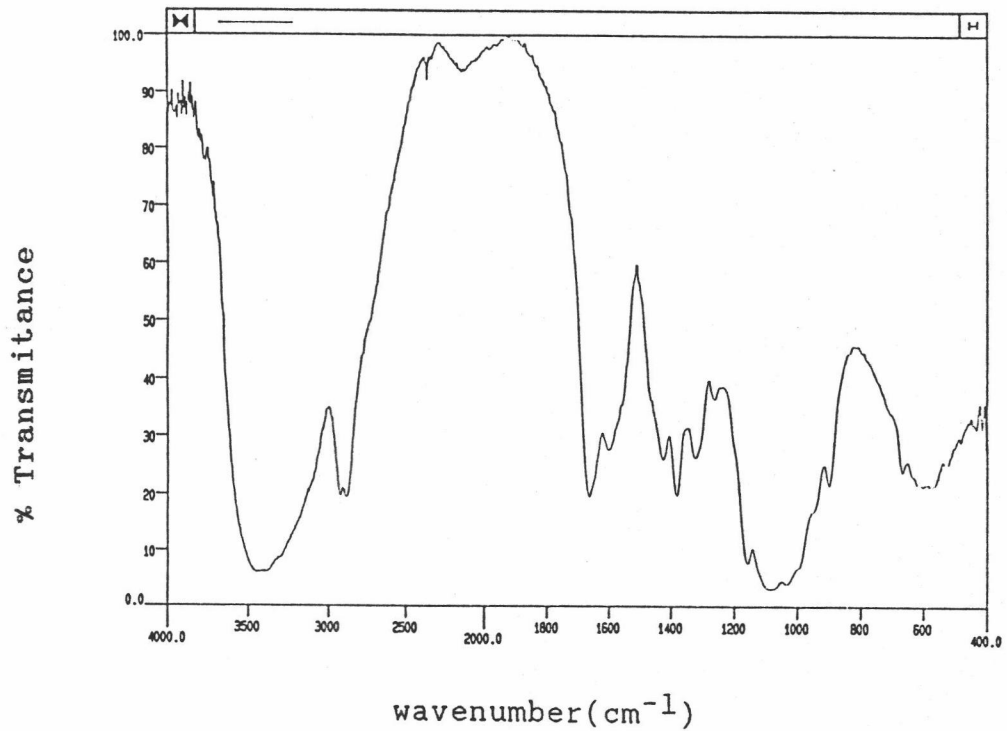
โคติน ข หมายถึง โคตินจากบริษัทยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน)

รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคตินที่ผลิตโดยบริษัท Sigma ประเทศสหรัฐอเมริกา และบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) (solid phase, KBr)

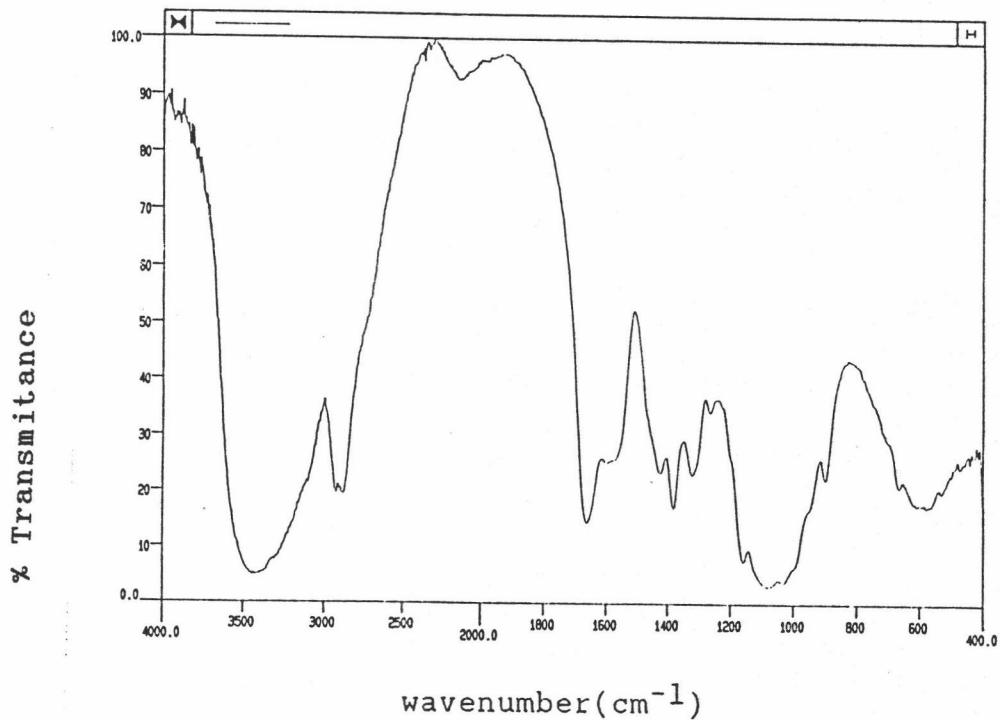


รูปที่ 5.7 อินฟราเรดสเปกตรัมมาตรฐานของ N-acetyl-glucosamine (liquid phase, mineral oil)

