

## บทที่ 2

### บททวนวรรณกรรม

#### ไคติน - ไคโตซาน

ไคติน<sup>(12)</sup> เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ.1811 และในราวปี ค.ศ. 1823 พอลิเมอร์ชนิดนี้ถูกเรียกว่าไคติน (Chitin) ซึ่งมาจากคำว่า “Chiton” ในภาษากรีกแปลว่าเกราะหุ้มไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองในโลกรองลงมาจากเซลลูโลส (cellulose) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยไคตินจะพบในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวก กุ้ง ปู ปลาหมึก ผนังเซลล์ของเห็ดรา และสาหร่ายบางสายพันธุ์ ในแต่ละปีอุตสาหกรรมอาหารทะเลจะทิ้งเปลือกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก เป็นจำนวนมากเป็นพันล้านตัน ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ดีในการผลิตไคตินนับเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาเพิ่มมูลค่ามหาศาลและเป็นการรักษาสภาพแวดล้อม ลดปริมาณขยะชีวภาพอันจะก่อให้เกิดมลภาวะต่อไป โดยที่ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ช้ามาก

วัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงที่สุดสำหรับไคติน<sup>(13)</sup> จากสัตว์คือ สัตว์ในกลุ่มแอนตาร์ดิครีต ซึ่งเป็นสัตว์จำพวกกุ้งชนิดหนึ่ง เป็นสัตว์ทะเลตัวเล็ก ๆ มีขนาดโตที่สุด คือ 6 เซนติเมตร และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์ทะเล คาดกันว่าปริมาณการสะสมของคริลที่มีอยู่ในแถบมหาสมุทรแอนตาร์ดิคตอนใต้มีประมาณ 100-400 ล้านตัน ระหว่างในปี 2523-2533 ประมาณกันว่า เรือประมงจับสัตว์พวกนี้ได้ถึง 375,000 ตัน คริลที่จับได้ส่วนใหญ่จะนำส่วนหางมาเป็นอาหารสำหรับมนุษย์และใช้เป็นอาหารในการเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนของคริลที่ทิ้งจะมีถึง 85% โดยน้ำหนักซึ่งก็คือโปรตีน และปริมาณของคริลที่ทิ้งนี้จะเป็นไคติน ซึ่ง 90% ของไคตินนี้สามารถนำกลับมาใช้ได้โดยเทคนิคการสกัดแบบธรรมดา

ส่วนของแกนปลาหมึกจะประกอบด้วยไคตินประมาณ 40% ซึ่งนับว่าเป็นอีกแหล่งหนึ่งของไคติน<sup>(14)</sup> ในแง่ของการผลิตแกนปลาหมึกเป็นกากเหลือของอุตสาหกรรมอาหารเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง ดังนั้น วัตถุดิบจึงมีราคาถูก ในกระบวนการผลิตก็จะใช้กรด-ด่างและสภาวะที่มีความรุนแรงน้อยกว่ากระบวนการผลิตไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้งและกระดองปู เนื่องจากแกนปลาหมึกมีหินปูน (calcium carbonate) และเม็ดสี (carotenoids) ที่ยากต่อการกำจัดน้อยกว่าเปลือกกุ้งและกระดองปู ดังนั้นไคติน-ไคโตซานที่ได้จากแกนปลาหมึก<sup>(15)</sup> จึงควรมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า

และมีคุณภาพที่ดีกว่าไคตินและไคโตซาน จากเปลือกกุ้งและกระดองปูในทางด้านโครงสร้างจะมีความแตกต่างในรูปของแบบผลึก (crystalline form) โดยไคตินจากเปลือกกุ้งและกระดองปูจะเป็นแบบอัลฟา ( $\alpha$ -form) คือมีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน (anti-parallel chain alignment) ส่วนไคตินจากแกนหมึกจะเป็นแบบบีต้า ( $\beta$ -form) คือมีการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน (parallel chain alignment) และด้วยเหตุนี้เองทำให้ไคติน-ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง กระดองปู มีสมบัติต่างจากไคติน-ไคโตซานจากแกนปลาหมึกเล็กน้อย โดยไคตินจากแกนหมึกจะมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีมากกว่าไคตินจากเปลือกกุ้งและกระดองปู ทำให้การผลิตไคโตซานและอนุพันธ์อื่น ๆ ง่ายขึ้น แต่ในทางกลับกันการเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุล (chain degradation) ก็สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายเช่นกัน ไคโตซานจากแกนหมึกสามารถดูดความชื้น คุณน้ำได้ดีกว่า เนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปอยู่ในส่วนของผลึกได้ง่ายกว่า นอกจากนี้สารละลายไคโตซานจากแกนหมึกจะมีความหนืดมากกว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งและกระดองปูที่มีความเข้มข้นเดียวกันจึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickener) ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทางการแพทย์ และอาหาร

สำหรับหอยสองฝา เปลือกของมันจะมีแร่ธาตุอยู่มาก ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ส่วนปูได้มีการทดลองสกัดเอาไคตินออก โดยใช้กระดองปูม้าและปูทะเลเช่นกัน ในอนาคตแหล่งผลิตไคติน อาจจะได้มาจากเทคโนโลยีชีวภาพ แทนที่จะเป็นพวกเปลือกที่ทิ้งแล้ว จากอุตสาหกรรมอาหารทะเล เพราะหากไคตินและไคโตซานมีความต้องการใช้ในปริมาณที่มากขึ้น ก็จะสามารถผลิตไคตินได้จากจุลินทรีย์โดยพัฒนาจุลินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการด้านพันธุวิศวกรรม ให้ผลิตโมเลกุลเหล่านี้ ซึ่งสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงจะสามารถผลิตไคตินที่มีคุณสมบัติตามต้องการได้ และได้ปริมาณที่แน่นอน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตได้จากเส้นใยของเชื้อรา และเชื้อราบางสปีชีส์ก็สามารถผลิตไคโตซานในปริมาณสูงถึง 14% สำหรับบางชนิดสามารถผลิตไคตินบริสุทธิ์ได้จากเส้นใยภายนอกเซลล์ และสามารถสกัดไคตินออกได้ง่าย ให้ผลผลิตไคตินถึง 80% แต่สำหรับเหล่านี้มีการเจริญเติบโตช้ามาก ซึ่งนักวิจัยหวังว่า เทคโนโลยีชีวภาพ จะช่วยให้สาหร่ายนี้เติบโตเร็วและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

สำหรับประเทศไทย<sup>(13)</sup> ในแต่ละปี ประเทศไทย สามารถจับกุ้งได้รวมมากกว่า 100,000 ตัน โดยประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณกุ้งที่จับได้ เป็นกุ้งน้ำเค็มหรือกุ้งทะเล ที่เหลือเป็นกุ้งน้ำจืด ดังนั้นเรามีเปลือกกุ้งเหลือทิ้งประมาณกว่า 50,000 ตัน ซึ่งปัจจุบันขายเป็นอาหารสัตว์ ส่วนกุ้งจากการเพาะเลี้ยง เช่น กุ้งกุลาดำ จากสถิติกรมประมง ในปี 2531 มีผลผลิต 5,300 ตัน ส่วนปริมาณไคตินที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ดูได้จากตารางที่ 2.1

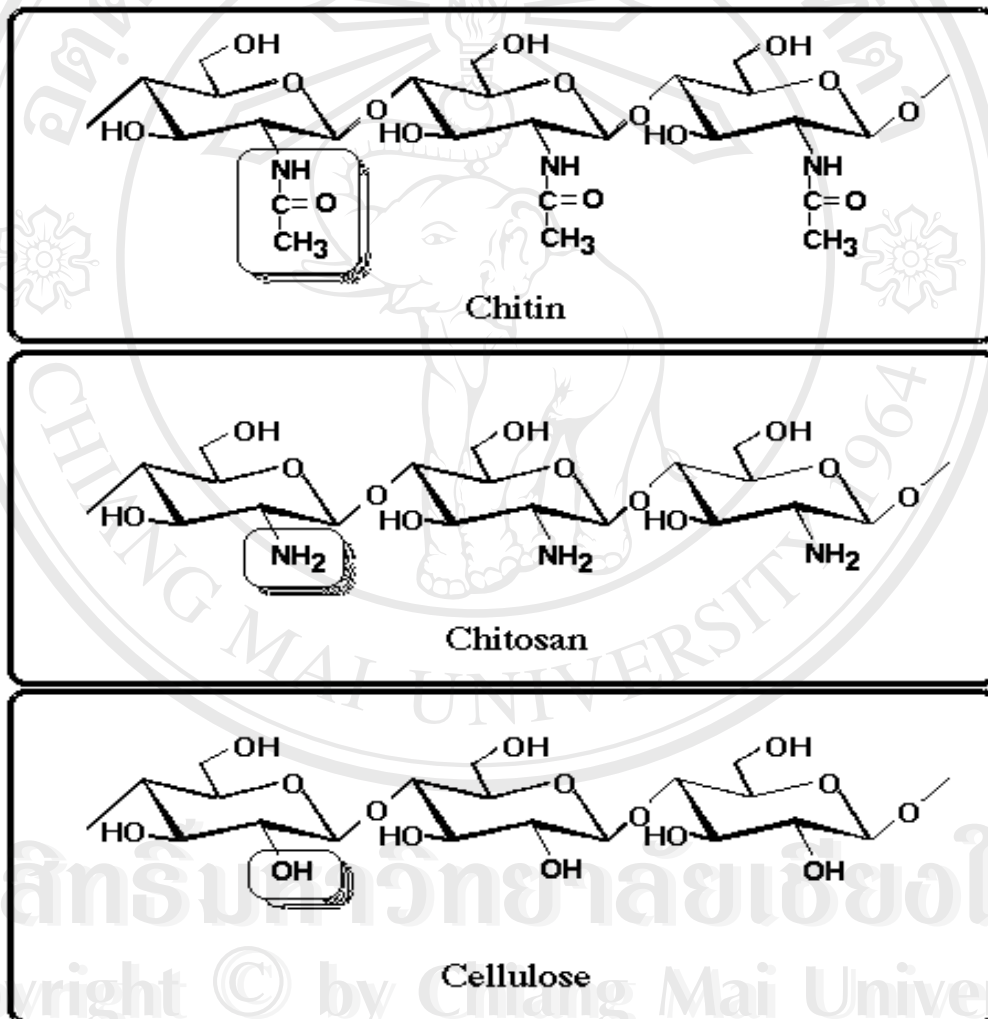
ตารางที่ 2.1 ปริมาณไคตินที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ <sup>(13)</sup>

