บทที่ 3
ทบทวนเอกสาร

3.1 ความสำคัญของโคแอกกูเลชั่น

ความขุ่นที่สร้างปัญหาให้กับการผลิตน้ำประปามักเกิดจากอนุภาคขนาดเล็กที่เรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์(Colloidal particles) เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กมากทำให้ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเองภายในเวลาที่จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนั้นจึงต้องมีการทำให้อนุภาคคอลลอยด์มารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่เรียกว่า ฟล้อค(Floc) เพื่อให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น กระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมกันเป็นก้อนฟล้อคเรียกว่า กระบวนการโคแอกกูเลชั่น (Coagulation)

กระบวนการโคแอกกูเลชั่นมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ขั้นตอนคือ

3.1.1 การกวนเร็ว (Rapid mixing)

มีหน้าที่ในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ ภายใต้สภาวะที่น้ำมีความปั่นป่วนรุนแรง

3.1.2 การกวนช้า (Slow mixing)

เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว มีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้น โดยอนุภาคความขุ่นจะเคลื่อนที่ไปกับน้ำที่มีการกวนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดการชนและรวมตัวกันในที่สุด

Kawamura (1976) รายงานว่าองค์ประกอบสำคัญสำหรับกระบวนการนี้ก็คือ ชนิดและปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันคือ พีเอช อุณหภูมิ ชนิดและขนาดของอนุภาค ความเร็วในการกวนผสม และความเข้มข้นของเกลือ

1) พีเอช น้ำแต่ละตัวอย่างจะมีช่วงพีเอชเฉพาะตัวที่จะเกิดการรวมตัวและการตกตะกอนได้ดี การเติมสารสร้างตะกอนลงในค่าพีเอชที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะเปลืองสารเคมีแล้วยังทำให้น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควรด้วย (AWWA ,1971)

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบอัตราเร็วในการตกตะกอนของสารต่างๆ, มั่นสิน (2526)

สาร	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน ระยะ 1 เมตร
กรวด	10	1 วินาที
ทรายหยาบ	1	10 วินาที
ทรายละเอียด	0.1	120 วินาที
ตะกอนดิน	0.01	120 นาที
แบคทีเรีย	0.001	192 ชม.
คอลลอยด์	0.0001	730 วัน
	0.00001	10 ปี
	0.000001	>20 ปี

2) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีช้าลง และยังมีผลต่อพีเอชอีกด้วย

3) ชนิดและขนาดของอนุภาค น้ำที่มีความขุ่นมากอาจใช้ปริมาณของสารเคมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความขุ่นน้อย (AWWA,1971)

4) ความเร็วในการกวนผสม การกวนต้องไม่เร็วหรือช้าเกินไป โดยทั่วไปการกวนเร็วจะใช้เวลา 30-60 วินาที ส่วนการกวนช้าใช้เวลา 30-60 นาที

5) ความเข้มข้นของเกลือ น้ำตามธรรมชาติมักจะมีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ซึ่งจะมีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม ระยะเวลารวมตัว และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 กลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชั่น

กลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชั่นประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

3.2.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์

คอลลอยด์นั้นถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้ โดยไม่ตกตะกอนในเวลาสั้นๆ เสถียรภาพของคอลลอยด์นั้นขึ้นอยู่กับแรงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักต้องสูงกว่าแรงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมีมากกว่าแรงผลัก อนุภาคคอลลอยด์ก็จะสามารถจับตัวกันเป็นก้อนฟล้อค(Floc) ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดไป

แรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า Van Der Waal force ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ หรือซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential) ผลลัพธ์ของแรงทั้ง 2 ชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 3.1 แรงดูดจะมีอำนาจเหนือกว่าแรงผลักเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ แต่โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากประจุของอนุภาคจะไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆเข้าใกล้กันจนแรงดูดสามารถดึงดูดอนุภาคเข้าหากันได้