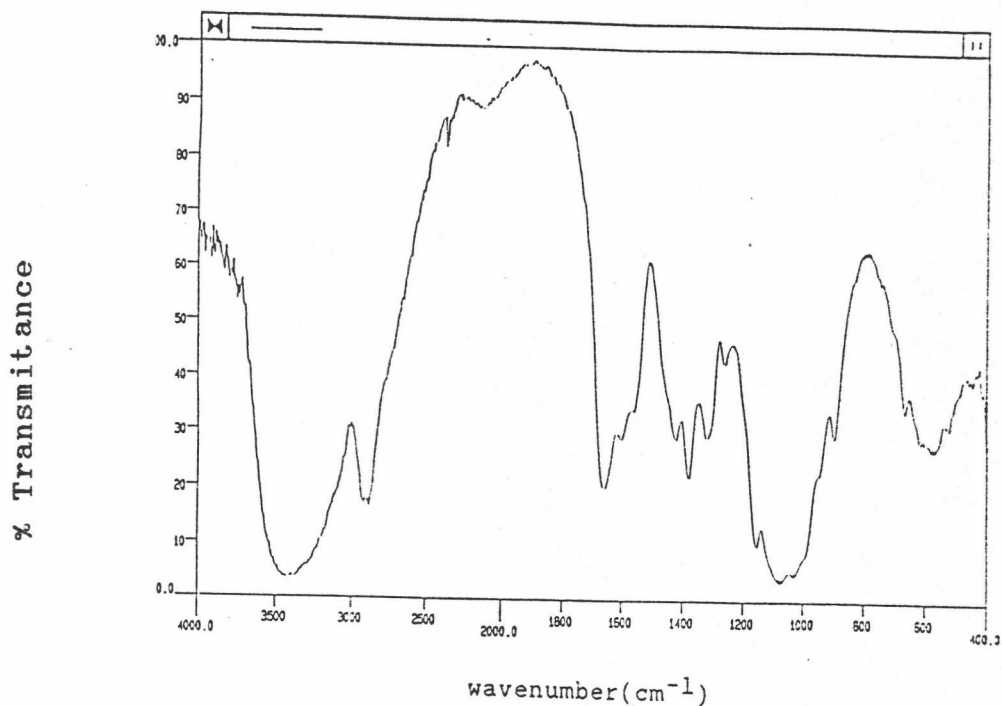
อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน 3 ตัวอย่างที่เตรียมจากการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 5.8 - 5.10 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนที่ผลิตจากบริษัท Fluka ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ แสดงดังรูปที่ 5.11 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน 3 ตัวอย่างมีลักษณะเหมือนกับอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจากบริษัท Fluka โดยมี absorption band ที่สำคัญของไคโตแซนคือ absorption band ของ primary amine ($-NH_2$) ในช่วงเลขคลื่น 3500-3300 cm^{-1} และ 1650-1590 cm^{-1} (Dyer, 1965) แต่เนื่องจากไคโตแซนทั้ง 3 ตัวอย่างที่เตรียมได้มีปริมาณร้อยละการขจัดหมู่อะซิติกอยู่ในช่วงร้อยละ 65.77-80.38 ซึ่งแสดงว่าในสายโมเลกุลของไคโตแซนยังมีหมู่ acetamido เหลืออยู่ ดังนั้นอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจึงยังปรากฏ absorption band ของ acetyl carbonyl group ($C=O$) ที่เลขคลื่น 1656 cm^{-1} ซึ่งถ้าไคโตแซนที่มีปริมาณร้อยละการขจัดหมู่อะซิติกสูง absorption band ที่เลขคลื่นนี้จะหายไป ดังแสดงในอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนจากบริษัท Fluka สำหรับรูปที่ 5.12 และ 5.13 นั้นแสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับไคโตแซนจากบริษัท Fluka และ ไคตินที่ผลิตจากบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) ตามลำดับ