Type	ไคติน Contnt (%)	Type	ไคติน Content (%)
<i>Crustacea</i>		<i>Insect (continued)</i>	
Cancer (crab)	72.1 <sup>c</sup>	May beetle	16 <sup>b</sup>
Carinus (crab)	0.4-3.3 <sup>a</sup>	Diptera (true fly)	54.8 <sup>c</sup>
	8.29 <sup>b</sup>	Pieris (sulfur butterfly)	64 <sup>c</sup>
	64.2 <sup>b</sup>	Grasshopper	2-4 <sup>a</sup>
Paralithodes (King crab)	35 <sup>b</sup>		20 <sup>c</sup>
Callinectes (blue crab)	14 <sup>a</sup>	Bombyx (silk worm)	44.2 <sup>c</sup>
Pleuroncodes (red crab)	1.3-1.8 <sup>b</sup>	Calleria (wax worm)	33.7 <sup>c</sup>
Crangon (shrimp)	5.8 <sup>b</sup>		
	69.1 <sup>c</sup>	<i>Molluscan Organs</i>	
Alaskan shrim	28 <sup>a</sup>	Clam shell	6.1 <sup>b</sup>
Nephrops (labster)	69.8 <sup>c</sup>	Oyster shell	3.6 <sup>a</sup>
	6.7 <sup>b</sup>	Squid, skeletal pen	41.0 <sup>c</sup>
Homarus (labster)	60.8-77.0 <sup>c</sup>		
	58.3 <sup>c</sup>	<i>Fungi</i>	
<i>Insects</i>		Aspergillus niger	42.0 <sup>a</sup>
Periplaneta (cockroach)	2.0 <sup>a</sup>	Penicillium notatum	18.5 <sup>a</sup>
Blatella (cockroach)	18.4 <sup>c</sup>	Penicillium chrysogenum	20.1 <sup>a</sup>
	10	Saccharomyces cerevisiae	2.9 <sup>a</sup>
	35 <sup>c</sup>	Mucor rouxii	44.5 <sup>a</sup>
Colcoptera (beetle)	5-15 <sup>b</sup>	Lactarius vellereus	19.0 <sup>a</sup>
	27-35 <sup>c</sup>		
Tenebrio (beetke)	2.1 <sup>a</sup> , 4.9 <sup>b</sup> , 31.3 <sup>c</sup>		

Note a= Wet body weight, b= body weight, c= Organic weight of cuticle, d= Total dry weight of cuticle, e= dry weight of the cell wall

### โครงสร้างเคมีของไคติน – ไคโตซาน<sup>(14)</sup>

ไคตินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ 1,4-N-acetyl-D-glucosamine จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพสายตรงขนาดใหญ่ (Linear macromolecular biopolymer) ที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส โดยสูตรโครงสร้างของไคตินต่างจากเซลลูโลสตรงที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นหมู่ อะซีทาไมด์ (NH-CO-CH<sub>3</sub>) แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ส่วนไคโตซานเป็นอนุพันธ์ (derivative) ของ ไคตินที่ได้จากการนำหมู่อะซีทิล (CO-CH<sub>3</sub>) ออกจากไคตินดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของไคติน,ไคโตซานและเซลลูโลส

ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (Non-electrolytic polymer)<sup>(16)</sup> ซึ่งทำให้ไม่สามารถละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ถ้าแยกเอาหมู่อะซีทิลออกมาได้สารที่ชื่อว่าไคโตซานที่ละลายในตัวทำละลายหลายชนิดได้ดี เพราะเมื่ออยู่ในสารละลายที่เป็นกรดไคโตซานจะมีประจุบวกบนหมู่อะมิโน สารไคตินธรรมชาติที่พบจะมีโครงสร้างต่างกันโดยสามารถจัดลักษณะของโครงสร้างไคตินในธรรมชาติซึ่งแบ่งออกได้ 3 ประเภท<sup>(17)</sup> คือ

1. อัลฟาไคติน ( $\alpha$ -chitin) เป็นแบบที่เส้นใยจัดเรียงตัวแบบกลับไปมา ซ้อนกัน เส้นใยเรียงตัวได้แน่นและมีความแข็งแรงสูงสุด
2. บีตาไคติน ( $\beta$ -chitin) เป็นแบบที่เส้นใยเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน เส้นใยเรียงตัวได้ไม่แน่นมาก
3. แกมมาไคติน ( $\gamma$ -chitin) เป็นลักษณะผสมของอัลฟาไคตินและบีตาไคติน เป็นแบบที่เส้นใยเรียงตัวไม่เป็นระเบียบไปในทิศทางเดียวกันบ้าง กลับทิศกันบ้าง

ไคโตซาน คือ ไคตินที่มีการดึงเอาหมู่อะซีทิล (deacetylation) ออกเกินร้อยละ 50 ขึ้นไปด้วยค่าเข้มข้นทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไปโดยหมู่อะซีทิล ( $-\text{NHCOCH}_3$ ) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งก็คือ D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) จะทำให้ได้ไคโตซานที่มีสมบัติการละลายได้ดีขึ้นในกรดอินทรีย์ เช่น กรด อะซีติก , กรด แล็กติก เป็นต้น

#### การละลาย (Solubility)<sup>(16)</sup>

ไคตินไม่ละลายในน้ำ, กรดเจือจาง, ค่าทั้งเจือจางและเข้มข้น, แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่น ๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดแร่เข้มข้น<sup>(18)</sup> เช่น กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) เข้มข้น กรดซัลฟูริก (กรดกำมะถัน) เข้มข้น กรดฟอสฟอริก (78%-97%) กรดฟอร์มิก (Anhydrous formic acid) และ N,N-Dimethylacetamide Lithium chloride (DMAc-LiCl) ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่าง ๆ เป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันอย่างหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน (หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะซี-ตามิโด)

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำ, ค่าและตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มี pH น้อยกว่า 6 กรดอะซีติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรด

ไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกันแต่ภายใต้การคนที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

สารละลายไคโตซานมีความเหนียว, ใส, มีพฤติกรรมการไหลแบบนอน-นิวโตเนียน (non-Newtonian) ในสารละลาย, หมู่อะมิโนของไคโตซานจะแตกตัว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกตัว ( $pK_a$ ) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของประจุของพอลิเมอร์โดย  $pK_a$  ของไคโตซานมีค่าอยู่ในช่วง 6.2 ถึง 6.8

#### ความร้อนในการกระตุ้นให้เกิดการสลายพันธะแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolytic heat of activation)

(16)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นปฏิกิริยาการสลายพันธะที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องกับโดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สายโซ่ของพอลิเมอร์ของไคติน มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเซลลูโลส คือ เป็นพันธะ glycosidic linkage แบบ  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) ดังนั้น Hydrolytic heat of activation ของไคตินมีค่าประมาณ 29 kcal

#### น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) (16)

ไคตินในธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า  $1 \times 10^6$  ขณะที่ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $1 \times 10^5$  ถึง  $1.2 \times 10^6$  ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการผลิต

#### Degree of deacetylation (16)

เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่า คือมีค่า degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่า degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

#### ความหนืด (Viscosity) (16)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความแรงของไอออน ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้ว ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์ จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรด

อะซีติกจะเพิ่มขึ้นเพื่อสารถละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารถละลายเพิ่มขึ้น

### Coagulating ability<sup>(16)</sup>

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอน (flocculant and coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน ลีซอมี และพอลิเมอร์อื่น จากการวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก เนยแข็งจากหางนม (cheese whey) พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นส่วนผลผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่าหมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซีตลในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มี degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดึงคือน้ำของไคโตซาน

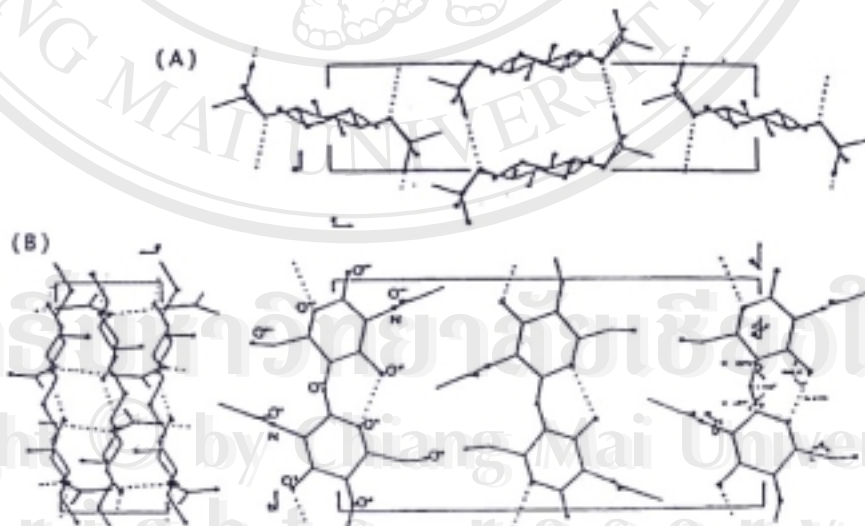
### Molecular conformation<sup>(16)</sup>

ไคตินมีโครงสร้างของผลึก (crystal structure) ที่แข็งแรงและมีระดับของความเป็นผลึก (degree of crystallinity) สูง สำหรับรูปแบบผลึกของไคตินมี 3 ลักษณะ คือ  $\alpha$ -chitin,  $\beta$ -chitin และ  $\gamma$ -chitin แต่ละลักษณะแตกต่างกันที่การเกิดระบบของผลึก (crystal system) และปัจจัยของการเกิดแลตติซผลึก (crystal lattice) ของหน่วยเซลล์ (unit cell) ภายในโครงสร้างผลึก ความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลในแลตติซผลึก สายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไคตินจะมีการเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนทับกัน (pleated sheet) ในแลตติซผลึกของหน่วยเซลล์ ซึ่งอาจเรียงตัวกันได้ 2 แบบ คือ แบบขนานที่มุ่งในทิศทางเดียวกัน (parallel pattern) และแบบที่โครงสร้างเรียงตัวกันแบบสวนทางกัน (anti-parallel pattern)  $\alpha$ -chitin มีโครงสร้างการเรียงตัวแบบสวนทางกัน พบในไคตินของเปลือกกุ้งและปู ส่วนไคตินที่พบในแกนปลาหมึกจะมีโครงสร้างที่เรียงตัวมุ่งไปทางเดียวกันเกิดเป็น  $\beta$ -chitin การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลแบบ  $\gamma$ -chitin นั้นเกิดจากโครงสร้างเรียงสลับกันระหว่างสองแบบที่กล่าวมาแล้ว

โดยธรรมชาติจะพบ  $\alpha$ -form ของไคตินมากกว่า  $\beta$ - และ  $\gamma$ -form ทั้งนี้เพราะมีการเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (intramolecular and intermolecular chain)

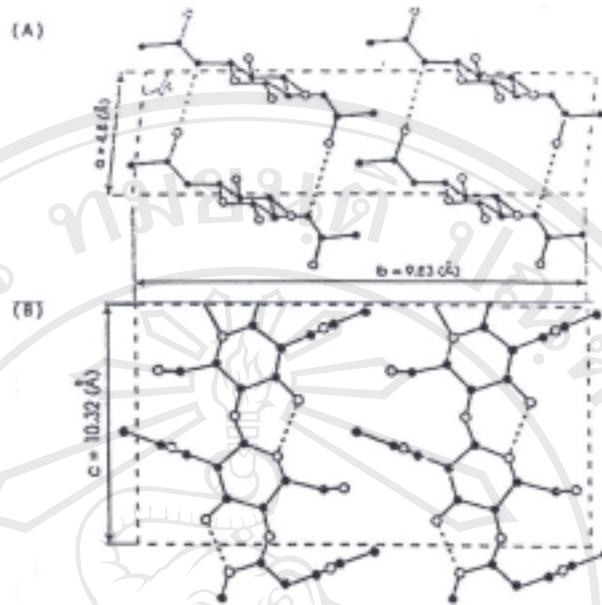
มากกว่าจึงทำให้มีเสถียรภาพทางเคมี (chemical stability) มากกว่าแบบอื่น  $\beta$ -chitin มีเสถียรภาพทางเคมีรองลงมาจาก  $\alpha$ -chitin เนื่องจากมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การมีเสถียรภาพที่น้อยทำให้มีโอกาสเปลี่ยนแปลงรูปแบบของโครงสร้าง  $\beta$ -form เป็น  $\alpha$ -form ในสารละลายกรดแก่ นอกจากนี้ยังมีโอกาสจับกับโมเลกุลของน้ำอย่างถาวร เป็นไคตินที่มีน้ำอยู่หนึ่งโมเลกุล (chitin monohydrate) ใต้อีกทางหนึ่ง โครงสร้างลักษณะผลึกของ  $\alpha$ -chitin และ  $\beta$ -chitin แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ประเภทประจุบวก (cationic polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายกรด, หมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตอน มาอยู่ในรูป  $-\text{NH}_3^+$  conformation ของไคโตซาน โมเลกุลในสารละลาย สามารถบ่งชี้โดยค่า Mark Houwink exponent (ค่า a) ถ้า a มีค่าประมาณ 0.5-0.8 และ 1.8 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์ขดตัวเป็นทรงกลม (sphere) มีลักษณะเป็นเกลียวแบบสุ่ม (random coil) และมีลักษณะเป็นแท่ง (rod) ตามลำดับสำหรับ conformation ของไคโตซาน โมเลกุลที่แตกต่างกันในสารละลายขึ้นอยู่กับ ionic strength, ค่า pH, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของยูเรีย, น้ำหนักโมเลกุล และ degree of deacetylation