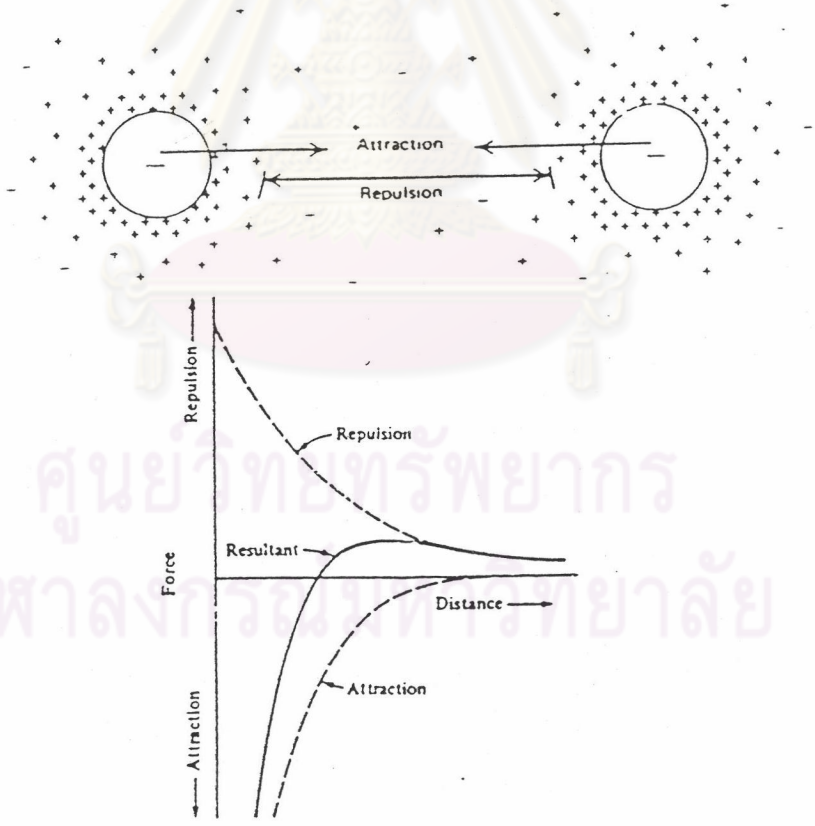
การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำโดยอาศัยกลไก 4 แบบ

3.2.1.1 การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse Layer) กลไกนี้เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยลดค่าซีตาโพเทนเชียล เนื่องจากการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงข้ามกันกับประจุของอนุภาค ผลที่ได้ก็คือชั้นกระจายมีความหนาลดลงทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.2.1.2 การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า (Adsorption & Charge Neutralization) กลไกนี้เกิดขึ้นโดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์และสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ก

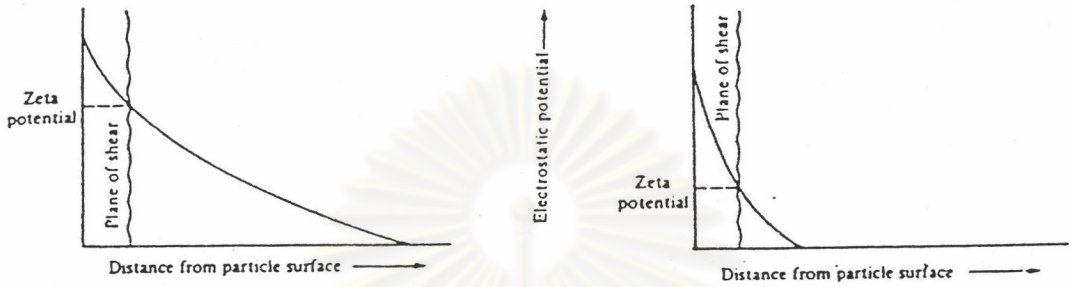
3.2.1.3 การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบ (Sweep Coagulation) กลไกนี้เกิดขึ้นได้โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ทำให้เกิดผลึกของสารประกอบซึ่งมีลักษณะเหนียวที่สามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น กระบวนการโคแอกกูเลชั่นโดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ ในระบบผลิตน้ำประปาที่พบอยู่เสมอเป็นตัวอย่างของกลไกชนิดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ข

3.2.1.4 การใช้สารโพลีเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer Bridging) สารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ สารเหล่านี้ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุก็ได้



รูปที่ 3.1 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ, มั่นสิน (2526)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



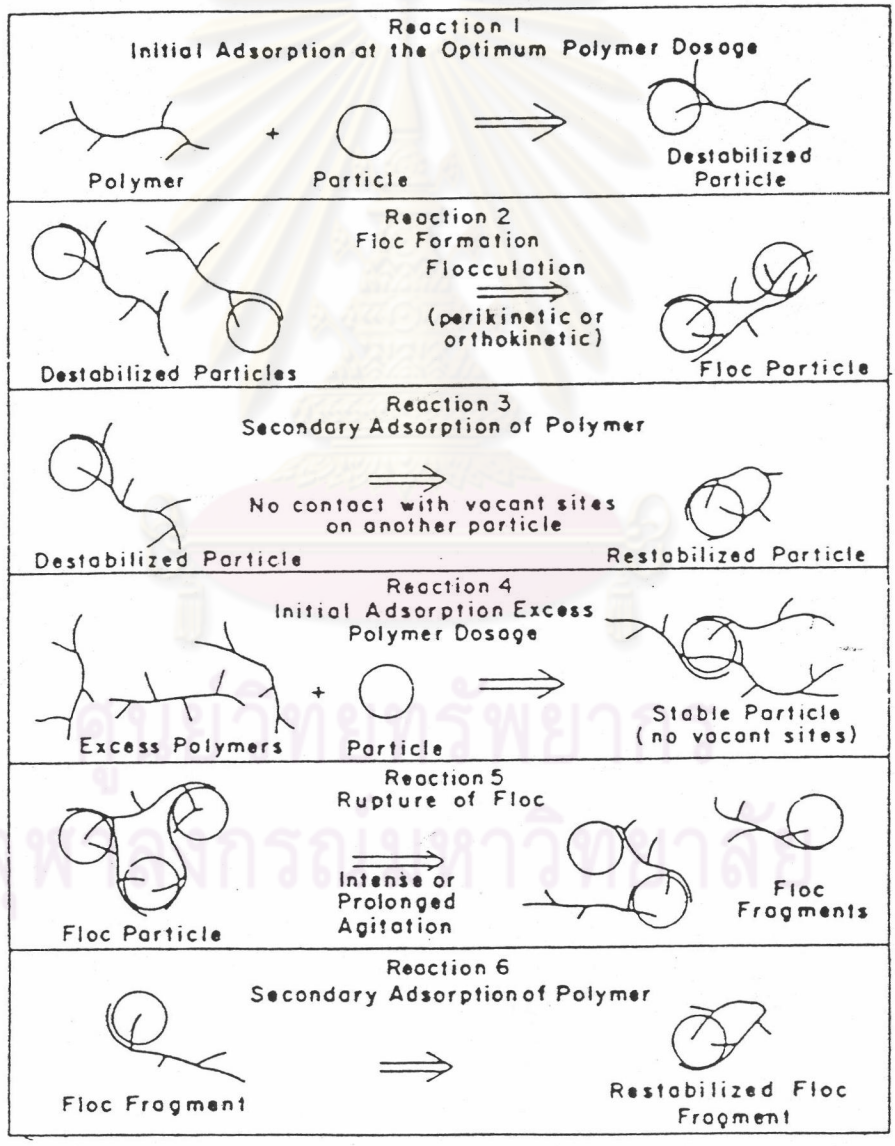
ก) ก่อนการเติมไอออน ข) หลังจากการเติมไอออนแล้ว