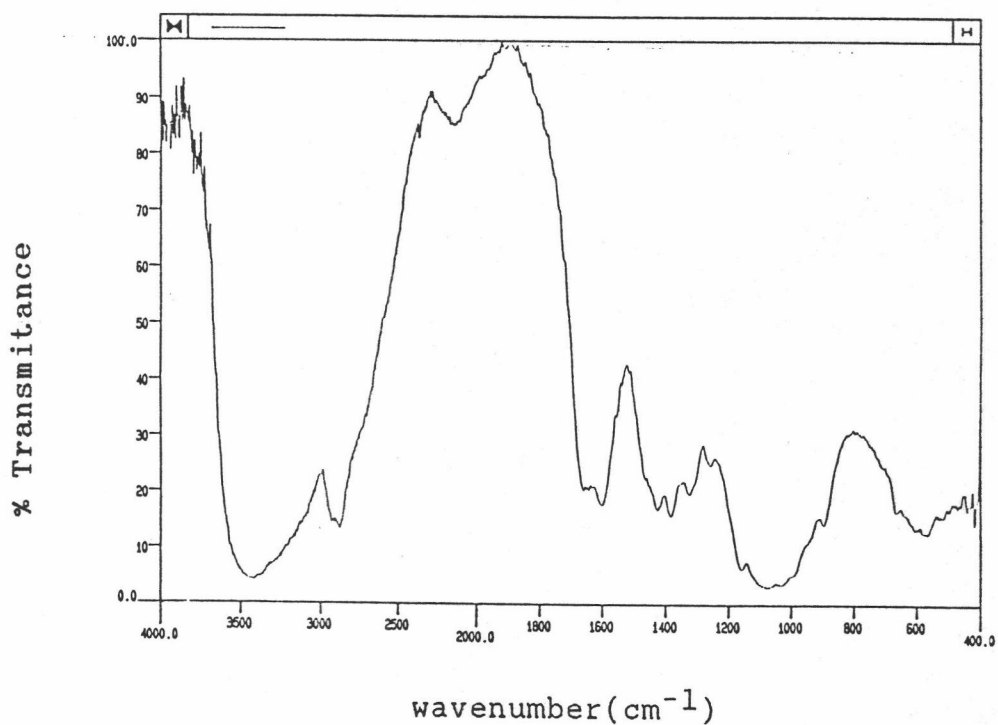
รูปที่ 5.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคเดชัน ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (solid phase, KBr)



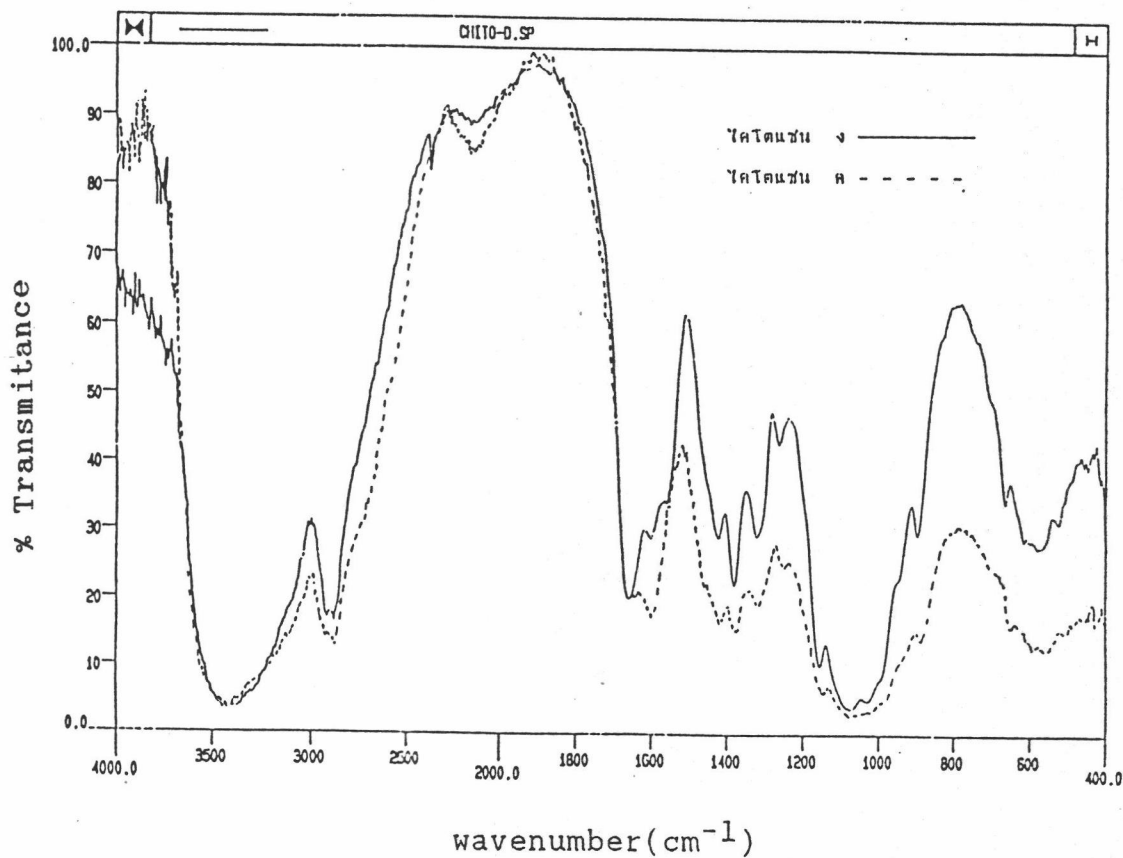
รูปที่ 5.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคเดชัน ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (solid phase, KBr)