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของ  $\alpha$ -chitin (A)-projection on ab plane (B)-projection on bc plane





รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของ  $\beta$ -chitin (A)-projection on ab plane (B)-projection on bc plane

### การเสื่อมสลาย (Degradation)<sup>(16)</sup>

ไคติน-ไคโตซาน ก็เหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็น โอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือ โอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (monomer) หรือ มอนอแซคคาไรด์ (monosaccharide)

โอลิโกเมอร์/โอลิโกแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-chitooligosaccharide และ chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนมอนอเมอร์/มอนอแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

### การย่อยสลายด้วยน้ำในกรด (Acid hydrolysis)<sup>(16)</sup>

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดจะเป็นแบบสุ่ม (random) ผลึกภัณฑ์ที่ได้คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่าง ๆ และมอนอเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด, เวลา, อุณหภูมิ, ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุลและ ชนิดของพอลิเมอร์ โดยไคตินจะสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

### การเสื่อมสลายโดยด่าง (Alkaline degradation)<sup>(16)</sup>

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Peeling reaction

### การเสื่อมสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง (Degradation by sonication)<sup>(16)</sup>

การเสื่อมสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรดมีผลให้ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว

### การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (Enzymic degradation)<sup>(16)</sup>

การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมี คือมีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมีเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายไคติน-ไคโตซาน ได้แก่

Chitinase (EC 3.2.1.14) สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคตินแบบสุ่ม (random) ตรงตามตำแหน่งพันธะ 1,4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide

Lysozyme (EC 3.2.1.17) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ chitinase

N-acetylglucosaminidase (EC 3.2.1.30) และ N-acylhexosaminidase (EC 3.2.1.52)

ทำหน้าที่ย่อยสลาย N-acetyl chitooligosaccharides เป็น N-acetyl-glucosamine โดยเริ่มจากปลายสายโซ่โมเลกุลด้านที่ไม่เกิดรีดิวซ์ (non-reducing end)

### การเสื่อมสลายโดยความร้อน (Thermal degradation)<sup>(16)</sup>

ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (dry heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่า Glass transition temperature ( $T_g$ ) ลดลง, ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะลดลง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง ไคโตซานจะไม่ละลายในกรดอะซิติก (0.2 M) / โซเดียมอะซิเตด (0.1 M)

สำหรับการอบแห้งแบบใช้น้ำอิ่มตัว (Saturated steam) ไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศา เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมिन้อยกว่าหรือเท่ากับ 120 องศา ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน

### วัตถุดิบ<sup>(19)</sup>

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า สารโคติน-ไลโคซานถูกสกัดได้จากเปลือกแข็งของสัตว์ทะเล เช่น กุ้ง ปู และหมีก เปลือกแข็งของสัตว์พวกนี้มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ โคติน ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่อยู่เป็นชั้นปะปนกับชั้นของเกลือแร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูน ( $\text{CaCO}_3$ ) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่แข็งแรงของเปลือกสัตว์ทะเล องค์ประกอบที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ รงควัตถุสีแดงจำพวกแคโรทีน ได้แก่ Astaxanthin และ Zeaxanthin เป็นต้น

เนื่องจากโคตินและไลโคซานเป็นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติ คุณภาพของวัตถุดิบจึงไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติที่ยากแก่การควบคุม อย่างไรก็ตาม มีสมบัติอย่างหนึ่งที่ได้สังเกตเห็นว่าแหล่งกำเนิดของวัตถุดิบมีผลต่อสมบัติของโคตินและไลโคซานที่ได้คือลักษณะโครงสร้างของผลึก (crystalline structure) โคตินที่ได้จากเปลือกกุ้งและกระดองปูจะมีโครงสร้างผลึกในรูปของอัลฟา ( $\alpha$ -form) ในขณะที่โครงสร้างผลึกของโคตินที่ได้จากแกนหมีกจะอยู่ในรูปของบีตา ( $\beta$ -form)

### กระบวนการผลิตโคติน-ไลโคซาน<sup>(20)</sup>

การผลิตโคตินและไลโคซานประกอบด้วยหลักการทำงานที่สำคัญ 3 ขั้นตอนคือ

1. การกำจัดโปรตีน (deproteination)
2. การกำจัดเกลือแร่ (demineralization)
3. การกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล (deacetylation) สำหรับการเตรียมไลโคซาน

โดยทั้งสามขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ

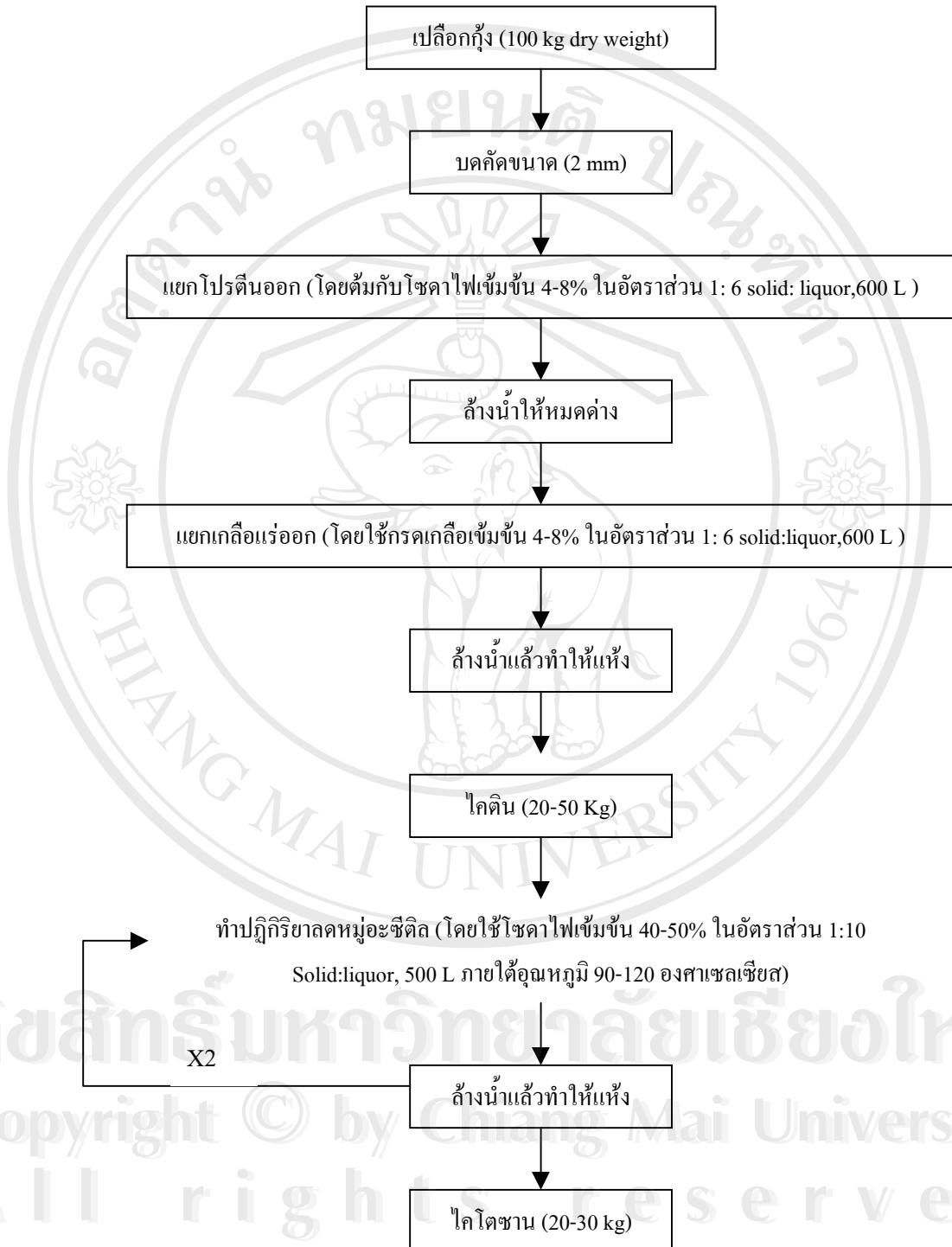
### กระบวนการทางเคมี<sup>(14)</sup>

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตโคตินและไลโคซาน จะใช้กระบวนการทางเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.4 – 2.6 ซึ่งเป็นการผลิตโคตินและไลโคซานจากเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนปลาหมีก ตามลำดับ