รูปที่ 3.2 ผลของการเติมไอออนที่มีประจุตรงข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์, มั่นสิน (2526)

ก) กลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพ ข) กลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบ

รูปที่ 3.3 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชั่นโดยกลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพ และกลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น, มั่นสิน (2526)

การทำลายเสถียรภาพด้วยการใช้โพลีเมอร์เกิดจากการที่โมเลกุลของโพลีเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันหรือแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคของโพลีเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์ อนุภาคที่มีโพลีเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระของโพลีเมอร์เหลืออยู่สำหรับที่จะเกาะติดอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particles) และเมื่ออนุภาคดังกล่าวไปจับตัวกับอนุภาคอื่นๆโดยมีโพลีเมอร์เป็นตัวเชื่อม ก็จะได้ฟล้อคที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย แต่ถ้ามีการเติมโพลีเมอร์มากเกินไป โพลีเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนอนุภาคจนกระทั่งไม่มีที่ว่างสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของโพลีเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่



รูปที่ 3.4 กลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อด้วยโพลีเมอร์, มั่นสิน (2526)

Kawamura (1976) ได้กล่าวถึงข้อดีในการใช้สารโพลีเมอร์ว่าสามารถใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ในปริมาณน้อยและทำให้เกิดสลัดจ์(Sludge)น้อย และสลัดจ์ที่ได้ก็สามารถแยกน้ำออกได้ง่าย

3.2.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด(Transport of Colloidal Particles) เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นง่ายกว่าเดิม ดังนั้นเมื่ออนุภาคมาสัมผัสกันก็จะเกาะติดแน่นเป็นก้อนฟล็อค

3.3 โคแอกกูเลชั่นด้วยสารเคมีหรือสารสังเคราะห์ (อ้างจาก มั่นสิน, 2526)

ในปัจจุบันโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ สารส้มซึ่งเป็นสารประกอบของอลูมิเนียมที่มีสูตรเคมีดังนี้ $Al_2(SO_4)_3.14.3H_2O$ (Aluminium Sulfate) สารเคมีที่ได้รับความนิยมรองลงมา ได้แก่ สารประกอบของเหล็ก เช่น $FeCl_3$ เป็นต้น โคแอกกูแลนต์เอดที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบันคือ สารโพลีเมอร์ (Polymer) หรือ โพลีอิเลคโตรไลท์ (Polyelectrolyte) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

3.3.1 สารส้ม (Alum)

สารส้มหรืออลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตน้ำประปา มีสูตรเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3.14.3H_2O$ มีทั้งแบบเป็นสารละลายเป็นผงและเป็นเม็ด มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีครีม สารส้มละลายน้ำได้ดี เมื่ออยู่ในรูปสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อนเหล็กหรือคอนกรีตได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นถ้าในน้ำมีอัลคาไลนิตี้อยู่จะเกิดตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ดังสมการ

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3CaSO_4 + 6CO_2$$

ถ้าน้ำดิบมีค่า alkalinity ต่ำ เราอาจเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) หรือปูนขาว ($Ca(OH)_2$) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารส้มได้ดังสมการ

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3Na_2SO_4 + 3CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 \downarrow + 3CaSO_4$$

3.3.2 เฟอรัสซัลเฟต (Ferrous sulfate)