รูปที่ 5.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (solid phase, KBr)



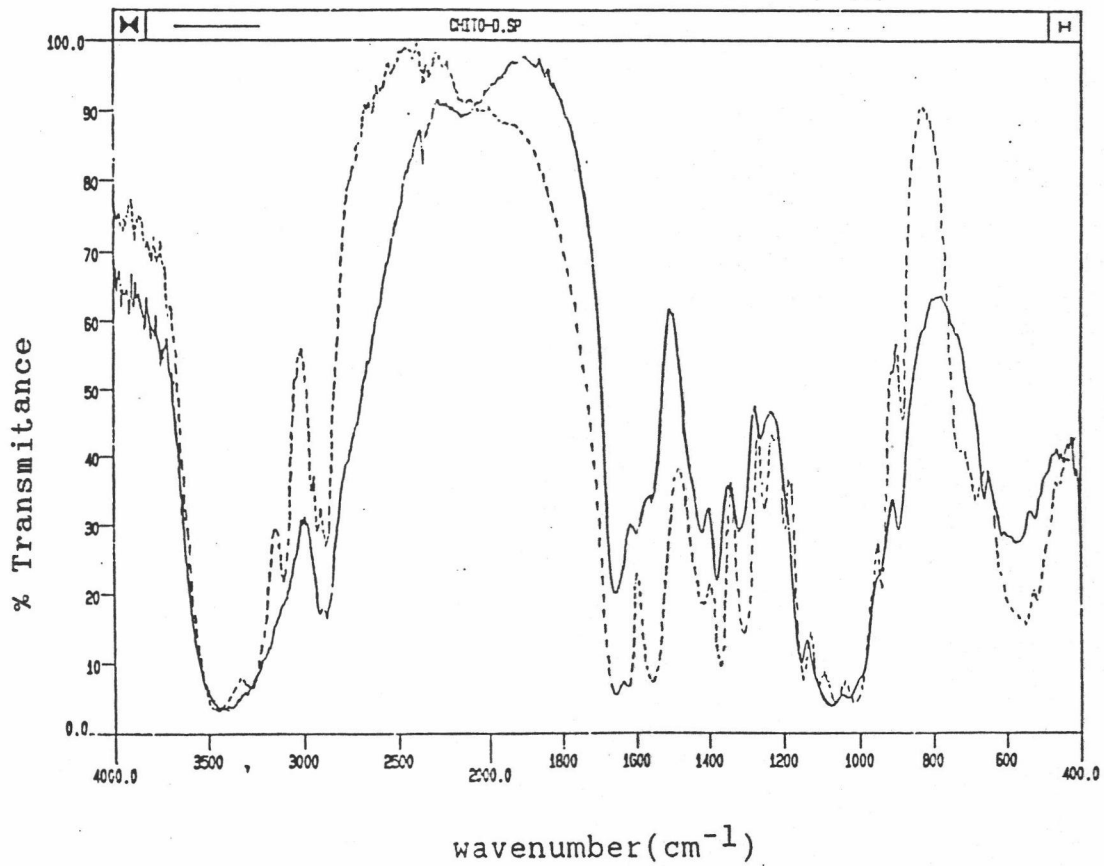
รูปที่ 5.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนที่ผลิตโดยบริษัท Fluka ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ (solid phase, KBr)



โคโตแซน ค หมายถึง โคโตแซนจากบริษัท Fluka

โคโตแซน ง หมายถึง โคโตแซน 90 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง

รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโตแซน ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง กับโคโตแซนที่ผลิตโดยบริษัท Fluka ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ (solid phase, KBr)



————— ไคติน ข หมายถึง ไคตินจากบริษัทยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน)
 - - - - - ไคโตแซน ง หมายถึง ไคโตแซน 90 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง

รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน ที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงกับไคตินที่ผลิตโดยบริษัท ยูนิคอร์ด จำกัด (มหาชน) (solid phase, KBr)