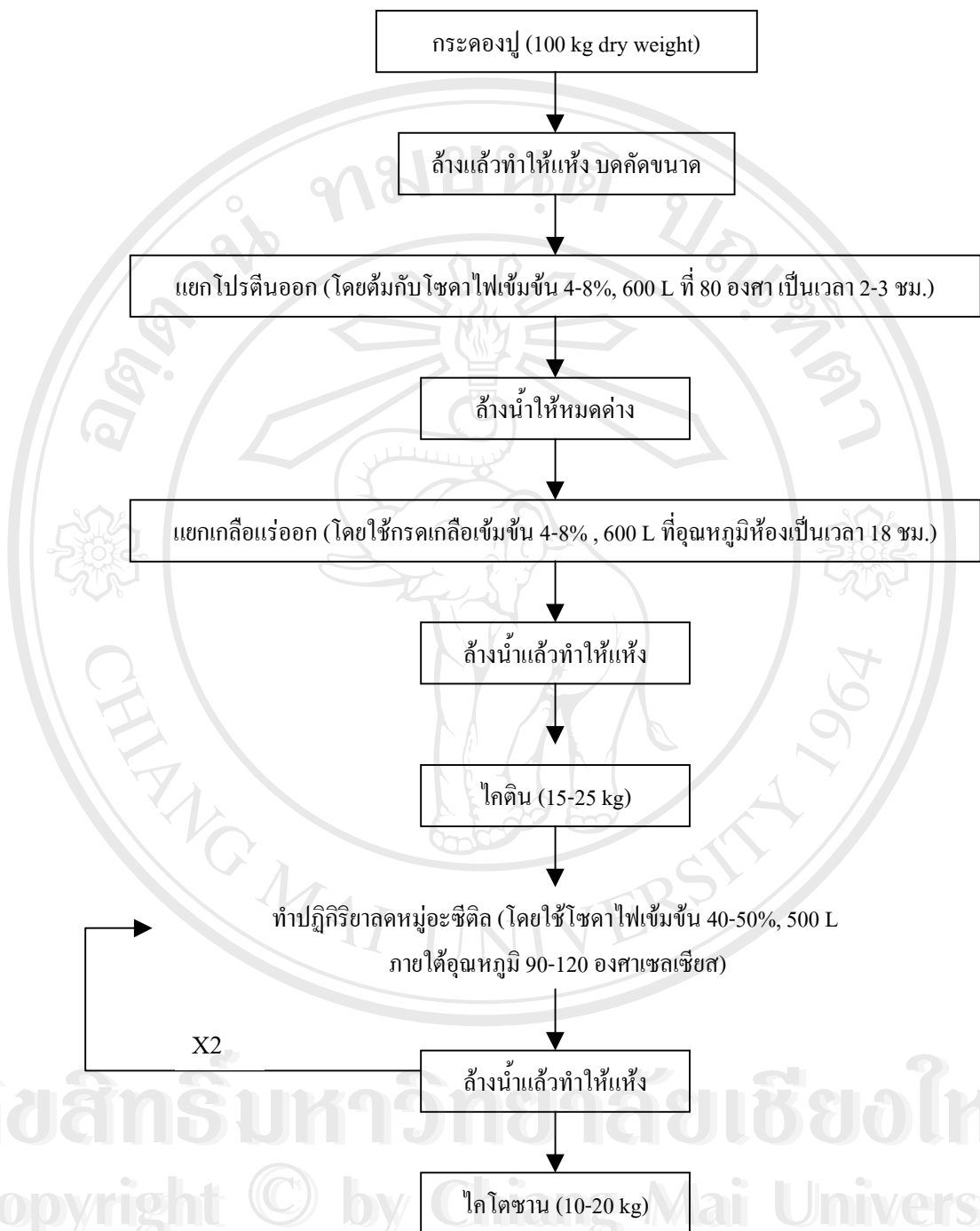
กระบวนการผลิตโดยย่อมีดังนี้ : วัตถุดิบที่ผ่านการบดให้มีขนาดเล็กจะเข้าสู่กระบวนการกำจัดโปรตีน โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้โซดาไฟ ( $\text{NaOH}$ ) ความเข้มข้น 3-5 % ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชม. ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกจากวัตถุดิบ พร้อมกันนี้ไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกขจัดออกด้วย

วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนมาแล้ว จะทำปฏิกิริยากับกรดในกระบวนการกำจัดเกลือแร่ ซึ่งส่วนมากจะใช้กรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น 3-5 % อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ เช่น หินปูน ( $\text{CaCO}_3$ ) ถูกกำจัดออกโดยเปลี่ยน เป็นเกลือแคลเซียมที่ละลายน้ำ ( $\text{CaCl}_2$ ) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ขั้นตอนนี้โปรตีนและรงควัตถุที่ละลายในกรดจะถูกกำจัดออกไปด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากกระบวนการนี้คือ ไคติน (chitin) นอกจากกรดเกลือแล้ว สารเคมีอื่น เช่น Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) สามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดเกลือแร่และบางส่วนของโปรตีน ถึงแม้ว่า EDTA จะมีราคาค่อนข้างแพงแต่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกทั้งยังช่วยลดการเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์

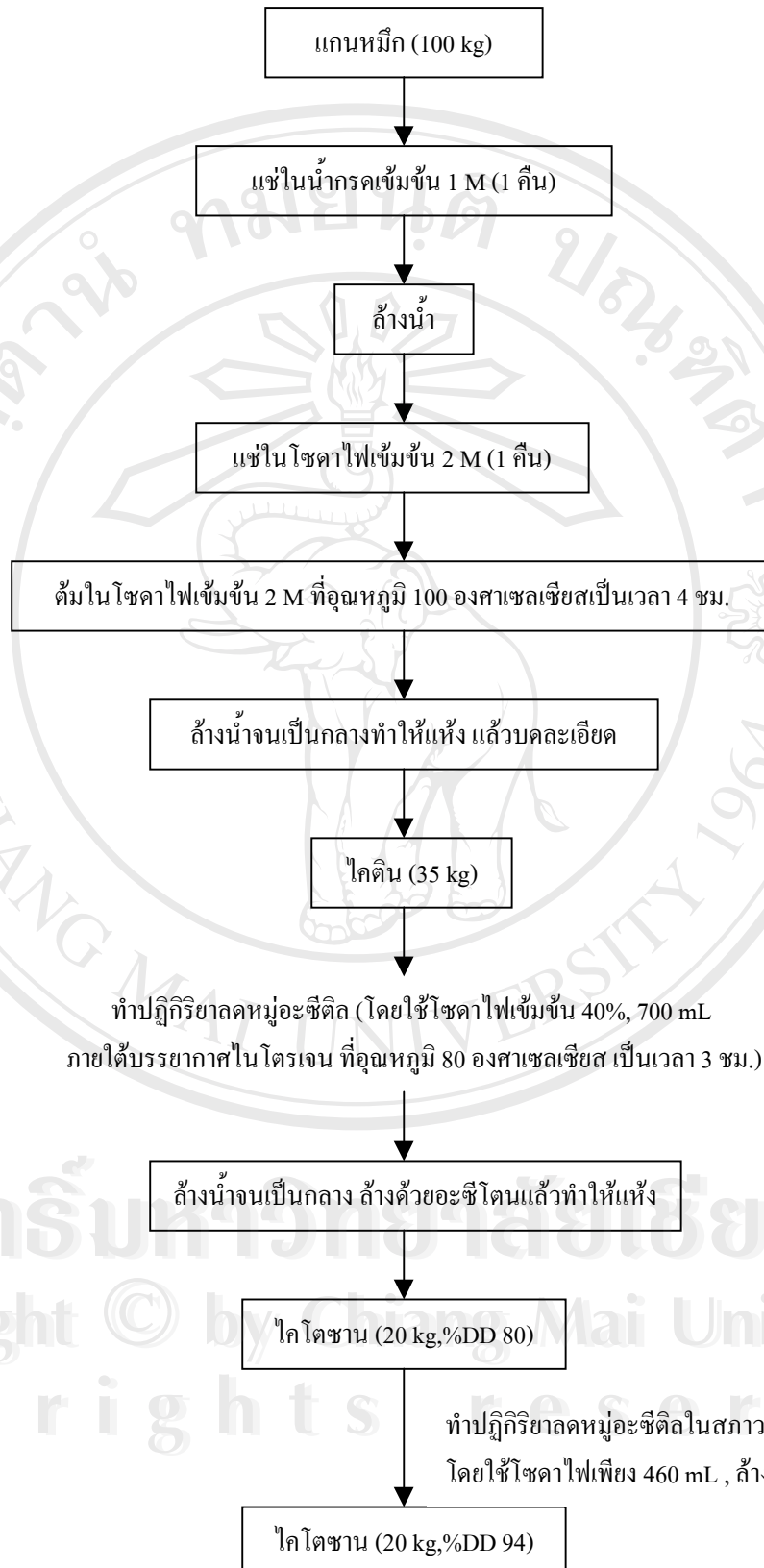
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากกระดองปู



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการผลิตไคตินและไคโตซานจากแกนหมึก

โดยทั่วไปแล้ว ยิ่งสภาวะที่ใช้ในการกำจัดเกลือแร่และโปรตีนไม่รุนแรงเท่าใด น้ำหนักโมเลกุลของไคตินและไคโตซานที่ได้ก็ยิ่งสูงเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามหากสภาวะที่ใช้อ่อนเกินไป จะมีผลทำให้การกำจัดเกลือแร่และโปรตีนในวัตถุดิบไม่สมบูรณ์ ยังคงมีเกลือแร่และโปรตีนเหลืออยู่ จากงานวิจัยพบว่าขั้นตอนในการกำจัดเกลือแร่และโปรตีนที่กล่าวมาข้างต้นนั้นทำให้เกิดการเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ชีวภาพ (พอลิแซ็กคาไรด์) น้อยมาก พิสูจน์ได้จากการทดลองของ Hackman ที่พบ 2-amino-2-deoxy-D-glucose เพียง 6.6 % เมื่อไคตินอยู่ในกรด HCl (2 N) อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชม. นอกจากนี้ยังพบว่า หมูอะซีติล จะหลุดออกเพียง 1.3 % เมื่ออยู่ในด่าง (1 N) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม.

กระบวนการกำจัดหรือลดหมูอะซีติล เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการลดหรือกำจัดหมูอะซีติล ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) ที่มีอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของไคติน เพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน ซึ่งเป็นการเพิ่มหมูอะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) บนสายโซ่โมเลกุลของไคติน หมูอะมิโนนี้มีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย แล้วมีสมบัติเป็นประจุบวก ซึ่งช่วยให้การละลายดีขึ้น ส่วนใหญ่เมื่อหมูอะซีติลถูกกำจัดไปมากกว่า 60 % ขึ้นไป ผลผลิตที่ไคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซีติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และกรดแลคติก ( $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ ) เป็นต้น การลดหมูอะซีติลทำได้โดยใช้ด่างที่ความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 40 % ขึ้นไป โดยสามารถทำภายใต้ 2 ปฏิริยาหลักคือ

1) ภายใต้ปฏิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous reaction) ไคตินจะอยู่ในรูปของ alkali chitin แล้วจะถูกเปลี่ยนเป็น ไคโตซาน ภายใต้สภาวะ 50 % NaOH ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-6 วัน ปฏิริยา deacetylation ภายใต้สภาวะนี้ จะเกิดแบบสุ่มทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม (random-type copolymer) ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine

2) ภายใต้ปฏิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous reaction) เป็นสภาวะที่ใช้กันทั่วไป (40-50 % NaOH ที่อุณหภูมิ 90-130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชม.) ปฏิริยา deacetylation ภายใต้สภาวะดังกล่าว จะชอบเกิดในส่วนของ amorphous region ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นโคพอลิเมอร์แบบกลุ่ม (block-type copolymer)

ปฏิริยา deacetylation ที่ทำให้ได้ Degree of Deacetylation 80 % ขึ้นไป นั้นทำได้ยากในขั้นตอนเดียว โดยเฉพาะปฏิริยาแบบไม่เป็นเนื้อเดียว ซึ่งขนาดของวัตถุดิบจะมีผลต่อความสามารถในการแทรกตัวเข้าทำปฏิริยา (accessability) และมีผลต่อเนื่องถึงสมบัติของไคโตซานที่ได้ นอกจากนี้ยังต้องใช้น้ำหรือสารละลายอื่นเพิ่มเติม เช่น การล้างด้วยน้ำหรือการละลาย แล้วตกตะกอน ก่อนนำกลับมา deacetylation อีกครั้ง ส่วนการลดการเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในปฏิริยา deacetylation สามารถทำภายใต้สภาวะก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) และอาร์กอน (Ar) หรือโดยการเติม oxygen



scavenger เช่น thiophenol หรือเติม reducing agent เช่น  $\text{NaBH}_4$  เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา end-peeling ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในค้างเข้มข้น

กระบวนการฟอกสี (decolouration) เป็นกระบวนการที่ใช้ในกรณีที่โคโคซานที่ได้ยังคงมีรงควัตถุเหลืออยู่ หลักการของกระบวนการนี้ก็เช่นเดียวกับการฟอกสีในสิ่งทอ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) หรือโซเดียมเปอร์คลอเรต ( $\text{NaOCl}$ ) ซึ่งสารฟอกสีเหล่านี้ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง) ดังนั้นกระบวนการฟอกสีที่ดีที่สุดควรจะกระทำในขั้นตอนต้น ๆ ของกระบวนการผลิต

#### กระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ<sup>(14)</sup>

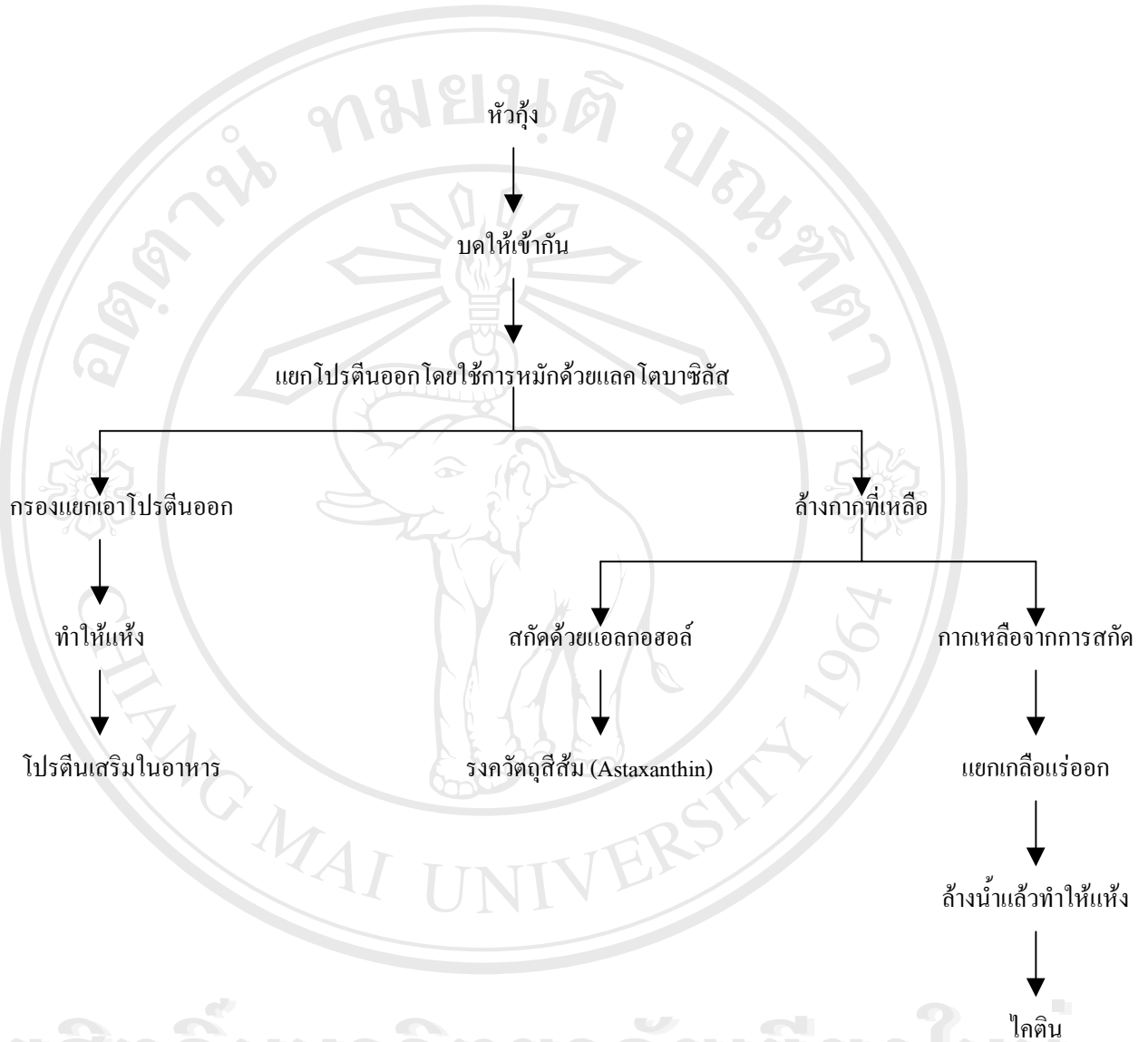
การผลิตโคโคซานและโคโคซานโดยกระบวนการทางเคมีต้องสิ้นเปลืองพลังงานมาก ก่อให้เกิดสารละลายค้างเข้มข้นจำนวนมากที่เป็นอันตรายต่อสภาพสิ่งแวดล้อม และยากที่จะแยกเอา by-products เช่น สารสีแดงจำพวก carotene (astaxanthin) โปรตีน และสารอนินทรีย์อื่น ๆ ออกมา ในอนาคต กระบวนการผลิตโคโคซานและโคโคซานมีแนวโน้มที่จะใช้วิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งจะสามารถควบคุมกระบวนการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่รุนแรงได้ กระบวนการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

- 1) การกำจัดโปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต เปลือกกุ้งและกระดองปูจะถูกหมักกับแบคทีเรีย ที่มีเอนไซม์โปรตีเอส (protease) ทำหน้าที่ย่อยโปรตีนและให้กรดแลคติกเป็นผลพลอยได้ใน การสลายแคลเซียมคาร์บอเนต ในเวลาเดียวกัน
- 2) การลดหรือกำจัดหมู่อะซิติลของโคโคซานในปฏิกิริยา deacetylation โดยใช้เอนไซม์ chitin-N-deacetylase (EC 3.5.1.41)

นอกจากกระบวนการผลิตทางชีวภาพแล้ว ยังมีการศึกษาในการผลิตโคโคซาน / โคโคซานโดยตรงจากจุลินทรีย์ อาทิเช่น ผลิตโคโคซานจาก *Aspergillus niger* และโคโคซานจากการเลี้ยง *Zygomycete* มีรายงานว่า โคโคซาน / โคโคซานที่ได้นี้มีโครงสร้างทางเคมีที่แน่นอนกว่า

สำหรับในประเทศไทย มีกลุ่มวิจัยจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.) กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพแห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ได้ร่วมกันพัฒนาการผลิตโคโคซานโดยใช้จุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) เพื่อแยกเอาโปรตีนออกแทนการใช้ค้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.7

โปรตีนและรงควัตถุสีแดงที่แยกได้สามารถนำมาเป็นส่วนผสมเสริมในอาหารสัตว์หลายชนิด นอกจากนี้ยังสามารถลดการใช้กรดในการแยกเกลือแร่ได้มากกว่า 30 %



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการใช้จุลินทรีย์แลคโตบาซิลัสในการผลิตไคดิน

All rights reserved

### การนำไคติน – ไคโตซานไปใช้ประโยชน์<sup>(19)</sup>

ในระยะสองทศวรรษที่ผ่านมาได้มีผลิตภัณฑ์ใหม่ๆที่เกิดจากพอลิเมอร์ชีวภาพออกมาอย่างแพร่หลาย ทั้งในและนอกประเทศ โดยปกติแล้วไคตินและไคโตซานมีสมบัติคล้ายคลึงกัน แต่การนำไคตินไปใช้ประโยชน์นั้นมีน้อยมากเนื่องมาจากข้อจำกัดในตัวมันเอง คือไคตินไม่สามารถละลายในตัวทำละลายต่างๆได้เพราะมีโครงสร้างที่เป็นผลึกแม้ว่าจะมีนักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองหากระบวนการของตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการละลายได้แล้วก็ตาม แต่ตัวทำละลายเหล่านั้นก็ยังไม่สามารถนำมาใช้เชิงพาณิชย์ ดังนั้นความสนใจที่จะนำไคตินไปใช้ประโยชน์จึงมีน้อยมาก เมื่อเทียบกับไคโตซานที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นกรดเจือจาง ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไคโตซานจึงมีเป็นจำนวนมาก

ไคติน-ไคโตซานเป็นสารที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัว คือเป็นสารธรรมชาติ เป็นวัสดุทางชีวภาพ (biomaterials) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) ดังนั้นจึงปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ และไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น เจล เม็ด เส้นใย และคอลลอยด์ ไคโตซานมีหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) และหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารอนุพันธ์ (derivatives) ได้มากมาย ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยและนำไคติน-ไคโตซานไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

#### 1. การบำบัดน้ำ (Water Treatment)<sup>(21)</sup>

ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้กลายเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญของโลกที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมโดยตรง และจำเป็นต้องให้ความสนใจและให้การพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขึ้น ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการกำจัดน้ำเสีย เพื่อแยกโลหะหนัก และโลหะมีพิษ เนื่องจากไคโตซานสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะหลายชนิด เช่น ทองแดง แมกนีเซียม เงิน แคลเซียม โปรท ตะกั่ว นิเกิล และ โครเมียม เป็นต้น ความสามารถในการดูดซับไอออนประเภทโลหะของไคโตซานขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เวลาในการดูดซับ ขนาดหรือพื้นที่ผิวของไคโตซาน ความเข้มข้นของไอออนเริ่มต้น และคุณภาพของ

ไคโตซาน เป็นต้น

นอกจากนี้ไคโตซานยังเป็นตัวตกตะกอนและตัวสร้างตะกอนที่ดี เนื่องจากประกอบด้วยหมู่ะมิโน (ในรูปประจุบวก) จำนวนมากบนสายพอลิเมอร์ที่สามารถจับกับสารที่มีประจุลบ<sup>(22)</sup> เช่น โปรตีน พอลิเมอร์ที่มีประจุลบ กรดนิวคลีอิก และสีย้อม (dye) ทำให้เกิดการตกตะกอนซึ่งเป็นวิธีบำบัดน้ำให้ใสขึ้น สีย้อมที่ละลายอยู่ในน้ำเสียของโรงงานสิ่งทอและฟอกย้อมก่อให้เกิดปัญหากับ

สิ่งแวดล้อมเช่นกัน หากถูกปล่อยโดยปราศจากการบำบัดเนื่องจากสีเหล่านี้ยากต่อการย่อยสลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวก hydrolysed reactive dyes และพวก acid dyes ซึ่งไม่สามารถถูกดูดซับด้วย activated sludge ได้หมด กระบวนการดูดซับสีของโคลโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น interaction ระหว่างสีและตัวดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ขนาด อุณหภูมิ เวลาและความเป็นกรด - ด่าง ตัวดูดซับโดยทั่วไปจะมี ionic interaction หรือมีโครงสร้างที่มีรูพรุนมาก เช่น พวก activated carbon เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับ แต่เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่โดดเด่น โคลโตซานจึงมีความสามารถดูดซับสีได้หลายประเภท รวมทั้ง disperse, direct, reactive, acid, vat, sulphur และ naphthol ส่วน basic dyes เป็นสีประเภทเดียวกับที่โคลโตซานมีความสามารถในการดูดซับต่ำ เว้นแต่จะได้รับการปรับปรุงโครงสร้างเป็นอนุพันธ์อื่นที่เหมาะสม