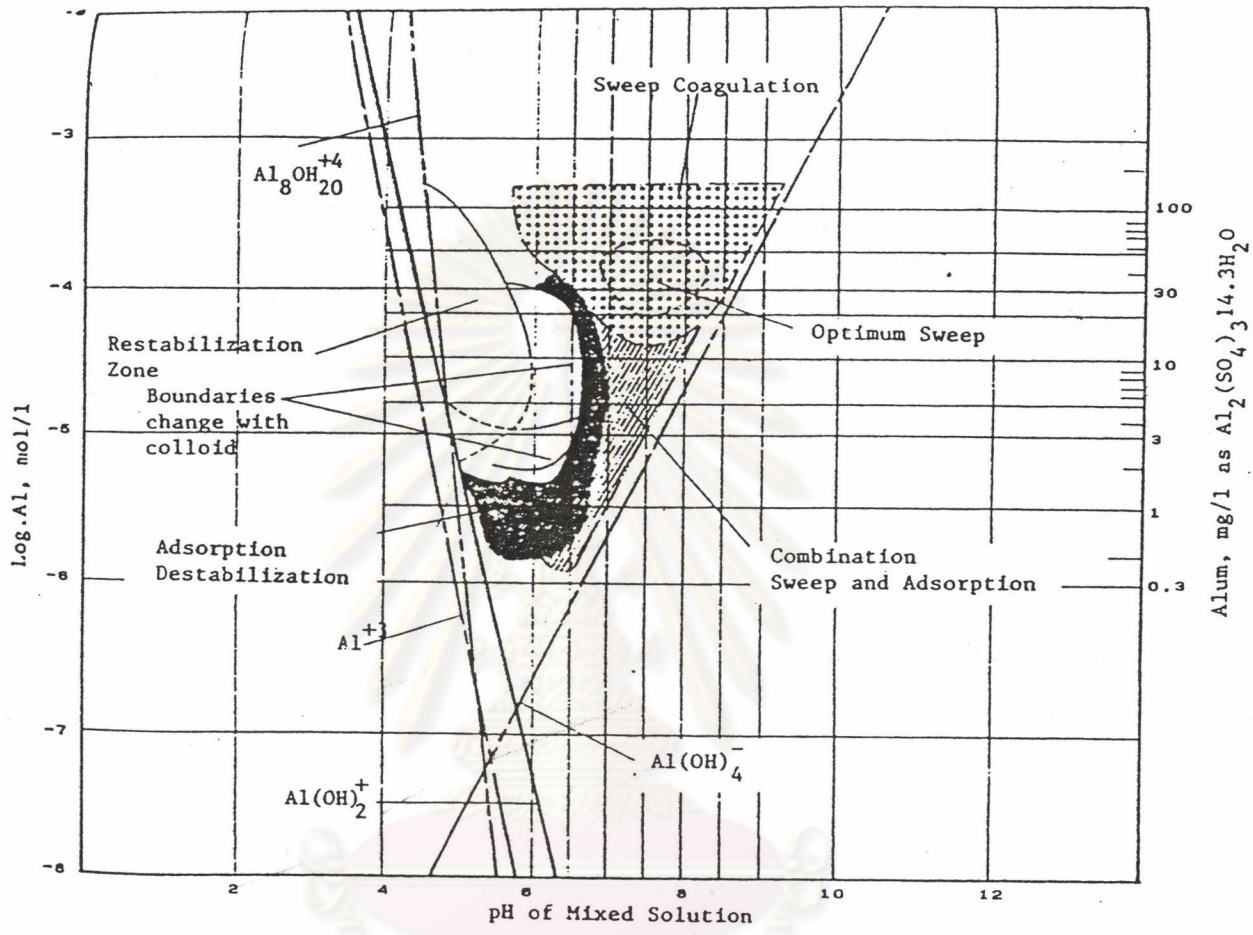
มีสูตรทางเคมี คือ $FeSO_4 . 7H_2O$ บางทีเรียกว่า copperas มีลักษณะเป็นผงหรือเป็นเม็ดหรือเป็นผลึก มีสีเขียวถึงน้ำตาลปนเหลือง ละลายน้ำได้ดี เมื่อเป็นสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ในการเติมจะเติมในรูปของของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนของเฟอรัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) ซึ่งจะถูกอากาศที่ละลายในน้ำออกซิไดซ์เป็นตะกอนเฟอริค-ไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ในที่สุด

3.3.3 เฟอริคคลอไรด์ (Ferric chloride)

มีสูตรทางเคมีว่า $FeCl_3 . 6H_2O$ หรือ $FeCl_3$. anhydrous บางทีเรียกว่า เฟอริคลอร์ (Ferri-chor) มีลักษณะเป็นผลึกสีน้ำตาลหรือเหลืองเป็นเม็ดสีเขียวหรือดำ และมีในรูปสารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ปกติจะละลายน้ำได้ดีและเติมในน้ำดิบในรูปของสารละลาย สารละลายจะมีฤทธิ์เป็นกรดและกัดกร่อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้ตะกอนเฟอริคไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$)