5.6 สมบัติการคีเลตเฟอริกไอออน (Ferric ion, Fe^{3+}) ของไคตินและ

ไคโตแซน

จากการศึกษาวิจัยผลการสะสมเฟอริกไอออนบนไคตินและไคโตแซนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ไคโตแซนที่เตรียมที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และไคโตแซนที่เตรียมที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่เวลาในการเขย่าต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 วิจัยผลการสะสมเฟอริกไอออนบนไคตินและไคโตแซนขนาด 100-200 เมช ปริมาณ 500 มิลลิกรัม ในสารละลายเฟอริกไอออนความเข้มข้น 24.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ภายในเวลาการเขย่า 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และอุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเขย่า (ชั่วโมง)	วิจัยผลการสะสมเฟอริกไอออน \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ไคติน	1	98.30 \pm 0.06
	2	98.59 \pm 0.59
	3	98.88 \pm 0.18
	4	99.00 \pm 0.35
ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง ⁿ	1	99.21 \pm 0.01
	2	99.17 \pm 0.01
	3	99.36 \pm 0.06
	4	99.46 \pm 0.12

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเขย่า (ชั่วโมง)	ร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง ^ก	1	99.63 ± 0.06
	2	99.61 ± 0.04
	3	99.60 ± 0.03
	4	99.60 ± 0.03
ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง ^ข	1	99.71 ± 0.06
	2	99.59 ± 0.18
	3	99.63 ± 0.04
	4	99.71 ± 0.06

ก = ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการจัดหมักอะซิติกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

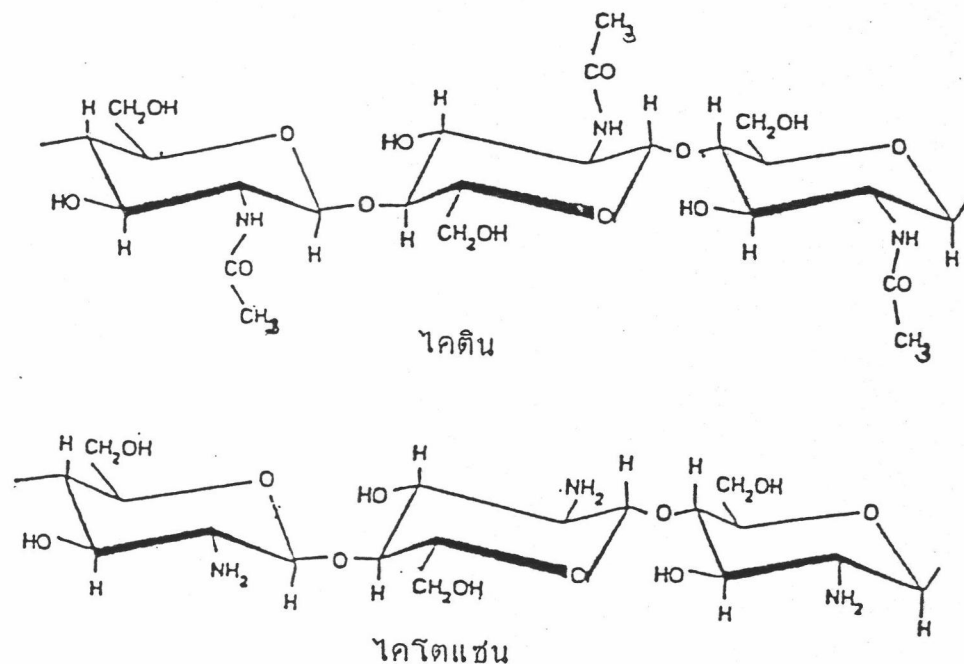
ข = ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการจัดหมักอะซิติกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ค = ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการจัดหมักอะซิติกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

จากข้อมูลในตารางที่ 5.7 เมื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ

Factorial completely randomized design ขนาด 4x4 พบว่า เฉพาะชนิดของตัวอย่างเท่านั้นที่มีผลต่อค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่เวลาในการเขย่าและอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของตัวอย่างและเวลาในการเขย่า ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.4 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test

จะให้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.8 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละการสะสมเพอร์ริก ไอออนแยกตามชนิดของตัวอย่างจะเห็นว่าไคโตแซนมีความสามารถในการสะสม เพอร์ริก ไอออนสูงกว่าไคตินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และไคโตแซนที่มีค่าร้อยละการจัดหมู่อะซิติลต่างกันก็จะสะสมเพอร์ริก ไอออนได้ ต่างกัน การที่ไคโตแซนสามารถสะสมเพอร์ริก ไอออนได้ดีกว่าไคตินเพราะ ไคโตแซนมีหมู่เอมีโนอิสระที่มี lone pair electron บนไนโตรเจนซึ่งไวต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ดีกว่าไคตินซึ่งมีหมู่ acetamido ดังแสดง ในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 สูตรโครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตแซน (Shahidi and Synowiecki, 1992)