โคลโตซานได้ถูกวิจัยและพัฒนาในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับสี<sup>(23)</sup> (ดังแสดงในตารางที่ 2.2) และไอออนของโลหะต่าง ๆ จากน้ำเสีย หลังจากขั้นตอนการดูดซับแล้ว สีและโลหะที่ถูกดูดซับเหล่านั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยรูปแบบของโคลโตซานในกระบวนการกำจัดน้ำเสีย ดังเช่น การผสมของโคลโตซานเข้ากับเส้นใยเซลลูโลส (chitosan-cellulose fibre) มีประสิทธิภาพในการดูดซับ reactive dye ได้ถึง 264 mg/g และ acid dye 421 mg/g ซึ่งดีกว่าตัวดูดซับที่ทำจากถ่านกะลามะพร้าว (80 mg/g) Chitin-acrylonitrile graft copolymer และโคลโตซาน อะซีเตด ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของโคลโตซานที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อนำโปรตีนจากน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ความสามารถในการจับ (chelating ability) ของโคลโตซานได้รับการพิสูจน์แล้วว่าดีกว่าสารจำพวก bark, activated sewage sludge และ poly amino styrene ความสามารถนี้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นโดยการดัดแปรให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับพอลิเมอร์อื่น เช่น สารประกอบเชิงซ้อนโคลโตซาน-กลูแคน (chitosan-glucan complex) การ cross-linking เช่น cross-linked glycine chitosan ซึ่งสามารถจับทองแดง (copper) ได้สูงขึ้น 22 เท่า เมื่อเทียบกับโคลโตซานเอง และสูงกว่า 4 เท่าเมื่อเทียบกับสารประกอบเชิงซ้อนโคลโตซาน-กลูแคน นอกจากนี้โคลโตซานยังใช้เป็นตัวดูดซับในการแยกสารกัมมันตรังสีจากน้ำเสีย และดักจับยูเรเนียม

ตารางที่ 2.2 สีที่สามารถถูกดูดซับด้วยโคลโตซาน

C.I. Number	Commercial Name	Chemical Class
Acid Blue 193	LanasyN Navy S-DNL(S)	1:2Chromium complex of monoazo
Acid Blue 40	Nylosan Blue E-2GL(S)	Anthraquinone
Direct Yellow 44	Solophenyl Yellow 5GL(CG Y)	Diazo
Direct Blue 78	Solophenyl Blue 4GL(CG Y)	Triazo

## 2. การเกษตร<sup>(14)</sup>

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เป็นแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ของโลกแห่งหนึ่ง อีกทั้งรายได้หลักของประเทศก็มาจากผลผลิตทางการเกษตร ในปัจจุบันด้วยวิทยาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่ มีส่วนส่งเสริมเพิ่มพูนมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร แต่การใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชก็มีปริมาณมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อตัวเกษตรกร ผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม แนวโน้มของเทคโนโลยีการเกษตรในอนาคตจะมุ่งเน้นการเกษตรอินทรีย์ ไคติน-ไคโตซานก็เป็นสารธรรมชาติอีกตัวหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ในด้านนี้ได้อย่างมากมาย

ไคโตซานเป็นสารปลอดพิษ ที่ไม่ทำให้เกิดการแพ้ไม่ไวไฟและไม่มีความเป็นพิษต่อพืช นอกจากนี้ไคโตซานยังถูกพบว่าเป็นสารเคลือบป้องกันการดูดซึมหุ้ดร้อนของสารเคมี (incrustating agent) ที่ดีเทียบเท่ากับสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบัน ไคโตซานได้ถูกทดลองใช้เป็นสารเคลือบเพื่อป้องกันการดูดซึมหุ้ดของเมล็ดพันธุ์หัวหอมมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นแข็งแรง ยึดเกาะบนพื้นผิวเมล็ดได้ดี ทำให้อัตราการงอกสูงขึ้น จำนวนต้นที่ได้รับ ความเสียหายจากแมลงน้อยลง ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รูปแบบแผ่นฟิล์มขึ้นอยู่กับชนิดของไคโตซานและจุดประสงค์การใช้งานซึ่งมีทั้งแบบสามารถละลายน้ำได้ ละลายน้ำได้บางส่วนและไม่ละลายน้ำ

## 3. ด้านอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

### 3.1 อาหาร

#### 3.1.1 อาหารเสริม<sup>(14)</sup>

อาหารเสริมลดความอ้วนชนิดที่มีอายุเก่าแก่คือค้ำบรพท์ที่สุดแล้วมีความปลอดภัยใช้ได้จนถึงปัจจุบันที่สำคัญกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มไฟเบอร์หรือเส้นใยอาหาร เส้นใยอาหารแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือเส้นใยอาหารจากพืช และเส้นใยอาหารจากสัตว์ ทั้งสองอย่างนั้นมีบทบาทสำคัญในการทำงานของลำไส้ รวมทั้งการช่วยจับไขมันและคอเลสเตอรอล (cholesterol) ในอาหาร ทำให้การดูดซึมคอเลสเตอรอลเข้าสู่ร่างกายได้น้อยลง จึงช่วยรักษาระดับไขมันในเลือด และยังช่วยป้องกันหรือลดความเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจอีกด้วย ไคโตซานเป็นเส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์จากสัตว์ เส้นใยอาหารหรือไฟเบอร์เป็นสารพอลิเมอร์ไฮดรอกซิลชนิดหนึ่งที่ไม่รสหวาน ไม่ละลายน้ำ ไม่ย่อยในกระเพาะอาหารของคน ไม่ให้พลังงานหรือสารอาหารแก่ร่างกาย แต่มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย ช่วยลดอัตราการเสี่ยงต่อโรกระบบทางเดินอาหาร เช่น มะเร็งลำไส้ ท้องผูก ริดสีดวงทวาร โรคหัวใจ โรคอ้วน ไขมันอุดตันเส้นเลือด และเป็นที่ยูจกักันดีโดยล่าสุดนี้มีการนำไคโตซานมาใช้เป็นเม็ดให้รับประทานเพื่อหวังให้มันเข้าไปดูดซับไขมันที่เรารับประทานเข้าไป และนำพาออกไปจากร่าง

ภายใต้การขับถ่ายปกติประจำวัน โดยไขมันไม่ถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกาย แต่ก็ไม่ใช่ว่าการรับประทานโคโคซานจะทำให้ผู้บริโภคลดภัยจากไขมันทั้งหมด ทั้งนี้เพราะอาหารบางอย่างอาจมีไขมันสูงมากกว่า 20 กรัม หากรับประทานโคโคซานเข้าไปเพียง 1-2 กรัม ก็จะเข้าไปจะช่วยลดการดูดซึมของไขมันไปได้ 25-50 % แต่ไม่ใช่ทั้งหมด ยกเว้นจะรับประทานอาหารที่มีไขมันไม่สูงมากนักแล้วเสริมด้วย โคโคซานก็อาจจะช่วยลดไขมันไปได้มาก ไขมันในเลือดก็น้อยลง ทั้งยังช่วยลดการสะสมของไขมันส่วนเกินอีกด้วย และถ้าออกกำลังกายใช้แรงงาน ไขมันที่สะสมก็จะถูกสลายเป็นพลังงาน

### 3.1.2 สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobials) <sup>(16)</sup>

โคโคซาน-โคโคซานถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเช่นจำพวกเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โคโคซานสามารถละลายและมีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดีกว่าโคโคซาน เนื่องจากประจุบวกของหมู่อะมิโนตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของ glucosamine (หน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของโคโคซาน) เมื่อ pH ต่ำกว่า 6 กลไกที่แท้จริงในการยับยั้งจุลินทรีย์ของโคโคซาน – โคโคซาน และอนุพันธ์ยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัด อย่างไรก็ตามมีการเสนอแนะกลไกต่าง ๆ ที่เป็นไปได้มากมาย เช่น การที่โคโคซานเป็น โมเลกุลที่มีประจุบวกซึ่งสามารถเกิด interaction กับเซลล์เมมเบรน (cell membrane) ของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ หรือการที่โคโคซานเป็น chelating agent ซึ่งสามารถเลือกจับโลหะแมกนีเซียมในปริมาณน้อย ๆ ได้ ทำให้เกิดการยับยั้งการผลิิตสารพิษ (toxin) และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ตารางที่ 2.3 เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่โคโคซานมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโต

แบคทีเรีย		รา
Gram positive	Gram negative	
- <i>Staphylococcus aureus</i>	- <i>Escherichia coli</i>	- <i>Botrytis cinerea</i>
- <i>Listeria monocytogenes</i>	- <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	- <i>Rhizopus stolonifer</i>
- <i>Bacillus cereus</i>	- <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	- <i>Aspergillus niger</i>
	- <i>Shigella dysenteriae</i>	- <i>Aspergillus parasiticus</i>
	- <i>Vibrio cholerae</i>	
	- <i>Aeromonas hydrophila</i> YMI	
	- <i>Aeromonas hydrophila</i> CCRC 13881	
	- <i>Salmonella typhimurium</i>	

### 3.1.3 ฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film)<sup>(16)</sup>

แผ่นฟิล์มถูกใช้ในด้านอาหารเพื่อยืดเวลาการเน่าเสียและรักษาคุณภาพของอาหารสด อาหารแช่แข็ง พลาสติกฟิล์มที่ใช้กันในปัจจุบันคือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีข้อเสียคือ ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียเร็ว เนื่องจากการกักเก็บของก๊าซออกซิเจน และการควบแน่นของน้ำเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในขณะเก็บรักษา ซึ่งสภาวะเหล่านี้ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดี แผ่นฟิล์มไคโตซานสามารถยืดอายุอาหารได้ดีกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมการถ่ายเทความชื้น ระหว่างอาหารและสภาวะแวดล้อมภายนอก ควบคุมอัตราการหายใจ ควบคุมอุณหภูมิได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำไคโตซานมาเคลือบผัก ผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม ลูกพีท ลูกแพร์ กีวี สตอเบอร์รี่ มะเขือเทศ แดงกวาง มะนาว พริกหยวก เป็นต้น

### 3.2 เครื่องสำอาง<sup>(16)</sup>

ไคโตซานถูกใช้เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกในเครื่องสำอาง รวมทั้งสบู่ ยาสระผม และครีมบำรุงผิว ซึ่งจากการวิจัยพบว่าไคโตซานเป็นตัวให้ความชุ่มชื้นและสามารถติดผิวได้ดี และราคาถูกกว่า hyaluronic acid โดยไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ สามารถทำหน้าที่เป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบบนผิวหนัง ช่วยลดการระเหยของน้ำบนผิวหนัง เพิ่มความสามารถในการจับตัวของน้ำ (water binding capacity) ทำให้ผิวหนังกระชับขึ้น ไคโตซานยังผสมอยู่ในผลิตภัณฑ์ป้องกันแสงแดด เพื่อช่วยเป็นตัวกันรังสีให้กับผิวหนังอีกชั้นหนึ่งด้วยผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีไคโตซานผสมอยู่ได้มีการวางจำหน่ายแล้วโดยบริษัทเวลดา ในประเทศเยอรมัน และญี่ปุ่น

## 4. การจำแนกประเภทของสารแต่งสี<sup>(8)</sup>

สีที่ได้รับการรับรองให้ใช้ได้ในระดับสากล (Certified colors) แบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. FD&C เป็นสีที่รองรับและอนุญาตให้ใช้ได้ ในอาหาร ยาและเครื่องสำอาง
2. D&C เป็นสีที่อนุญาตให้ใช้ได้ ในยาและเครื่องสำอาง
3. External D&C เป็นสีที่อนุญาตให้ใช้ในยาและเครื่องสำอาง ที่ใช้เฉพาะส่วนภายนอกร่างกาย แต่ห้ามใช้กับริมฝีปาก หรือพื้นผิวของร่างกายที่ปกคลุมด้วยเยื่อเมือก