3.3.4 สารเคมีเสริม (Auxilliary chemicals)

มีสารเคมีอีกหลายชนิดที่เราเติมลงไปเพื่อช่วยเสริมให้ปฏิกิริยาของสารช่วยตกตะกอน เกิดเร็วยิ่งขึ้นหรือสมบูรณ์ยิ่งขึ้น สารเคมีเสริมเหล่านี้ที่สำคัญในระบบประปา มีปูนขาว (lime) มีสูตรทางเคมีคือ $Ca(OH)_2$ มีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงเทาอ่อน ละลายน้ำได้น้อยมาก เมื่อละลายน้ำจะมีฤทธิ์เป็นด่าง โดยทั่วไปนิยมเติมในรูปผงหรือสารละลาย นิยมใช้เติมเพื่อเพิ่มอัลคาไลนิตี้ในน้ำหรือเพิ่มพีเอชของน้ำให้สูงขึ้น นอกจากปูนขาวยังมีโซดาแอช (Soda ash หรือ Na_2CO_3) ซึ่งใช้เติมเพื่อเพิ่มอัลคาไลนิตี้ในน้ำ และในการปรับค่าพีเอชของน้ำให้สูงขึ้น บางครั้งก็นิยมใช้โซดาไฟ (Sodium hydroxide หรือ NaOH) ส่วนในการลดค่าพีเอชของน้ำให้ต่ำลงนิยมใช้กรดกำมะถัน (Sulfuric acid หรือ H_2SO_4) หรือกรดเกลือ (Hydrochloric acid, HCl)



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชั่น ด้วยสารส้ม, มั่นสิน (2526)

3.4 การตกตะกอนเมื่อใช้สารช่วยในการตกตะกอน (Coagulant aid)

ในจำนวนสารโคแอกกูแลนต์เอดทั้งหมดสารโพลีเมอร์นับว่าเป็นสารที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน(Jown,1980) โพลีเมอร์สามารถแบ่งได้อย่างกว้างๆ 2 ประเภทคือ โพลีเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ (Natural polymer) เช่น เซลลูโลส (Cellulose), เจลาติน (Gelation) และแป้ง (Starch)

เป็นต้น และโพลีเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ (Synthetic polymer) เป็นการนำโมโนเมอร์หนึ่งหรือสองชนิดมารวมกันซึ่งจะสามารถสังเคราะห์ให้ได้ตรงตามที่ต้องการได้ โดยสามารถทำให้มีขนาดที่แตกต่างกันเป็นผลทำให้มีน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ที่แตกต่างกันสามารถกำหนดกลุ่มของประจุและจำนวนประจุ (Charge density) ที่ต้องการได้ และยังสามารถจัดการเกี่ยวกับโครงสร้างของโพลีเมอร์ให้เป็นเส้นตรงหรือกิ่งก้านสาขาได้

โพลีเมอร์บางครั้งอาจเรียกว่าโพลีอิเลคโทรไลท์ (Polyelectrolyte) เมื่อพิจารณาถึงประจุที่อยู่บนสายโพลีเมอร์ (Polymer chain) ดังนั้นจะสามารถแบ่งชนิดของโพลีเมอร์ได้ 3 ชนิด ตามประจุที่มีอยู่ได้แก่

- Anionic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นลบ เช่น polyacrylamide
- Cationic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่มีประจุเป็นบวก เช่น polyamide
- Nonionic polymer เป็นโพลีเมอร์ที่ไม่มีประจุ (no ionic charge) เช่น แป้ง (starch)

กลไกที่เกิดจากการใช้โพลีเมอร์สามารถแยกได้เป็น 2 แบบคือ กลไกซึ่งเกิดจากการใช้โพลีเมอร์ดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์แล้วเชื่อมอนุภาคเหล่านั้นเข้าด้วยกันและกลไกซึ่งเกิดจากโพลีเมอร์ซึ่งมีประจุตรงข้ามกับอนุภาคคอลลอยด์ดูดติดกับอนุภาค และลดแรงผลักระหว่างอนุภาค กลไกทั้งสองแบบจะสนับสนุนกันและกันหรือต่อต้านกันขึ้นอยู่กับว่ามีแรงดึงดูดระหว่างโพลีเมอร์และอนุภาคคอลลอยด์มากน้อยแค่ไหน