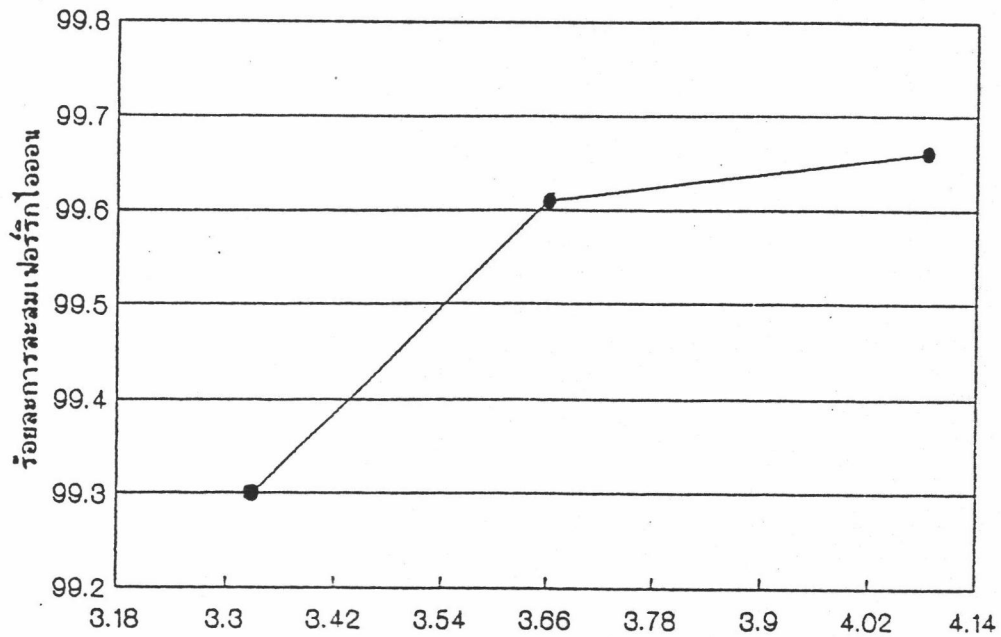
ตารางที่ 5.8 ค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) บนไคตินและไคโตแซน

ตัวอย่าง	ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก		ร้อยละการสะสม เฟอร์ริกไอออน + ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	$\times 10^{-3}$ mole NH_3 /gCH*	ร้อยละ	
ไคติน	-	-	98.81 \pm 0.36 ^c
ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง	3.33	65.77	99.30 \pm 0.06 ^b
ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง	3.66	72.29	99.61 \pm 0.01 ^a
ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง	4.08	80.58	99.66 \pm 0.14 ^a

a, b, c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* mole NH_3 /gCH คือ โมลแอมโมเนียต่อกรัมไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์

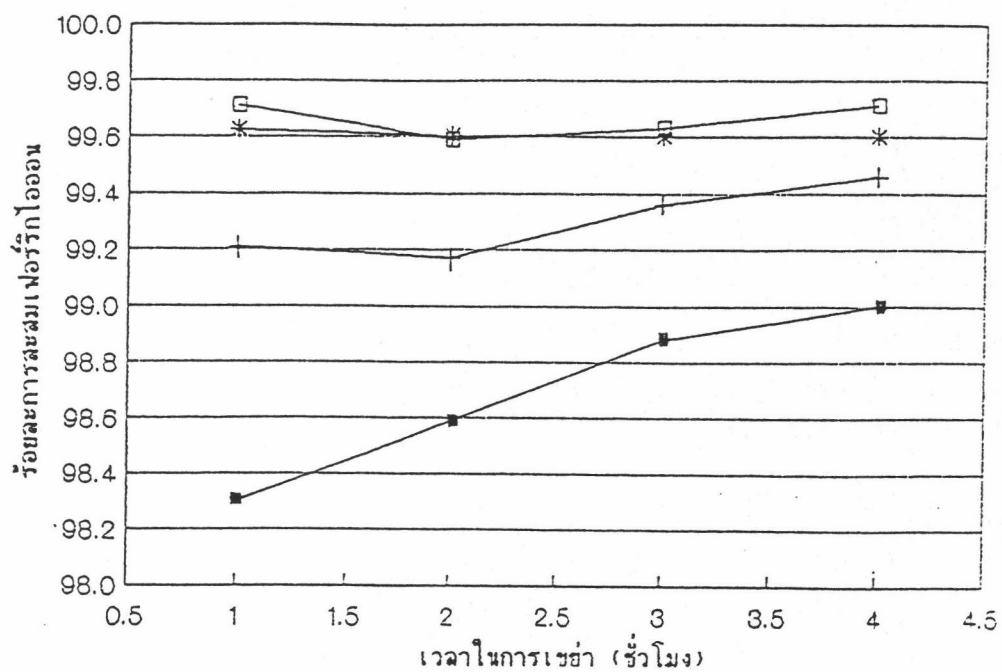
รูปแบบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไคตินหรือไคโตแซนกับเฟอร์ริกไอออนน่าจะเป็นรูปแบบเดียวกับการเกิด donor-acceptor compound ซึ่งเกิดจาก interaction ของโมเลกุลที่มีออร์บิทัลว่าง (orbital) เพื่อที่จะให้อิเล็กตรอนของอีกโมเลกุลมาเติมได้ (Constable, 1990) ในที่นี้พิจารณาว่าไคโตแซนเป็นผู้ให้อิเล็กตรอน (electron donor) ในขณะที่เฟอร์ริกไอออนเป็นผู้รับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ดังนั้นทำให้เกิดการใช้ lone pair electron ร่วมกันระหว่างไคโตแซนและเฟอร์ริกไอออน และในกรณีที่ไคโตแซนที่มีค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกต่างกันก็แสดงถึงการมีปริมาณหมู่อะมิโนอิสระต่างกัน จึงมีผลทำให้ค่าการสะสมเฟอร์ริกไอออนได้ต่างกัน โดยเมื่อค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกเพิ่มขึ้น ร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.15



ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก ($\times 10^{-3}$ โมลแอมโมเนียต่อกรัมไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์)

รูปที่ 5.15 ร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนบนไคโตแซนที่มีค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกต่างๆ ที่ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และที่อุณหภูมิห้อง

จากการที่เวลาในการเขย่าไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนนั้น เมื่อนำค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนมาเขียนกราฟที่เวลาในการเขย่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.16 พบว่าเมื่อเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้น ร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออนของทุกๆ ตัวอย่างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือคงที่ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าเวลาที่เลือกใช้ในการทดลองซึ่งเริ่มจาก 1 ชั่วโมง อาจเป็นเวลาที่ใกล้จุดสมดุลในการคีเลตเฟอร์ริกไอออนของไคตินและไคโตแซน หากทำการศึกษาในช่วงน้อยกว่า 1 ชั่วโมงอาจพบความแตกต่างของร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน ดังนั้นจึงทำการทดลองเขย่าที่เวลา 15, 30 และ 45 นาที ซึ่งผลการทดลองจะกล่าวในลำดับต่อไป



- ไคติน
- + ไคโตแซนเตรียมที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- * ไคโตแซนเตรียมที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ไคโตแซนเตรียมที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

รูปที่ 5.16 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่ต่อค่าร้อยละการสะสมเฟอริริกไอออนบนไคตินและไคโตแซน

เมื่อคำนวณในรูปของน้ำหนักของเฟอร์ริกไอออนต่อน้ำหนักตะกอนของตัวอย่าง (เปรียบเทียบน้ำหนักแห้ง) และวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบ Factorial completely randomized design ขนาด 4x4 พบว่าจะให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน กล่าวคือเฉพาะชนิดของตัวอย่างเท่านั้นที่มีผลต่อค่าน้ำหนักของเฟอร์ริกไอออนต่อน้ำหนักไคติน หรือไคโตแซน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.5 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของเฟอร์ริกไอออนต่อน้ำหนักตะกอนของตัวอย่างโดยใช้ Duncan's new multiple range test จะให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ไมโครกรัมของเฟอร์ริกไอออนต่อกรัมของไคตินและไคโตแซน ขนาด 100-200 เมช เขย่าไคตินและไคโตแซนในสารละลาย เฟอร์ริกไอออนความเข้มข้น 24.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	ไมโครกรัมเฟอร์ริกไอออน ต่อกรัมตัวอย่าง \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ไคติน	1244.53 \pm 1.11 ^a
ไคโตแซน 70 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง	1309.50 \pm 7.04 ^b
ไคโตแซน 80 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง	1307.37 \pm 1.54 ^b
ไคโตแซน 90 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง	1321.10 \pm 1.34 ^a

a, b, c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นว่า ไคโตแซนมีความสามารถในการคีเลต เพอร์ริกไอออนได้ดีกว่าไคติน และไคโตแซนที่เตรียมจากการขจัดหมู่อะซิติกที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะสะสมเพอร์ริกไอออนบน ตะกอนได้สูงที่สุดเท่ากับ 1321.10 ± 1.34 ไมโครกรัมต่อกรัมไคโตแซน เมื่อค่า ร้อยละการขจัดหมู่อะซิติกเพิ่มขึ้น น้ำหนักของเพอร์ริกไอออนบนตะกอนไคโตแซน จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับช่วงต้น