### 4.1 การจำแนกประเภทของสารแต่งสีตามคุณสมบัติการละลาย

1. Dyes<sup>(2)</sup> คือ สีที่ละลายในน้ำหรือน้ำมัน

- สีที่ละลายในน้ำได้ยังสามารถละลายได้ในกลีเซอริน น้ำมันพืช แอลกอฮอล์และไกลคอล

- สีที่ละลายได้ในน้ำมัน คือ สีที่ละลายได้ในน้ำมันแร่ น้ำมันพืช กรดไขมันและไขมัน

2. Pigments หรือ Lakes<sup>(2)</sup> คือ สีที่ไม่ละลายน้ำและน้ำมัน

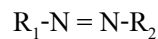
- Pigments คือ สารเคมีที่มีสีหรือมีสีอื่น ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดใด

- Lakes คือ เกือบของแคลเซียมหรืออะลูมิเนียมของสี ซึ่งได้จากการดูดซับสีที่ละลายอยู่ในสารละลายไว้บนพื้นผิวอนุภาค

#### 4.2 การจำแนกประเภทสารแต่งสีตามโครงสร้างทางเคมี แบ่งได้ 8 ประเภท<sup>(24)</sup>

สีที่รองรับให้ใช้ในอาหารและยา แบ่งออกเป็น 8 ประเภท ดังนี้

1. สีอะโซ เป็นประเภทสีที่ใหญ่ที่สุดเกือบ 90% ของสีอนุญาตให้ใช้ได้ สูตรโดยทั่วไปของสีอะโซ คือ



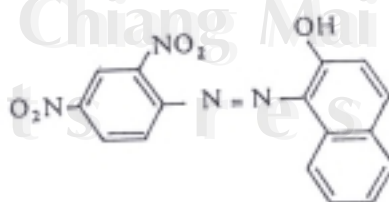
$R_1$  = Aryl group

$R_2$  = phenol, amine หรือ groups อื่น ๆ ที่สามารถทำให้เกิด diazonium salt

สีอะโซ แบ่งย่อยได้เป็น 4 ประเภท

##### 1.1 Insoluble unsulfonated pigments

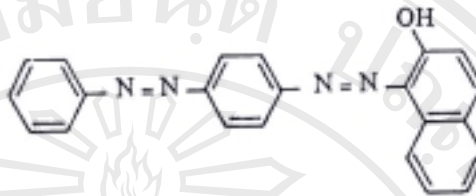
สีที่อยู่ในกลุ่มนี้ไม่มีกลุ่มซัลโฟนิลอยู่ในโมเลกุล แต่มีกลุ่มคลอรีนหรือไนโตรที่ตำแหน่งออร์โทซึ่งเกี่ยวข้องกับกลุ่มอะโซ ทำให้การละลายในน้ำลดลงและมีความคงตัวต่อแสงดีมาก ตัวอย่างเช่น D&C Orange No. 17 (Permatone Orange)





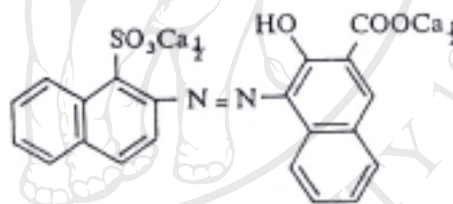
## 1.2 Soluble unsulfonated dyes

สีที่อยู่กลุ่มนี้ไม่มีกลุ่มซัลโฟนิคอยู่ในโมเลกุล ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายแอโรมาติกอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น D&C Red No. 17 (Sudan III)



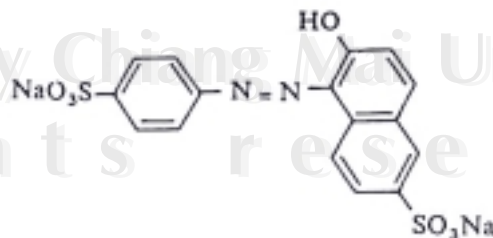
## 1.3 Insoluble sulfonated pigments

สีที่อยู่ในกลุ่มนี้มีกลุ่มซัลโฟนิคอยู่ที่ตำแหน่งออร์โทของอะโซนิวเคลียส สามารถเปลี่ยนเป็นเกลือของโลหะที่ไม่ละลายได้ง่าย ทำให้การละลายลดลง ตัวอย่างเช่น D&C Red No.34 (Deep Maroon)

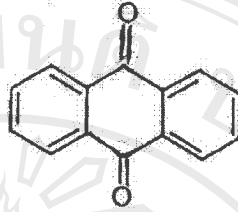


## 1.4 Soluble sulfonated dyes

สีที่อยู่ในกลุ่มนี้มีกลุ่มซัลโฟนิคอยู่ในกลุ่มโมเลกุล 1 กลุ่มหรือมากกว่า การละลายในน้ำขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของกลุ่มซัลโฟนิค ตัวอย่างเช่น FD&C Yellow No. 6 (Sunset Yellow FCF)

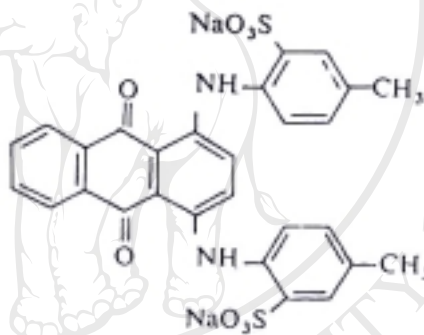


2. สีแอนทราควิโนน (Anthraquinones) สีประเภทนี้โดยทั่วไปมีความคงตัวต่อแสงและมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดี เหมาะสำหรับใช้ในเครื่องสำอางมีสูตรโครงสร้างดังนี้

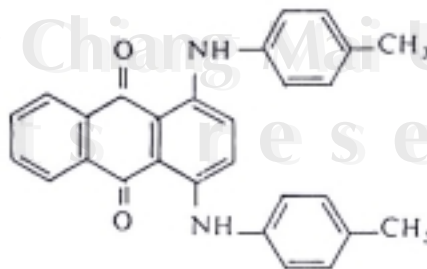


แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1 กลุ่มที่เป็นสารประกอบที่มีกลุ่มซัลโฟนิก ละลายได้ในน้ำ ตัวอย่างเช่น D&C Green No. 5 (Alizarine Crymine Green F)

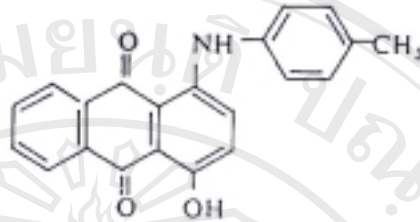


2.2 กลุ่มที่เป็นสารประกอบที่ไม่มีกลุ่มซัลโฟนิก ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น D&C Green No. 6 (Quinizarin Green SS)



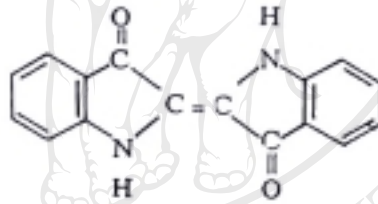
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

2.3 กลุ่มที่เป็น Hydroxyanthraquinone ไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น D&C Violet No. 2 (Alizuroil Purple SS)

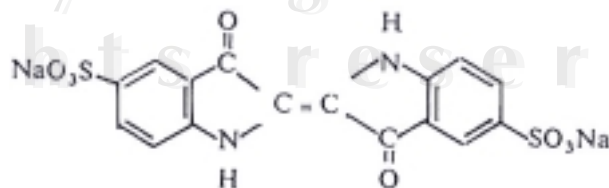


3. สีอินดิโกยด์ (Indigoids) แบ่งเป็น 3 ประเภท

3.1 Insoluble pigment ตัวอย่างเช่น D&C Blue No. 6 (Indigo) ซึ่งเป็นสูตรพื้นฐานของสีอินดิโกยด์

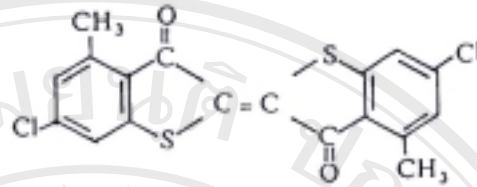


3.2 Disodium sulfonate derivatives of indigo ละลายน้ำ ตัวอย่างเช่น FD&C Blue No. 2 (Indigotine, Indigocarmine)

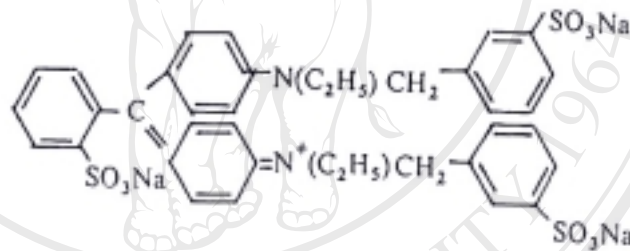


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

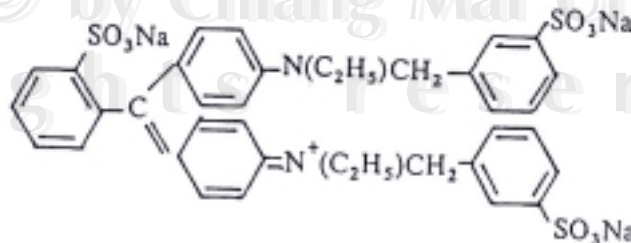
## 3.3 Insoluble thioindigoid ตัวอย่างเช่น D&amp;C Red No. 30 (Helindone Pink CN)



4. สีไตรฟีนิลมีเทน (Triphenylmethanes or Rosanilines) สีชนิดนี้ประกอบด้วยวงแหวนแอโรมาติก 3 วง ต่อกับคาร์บอนอะตอมที่จุดศูนย์กลาง สีพวกนี้ละลายได้ในน้ำ ตัวอย่างเช่น FD&C Blue No. 1 (Brilliant Blue FCF)

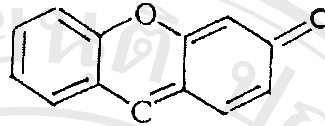


FD&C Green No. 3 (Fast Green FCF)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

5. สีแซนทีน (Xanthenes) เป็นประเภทสีที่ใหญ่อันดับ 2 รองลงมาจากสีอะโซ มีสูตร โครงสร้าง ดังนี้

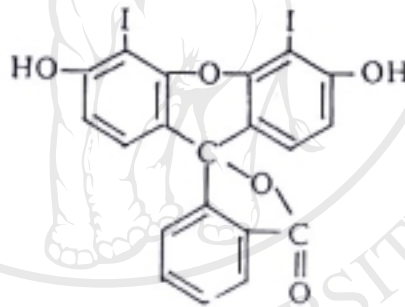


แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

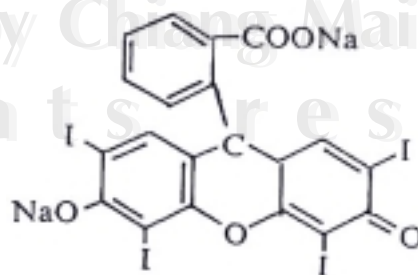
Acid Xanthenes มี 2 ชนิด คือ

ชนิดที่ 1 Phenolic or fluorans มีกรดอิสระอยู่ในโครงสร้าง ละลายน้ำได้น้อย

ตัวอย่างเช่น D&C Orange No. 10 (Diiodofluorescein)

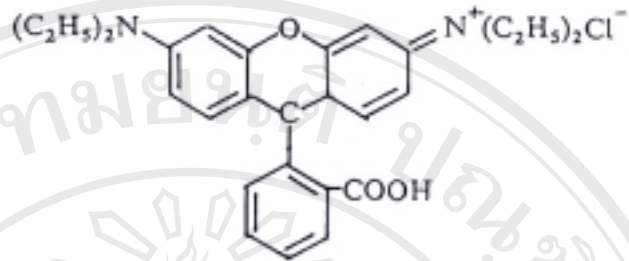


ชนิดที่ 2 คือ ชนิด quinoid or xanthenes เป็นเกลือโซเดียม ละลายน้ำได้ดีมาก ตัวอย่างเช่น FD&C Red No.3 (Erythrosine)