3.4.1 กลไกการใช้สะพานเชื่อมอนุภาค

กลไกการใช้สะพานเชื่อมอนุภาคโดยโพลีเมอร์ได้รับการยอมรับเนื่องจากความสามารถในการใช้โพลีเมอร์ทำลายเสถียรภาพอนุภาคที่มีประจุเหมือนกัน การสร้างโคแอกกูเลชั่นด้วยกลไกชนิดนี้ค่าประจุไม่ใช่สิ่งสำคัญแต่โพลีเมอร์ต้องมีโมเลกุลขนาดใหญ่เพื่อเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างอนุภาคได้อย่างกว้างขวาง สะพานดังกล่าวจะต้องแข็งแรงเพื่อต้านทานต่อความปั่นป่วนที่เกิดจากการกวนน้ำ ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งในการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคคือ พื้นที่ว่างบนอนุภาคที่โพลีเมอร์สามารถเกาะติดและเชื่อมโยงกันระหว่างอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน พื้นที่ว่างบนอนุภาคจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพลีเมอร์ที่เติม ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีโพลีเมอร์ต่ออนุภาคมากเกินไปทำให้ไม่มีตำแหน่งว่างบนอนุภาคที่จะสร้างสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคใกล้เคียง ปลายโพลีเมอร์ที่ไม่ได้รวมตัวกับอนุภาคอื่นกลับมาจับบนตัวเอง ทำให้อนุภาคได้รับเสถียรภาพกลับคืนมาอีก (Restabilized particles) นอกจากนี้การกวนผสมเพื่อให้โพลีเมอร์กับ

อนุภาคสัมผัสกันนั้นก็ไม่ควรกวนให้แรงหรือนานเกินไป เพราะอาจทำให้สะพานเชื่อมอนุภาคที่เกิดขึ้นแล้วแตกออกจากกันได้ ดังรูปที่ 3.4

3.4.2 การเกิดหย่อมประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Patch Mechanism)

กลไกนี้อธิบายพฤติกรรมการเกาะติดหรือทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในกรณีที่ใช้โพลีเมอร์ที่ใช้มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคที่ต้องการทำลายเสถียรภาพนั้น หรือการใช้โพลีเมอร์ประจุลบช่วยในการรวมตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพด้วยโคแอก-กูแลนต์จากสารประกอบจำพวกโลหะ และเกิดปรากฏการณ์แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ที่ค่อนข้างรุนแรง ซึ่งการเกิดกลไกการสร้างสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคที่มีการดูดติดบนอนุภาคเพียงไม่กี่ตำแหน่ง ไม่น่าจะส่งผลเช่นนั้นได้ ปกติอนุภาคต่างๆจะมีตำแหน่งที่มีประจุลบบนผิวที่ค่อนข้างจะคงที่เมื่อเติมโพลีเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามกับอนุภาค โพลีเมอร์จะไปเกาะติดอยู่บนผิวของอนุภาคเป็นหย่อมๆ ทำให้บนผิวของอนุภาคมีกลุ่มประจุบวกที่มีค่าสูงล้อมรอบด้วยพื้นผิวของประจุลบที่มีค่าน้อยกระจายอยู่ทั่วทั้งอนุภาค ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และทำให้เกิดอนุภาคที่มีตำแหน่งประจุบนผิวต่างๆกันคือ บางส่วนยังคงเป็นลบ บางส่วนกลายเป็นบวก การทำลายเสถียรภาพจะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคซึ่งมีประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันเป็นหย่อมๆเคลื่อนที่มาใกล้กันแล้วเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างหย่อมประจุไฟฟ้าที่มีประจุที่แตกต่างกัน

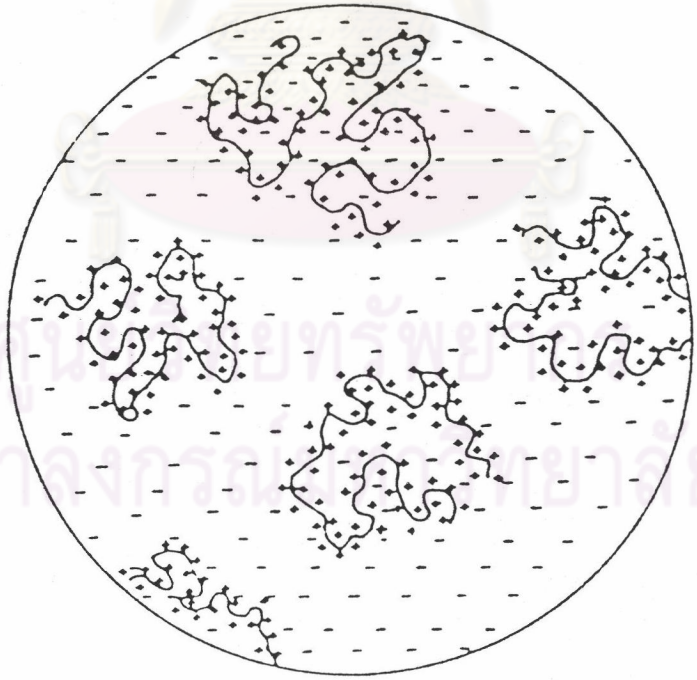
3.5 ผลกระทบต่อสุขภาพซึ่งอาจเกิดจากการใช้สารเคมี

จากการสัมมนาในหัวข้อ "อลูมิเนียมในน้ำดื่ม" ที่ประเทศฮ่องกง โดยความร่วมมือระหว่าง The International Water Supply Association และ The Water Supplies Department ของ รัฐบาลฮ่องกง ได้มีการเสนอว่า "อลูมิเนียมมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบประสาทในมนุษย์และโรคอื่นๆที่เกิดในปลาและแพลงค์ตอน "(Asian Water & Sewage, 1992, No. 34)