จากผลการทดลองการสะสมเพอร์ริกไอออนบนไคตินและไคโตแซน จะเห็นว่าไคตินและไคโตแซนมีความสามารถในการสะสมเพอร์ริกไอออนได้ดีมาก โดยสามารถสะสมได้เกือบทั้งหมด และถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติจะพบว่า ไคตินและไคโตแซนมีความสามารถในการสะสมเพอร์ริกไอออนแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาถึงด้านปริมาณ เช่น ร้อยละการสะสมเพอร์ริกไอออนบนไคโตแซนที่เตรียมที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายในเวลาการเขย่า 4 ชั่วโมง มีค่าร้อยละ 99.71 ± 0.06 ในขณะที่ร้อยละการสะสมเพอร์ริกไอออนบนไคตินภายในเวลาเดียวกันมีค่า 99.00 ± 0.35 (ตารางที่ 5.7) จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าสำหรับการ สะสมเพอร์ริกไอออนบนไคตินและไคโตแซน เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วไคตินก็ เป็นโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเพียงพอในการใช้สะสมเพอร์ริกไอออนและเหมาะที่จะ ใช้สะสมเพอร์ริกไอออนมากกว่าไคโตแซนเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย

ในการศึกษาการคีเลตเพอร์ริกไอออนบนไคตินและไคโตแซนภายใน เวลา 15, 30 และ 45 นาที โดยควบคุมปัจจัยอื่นๆ เช่นเดียวกับที่ศึกษาที่เวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง (สภาวะที่ใช้ทดลองแสดงดังตารางที่ 5.7) พบว่ามีค่า ร้อยละการสะสมเพอร์ริกไอออน ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ร้อยละการสะสมเฟอริกไอออนบนไคตินและไคโตแซนขนาด 100-200 เมช ปริมาณ 500 มิลลิกรัม ในสารละลายเฟอริกไอออนความเข้มข้น 24.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 ml. ภายในเวลาการเขย่า 15, 30 และ 45 นาที ที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาทีที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเขย่า (นาที)	ร้อยละการสะสมเฟอริกไอออน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ไคติน	15	98.23 _± 0.01
	30	98.23 _± 0.01
	45	98.65 _± 0.56
ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง ^ก	15	99.05 _± 0.01
	30	99.06 _± 0.01
	45	99.04 _± 0.01
ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง ^ข	15	99.39 _± 0.02
	30	99.39 _± 0.01
	45	99.39 _± 0.06
ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง ^ค	15	99.57 _± 0.02
	30	99.59 _± 0.03
	45	99.64 _± 0.02

ก = ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการขจัดหมู่อะซิติกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ข = ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการขจัดหมู่อะซิติกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ค = ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง คือ ไคโตแซนที่เตรียมจากการขจัดหมู่อะซิติกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Asymetric factorial

randomized design ขนาด 4x3 พบว่าให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับค่าร้อยละการสะสมเฟอริกไอออนที่เวลาในการเขย่า 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมงกล่าวคือเฉพาะชนิดของตัวอย่างเท่านั้นที่มีผลต่อค่าร้อยละการสะสมเฟอริกไอออนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในขณะที่เวลาในการเขย่าและอิทธิพลร่วมระหว่างเวลาที่ใช้ในการเขย่าและชนิดของตัวอย่างไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในตารางที่ ค.6 (ภาคผนวก ค) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการสะสมเฟอริกไอออนด้วยวิธี Duncan's new multiple range test จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.11 พบว่าโคโตแซนมีความสามารถในการสะสมเฟอริกไอออนได้สูงกว่าไคตินและโคโตแซนที่มีค่าปริมาณการขจัดหมู่อะซิติกเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการสะสมเฟอริกไอออนได้เพิ่มขึ้น จึงสรุปได้ว่าไคตินและโคโตแซนมีความสามารถในการดีเลตเฟอริกไอออนได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 15 นาที โดยสะสมเฟอริกไอออนได้สูงกว่าร้อยละ 98

ตารางที่ 5.11 ค่าร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) บนไคตินและไคโตแซน ภายในเวลาการแช่ 15, 30 และ 45 นาที

ตัวอย่าง	ปริมาณการขจัดหมู่อะซิติก		ร้อยละการสะสมเฟอร์ริกไอออน+ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$\times 10^{-3}$ mole NH_3 /gCH*	ร้อยละ	
ไคติน	—	—	98.37 \pm 0.24 ^d
ไคโตแซน 70°C 2 ชั่วโมง	3.33	65.77	99.05 \pm 0.01 ^c
ไคโตแซน 80°C 4 ชั่วโมง	3.66	72.29	99.34 \pm 0.003 ^b
ไคโตแซน 90°C 4 ชั่วโมง	4.08	80.58	99.60 \pm 0.04 ^a

a, b, c, d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* mole NH_3 /gCH คือ โมลแอมโมเนียต่อกรัมไคโตแซนไฮโดรคลอไรด์