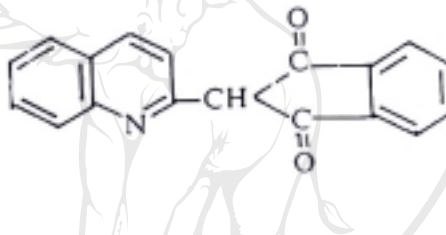


ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

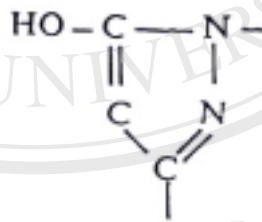
Basic Xanthenes ตัวอย่างเช่น D&C Red No. 19 (Rhodamine B)



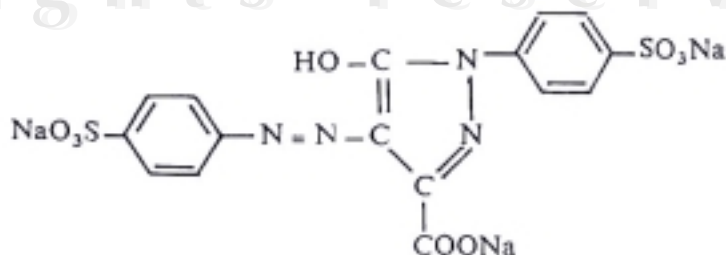
6. สีกวิโนลีน (Quinolines) ละลายได้ในตัวทำละลาย และถ้าเป็นอนุพันธ์ของซัลโฟเนตจะละลายได้ในน้ำ ตัวอย่างเช่น D&C yellow No. 11



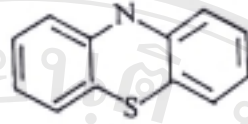
7. สียไพราโซโลน (Pyrazolones) มีสูตรโครงสร้างโดยทั่วไป ดังนี้



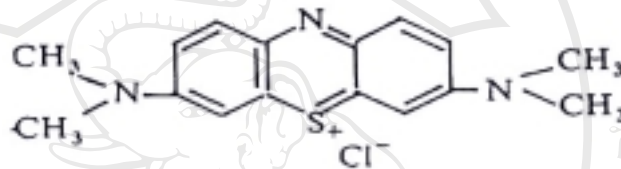
จากสูตร จะเห็นว่ามีกลุ่มอะโซ -N=N- อยู่ในโมเลกุลด้วย ดังนั้น จึงอาจจัดสีประเภทนี้อยู่ในประเภทสีอะโซได้ ตัวอย่างเช่น FD&C Yellow No. 5 (Tartrazine)



## 8. สีไทอะซีน มีสูตรโครงสร้างดังนี้



ตัวอย่าง Methylene Blue (Methyethionine Chloride)



ลักษณะของสีที่ดี

1. มีความปลอดภัยในความเข้มข้นที่ใช้
2. มีความคงตัวภายใต้สภาวะต่าง ๆ
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นในตำรับ
4. ใช้ง่าย

### 4.3 การจำแนกประเภทสารแต่งสีตามกรรมวิธีการย้อม แบ่งได้ 11 ประเภท<sup>(24)</sup>

1. สีไดเรกต์ (direct dye) คือ สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้วโมเลกุลสีจะมีประจุลบ ใช้อย้อมพวกเส้นใยเซลลูโลสได้ดีติดดี และโดยปกติในการย้อมมักจะต้องใส่สารพวกอิลเลคโตรไลต์ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ ลงไปช่วยในการย้อมด้วย การเกาะติดบนโมเลกุลของเส้นใยอาศัยแรงดึงดูดแวนเดอวาลส์ (van der Waals's forces)

2. สีรีแอคทีฟ (reactive dye) คือ สีย้อมที่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเส้นใย ทำให้เกาะติดอยู่กับโมเลกุลของเส้นใยได้โดยพันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) ส่วนใหญ่ ใช้อย้อมเส้นใยเซลลูโลส

3. สีแอซิด (acid dye) คือ สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำแล้ว โมเลกุลของสีจะมีประจุลบ และมักจะใช้อย้อมในน้ำย้อมที่มีความเป็นกรด ใช้อย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนได้ดี

การเกาะติดของสีย้อมประเภทนี้ในเส้นใยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุบนโมเลกุลของสีกับประจุบนโมเลกุลของเส้นใยเป็นสำคัญ สีกลุ่มนี้มักจะมีกลุ่มซัลโฟนิค (sulphonic group) ซึ่งให้ประจุลบในน้ำ

4. สีเบสิก (basic dye) คือ สีย้อมซึ่งเมื่อละลายในน้ำโมเลกุลจะมีประจุบวก ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก โพรตีน และไนลอนได้ดี การเกาะติดของสีย้อมประเภทนี้ในเส้นใยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกบนสีย้อมกับประจุบนเส้นใยเป็นสำคัญ

5. สีแวท (vat dye) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำที่มีกลุ่มคีโตน (ketone group ;  $C = O$ ) ปกติใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนใหญ่ในการย้อมจะต้องนำสีย้อมมาทำปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ให้อยู่ในรูปที่ละลายได้ในน้ำที่มีความเป็นด่างเพื่อให้ดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อเข้าไปอยู่ในเส้นใยจึงทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ให้ออกกลับไปอยู่ในรูปสารละลายน้ำไม่ได้ ด้วยวิธีนี้สีย้อมจะมีความติดทนอยู่ในเส้นใย ไม่ให้หลุดกลับออกมาในการซัก

6. สีดีสเพิร์ส (disperse dye) คือ สีย้อมที่มีการละลายน้ำได้ต่ำ ใช้ย้อมเส้นใยที่มีการดูดซึมน้ำน้อย (hydrophobic fibers) โดยเฉพาะพวกเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ ได้ดี ในน้ำย้อมสี ส่วนใหญ่จะไม่ละลายในน้ำแต่จะอยู่ในน้ำย้อมในลักษณะของสารกระจาย (dispersion)

7. สีซัลเฟอร์ (sulphur dye) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายในน้ำและมีซัลเฟอร์เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างที่ทำให้เกิดสีใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนใหญ่ วิธีย้อมคล้ายกับสีแวทกล่าวคือ ก่อนย้อมจะต้องนำไปทำปฏิกิริยาให้ออกกลับไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อน เมื่อย้อมเสร็จแล้วจึงทำปฏิกิริยาให้ออกกลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ เพื่อเป็นการลดขั้นตอนในการย้อม ได้มีการเตรียมสีซัลเฟอร์ที่ละลายน้ำได้ (solubilised sulphur dye) ในทำนองเดียวกับสีแวท สีพวกนี้สามารถนำมาละลายน้ำได้เลย และเมื่อย้อมเสร็จจึงนำไปทำปฏิกิริยาให้ออกกลับไปอยู่ในรูปเดิม

8. สีอินแกรน (ingrain dye) คือ สีย้อมที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นในเส้นใยด้วยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารกลาง (intermediate) ในเส้นใย นอกจากพวกที่เป็นสีอะโซอิก ได้แก่ สีซอลไซยานิน ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายเป็นส่วนใหญ่

9. สีอะโซอิก (azoic dye) คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นภายในเส้นใยด้วยการทำปฏิกิริยา coupling reaction ระหว่างเกลือไดอะโซเนียม (diazocomponent) กับสารประกอบที่เหมาะสม (coupling component) เกิดเป็นสีย้อมที่มีสูตรโครงสร้างของสีอะโซอิกในการย้อมตัวทำปฏิกิริยาทั้งสองจะถูกย้อมเข้าไปในเส้นใยก่อนทำปฏิกิริยากัน เกิดเป็นสีย้อมภายในเส้นใย สีย้อมประเภทนี้นิยมใช้กับการย้อมใยฝ้าย



10. สีมอร์แดนต์ (mordant dye) คือ สีย้อมที่เกาะติดอยู่ภายในเส้นใยในลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ ส่วนใหญ่ใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน การย้อมในขั้นตอนแรกเป็นไปอย่างธรรมดาคล้ายการย้อมด้วยสีแอสิด แต่เมื่อเสร็จแล้วจะต้องนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายของเกลือโลหะ เช่น เกลือของโครเมียม เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นในเส้นใย สำหรับมอร์แดนต์หรือสารช่วยติดสีมาจากภาษาฝรั่งเศสโบราณ Mordre คือ การกัด หรือการกร่อน ซึ่งจะช่วยกัดกร่อนเส้นใยให้เกิดรูเล็กๆ เพื่อให้อนุภาคของสีย้อมเข้าไปติดกันได้ง่าย ทำให้การติดสีของสีย้อมบนเส้นใยดีขึ้น มี 3 ชนิดดังนี้

1. Matallic mordant เช่น Alum, Copper
2. Tannin mordant เช่น tannin acid
3. Oil mordant เช่น fatty acid

11. สีออกซิเดชัน (oxidation dyes) คือ สีย้อมที่สามารถถูกออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ภายหลังจากที่ได้ย้อมให้เข้าไปเกาะติดในเส้นใยแล้ว ส่วนใหญ่ใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้าย สีพวกนี้เมื่อถูกออกซิไดซ์ในเส้นใยจะทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปในรูปใด และโมเลกุลขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นมีสูตรทางเคมีอย่างไร

### ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ<sup>(24,25)</sup>

#### 1. ความแปรปรวน

อัตราเร็วในการดูดซับ (Absorption) อาจขึ้นอยู่กับ film diffusion หรือ pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความแปรปรวนของระบบ ถ้าน้ำมีความแปรปรวนต่ำ ฟิล์มน้ำที่ล้อมรอบสารละลายจะมีความหนามากเพราะไม่ถูกรบกวนและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลเข้าไปหาสารตัวกลางทำให้ film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความแปรปรวนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา

Film Diffusion คือ การส่งผ่านโมเลกุลของสารที่มีอยู่ในของเหลวผ่านฟิล์มที่ล้อมรอบตัวกลาง

Pore Diffusion คือ สารตัวกลางเป็นลักษณะพรุนจะมีการแทรกตัวเข้าสู่ช่องว่างเหล่านี้

#### 2. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารตัวกลาง<sup>(25)</sup>

อัตราการดูดติดผิวจะเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวกลาง ส่วนพื้นที่ผิวของสารตัวกลางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ สารตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวมาก ย่อมดูดโมเลกุลได้มากกว่าสารตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวน้อย

### 3. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับ

เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะสายโซ่พอลิเมอร์สารละลายที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออน ย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่น จึงเป็นสารที่ยากต่อการดูดซับ สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมักสามารถดูดซับได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามเกณฑ์ข้างต้นนี้ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะสารที่ละลายน้ำได้น้อย หลายชนิดดูดซับได้ยาก แต่ในตรงกันข้ามการดูดซับอาจเกิดขึ้นได้ง่ายกับสารที่ละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่มีความสัมพันธ์อย่างแน่นอนในเชิงปริมาณระหว่างความสามารถการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำ

### 4. พิเศษของสารละลาย

พิเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อ การดูดซับด้วย

### 5. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ โดยขึ้นกับลักษณะการดูดซับที่เกิดขึ้น