ปริมาณของอลูมิเนียมที่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายมนุษย์จะมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากส่วนใหญ่ถูกขับถ่ายไปกับปัสสาวะ อลูมิเนียมในน้ำดื่มจะมีปริมาณเพียงร้อยละ 2 ของปริมาณที่ร่างกายได้รับจากอาหารทั้งหมด แต่เป็นที่น่าแปลกใจว่าในปริมาณเพียงเท่านี้อาจมีความเกี่ยวข้องกันระหว่างอลูมิเนียมในน้ำดื่มและโรค Alzheimer (โรคเกี่ยวกับระบบประสาท) ได้ ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องจากอลูมิเนียมในน้ำสามารถย่อยสลายและดูดซึมได้ดีกว่าในอาหาร

แม้จะยังไม่ได้มีการพิจารณาเลิกการใช้สารประกอบของอลูมิเนียมในการผลิตน้ำประปา เนื่องจากผลกระทบต่อสุขภาพยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่ก็ควรจะมีการระมัดระวังในการใช้ให้มากขึ้นเพื่อโอกาสเสี่ยงในการเกิดอันตรายจะได้น้อยลง และควรศึกษาที่จะหาโคแอกกูแลนต์อื่นทดแทน

Mallevialle (1984) ทำการศึกษาพบว่าโพลีเมอร์ที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา ถึงแม้จะมีข้อดีมากแต่ก็อาจมีข้อเสียได้ เนื่องจากการปนเปื้อนจากโมโนเมอร์หรือสารอื่นซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต หรืออาจทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่นๆที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาทำให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ จากผลกระทบที่อาจมีต่อสุขภาพในระยะยาวซึ่งยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดทำให้บางประเทศเช่น ญี่ปุ่นมีการห้ามใช้โพลีเมอร์สังเคราะห์ในการผลิตน้ำดื่ม



รูปที่ 3.6 การจัดเรียงตัวของโพลีอิเลคโทรไลต์บนอนุภาคที่มีประจุตรงกันข้าม, Bratby (1980)

3.6 โคแอกกูเลชั่นด้วยวัสดุธรรมชาติ (อ้างจาก จิราพร, 2533)

3.6.1 โคแอกกูเลชั่นด้วยดินชนิดต่างๆ

ชนพื้นเมืองในทวีปอาฟริการู้จักโคแอกกูแลนต์ธรรมชาติจากดินและหินชนิดต่างๆมานานแล้ว หินบางชนิดถูกเก็บมาจากกลางทะเลทราย ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นพวกปูนขาว หรือโซเดียม-คาร์บอเนต

Cox (1964) พบว่าดินเบนโทไนท์สามารถใช้ร่วมกับสารส้มในการทำให้น้ำใส โดยสามารถลดปริมาณการใช้สารส้มได้หลายเท่า

Louis (1956) พบว่าสามารถใช้ดินเบนโทไนท์เป็นสารโคแอกกูแลนต์เพียงอย่างเดียว โดยนำมาใช้ในโรงกรองน้ำริมทะเลสาบมิชิแกนซึ่งน้ำมีความขุ่นต่ำแต่มีสาหร่ายอยู่มาก และไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยการกรองเร็วธรรมดา การใช้ดินเบนโทไนท์เป็นสารโคแอกกูแลนต์เพียง 4 มก./ล. ก็สามารถทำให้น้ำใสได้

3.6.2 โคแอกกูเลชั่นด้วยพืช

โคแอกกูแลนต์จากพืชได้มาจากส่วนต่างๆของพืช เช่น ราก ลำต้น เมล็ด หรือใบ ซึ่งอาจนำมาใช้ในรูปที่เป็นพืชสด หรือแห้ง หรือนำมาเผาให้กลายเป็นถ่านก่อน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

Bulusu และ Pathak (1974) ได้ศึกษาถึงการใช้เมล็ดกระเจี๊ยบแดง (Hibiscussafdarifa) เป็นสารโคแอกกูแลนต์ โดยบดให้เป็นผงและผสมกับโซเดียมคาร์บอเนตในอัตราส่วน 9:1 โดยน้ำหนัก สรุปได้ว่าหากใช้น้ำความขุ่นปานกลางจะใช้ปริมาณที่เหมาะสมในช่วง 40-48 มก./ล. โดยสามารถลดความขุ่นได้เหลือ 14 units และถ้าใช้กับน้ำดิบความขุ่นต่ำจะใช้ปริมาณที่เหมาะสมในช่วง 1-5 มก./ล. แต่ใช้เวลาการตกตะกอนนานกว่าเพราะฟล็อคมีลักษณะเบา

เบญจา โสรัจจาภินันท์ (2536) ได้ศึกษาถึงความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของผงแป้งเมล็ดมะขามซึ่งเป็นโพลีเมอร์ประจุลบ พบว่าผงแป้งเมล็ดมะขามไม่สามารถใช้เป็นโคแอกกู-แลนต์ตามลำพังได้ดี เนื่องจากสามารถลดความขุ่นของน้ำดิบได้เพียงร้อยละ 30-60 แต่สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มได้ดี และพบว่าเมื่อน้ำดิบมีความขุ่น 100 NTU ขึ้นไป การใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอด สามารถลดค่าความขุ่นที่เหลือให้ต่ำกว่าการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวได้

3.6.3 โคแอกกูเลชั่นด้วยสาหร่ายทะเล

สาหร่ายสีน้ำตาล (Phaeophyceae) ในสปีชีส์ Maerocystispyrifera และ Lessonia nigrecens ซึ่งพบมากในทะเลริมชายฝั่งทวีปอเมริกาใต้ แถบประเทศเอกวาดอร์และชิลี ปกติใช้เป็นอาหารและทำยา ได้ถูกนำมาสกัดเอากรดอัลจินิกและโซเดียมอัลจิเนตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโพลีเมอร์ประจุลบ มาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ในห้องปฏิบัติการพบว่าสามารถเป็นโคแอกกูแลนต์เอดได้โดยใช้ร่วมกับสารส้มและสามารถประหยัดสารส้มได้ถึงร้อยละ 50

3.6.4 โคแอกกูเลชั่นด้วยผลิตภัณฑ์ของสัตว์น้ำ

ไคโทแซน (Chitosan) เป็นสารโพลีเมอร์ประจุบวกได้มาจากไคติน (Chitin) ซึ่งพบอยู่ในเปลือกของสิ่งมีชีวิตพวก crustacean ได้แก่ เปลือกกุ้ง กระดองปู และเกล็ดปลาบางชนิด โดยมีปริมาณถึงร้อยละ 20-40 ของน้ำหนักตัวของสัตว์น้ำเหล่านั้น ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3.2

Kawamura (1976) พบว่าการใช้ไคโทแซนเป็นโคแอกกูแลนต์เอดนั้น จะได้ผลดีกว่าเป็นโคแอกกูแลนต์โดยตรง โดยสามารถประหยัดการใช้สารส้มได้มากกว่าการใช้โคแอกกูแลนต์จากวัสดุธรรมชาติอื่นๆ และถ้าใช้ไคโทแซนเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้มจะลดสีในน้ำได้ด้วย

3.7 ไคโทแซน

ไคตินและไคโทแซนเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่มากเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากเซลลูโลส(Cellulose) ในพวกโพลีเมอร์ชีวภาพทั้งหมดมีการค้นพบและศึกษาเกี่ยวกับไคตินและไคโทแซนมานานแล้ว แต่ไม่ใคร่เป็นที่รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์กันมากนัก ทั้งในเชิงอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวัน หรือการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะความสะดวกและความคุ้นเคยของมนุษย์ในการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลส ถึงแม้ว่าไคติน ไคโทแซน และเซลลูโลส เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพในกลุ่มเดียวกันก็ตามคือ คาร์โบไฮเดรท-โพลีเมอร์ แต่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกันในส่วนขององค์ประกอบ ซึ่งทำให้ไคตินและไคโทแซนมีลักษณะสมบัติทางเคมีและทางกายภาพทั้งที่คล้ายกันกับเซลลูโลส และแตกต่างจากเซลลูโลส

ตารางที่ 3.2 แสดงแหล่งกำเนิดต่างๆของไคตินที่มีอยู่ในธรรมชาติ, Muzzarelli (1977)

TABLE 1.1. Distribution and chemical features of the diverse chitinous structures in living organisms.

Organisms	Examples	Structures	Minerals	Chitin % org.	Other organic constituents
FUNGI					
Ascomyceta, Basidiomyceta, Phycomyceta, Imperfecti	*Aspergillus flavus, fumigatus, niger, Penicillum notatum, Neurospora crassa, Agaricus campestris, Armillaria mellea, Boletus edulis, Schyzophyllum commune, Blastocladiella emersonii, Mucor rouxii, Mortierella vinacea, Phycomyces Blakesleanus, Rhizopus rhizopodiformis, Apodachlya, Candida albicans, Alternaria kikuchiana.*	cell walls and structural membranes of mycelia stalks and spores		traces to 45	glucans, mannan or other polysaccharides
ALGAE					
Chlorophyceae	*Ulva lactuca, Valonia ventricosa.*			+	cellulose
PROTOZOA					
Rhizopoda,	*Pelomyxa*	cyst wall		+	-
	Plagiopyxidae	shell	silica	+	-
	Allogromia	shell	iron	+	proteins, lipids
	Vasicola ciliata	cyst wall		+	proteins
CNIDARIA					
Hydrozoa					
Hydroidea		perisarc		3-30 α	proteins (tanned)
Milleporina,	*Millepora alcicornis*	coenosteum	$CaCO_3$	+ α	-
Siphonophora		pneumatophore		+ α	-
Anthozoa,	*Metridium, Pocillopora*	"skeleton"	$CaCO_3$	+	proteins
Scyphozoa,	*Aurelia*	podocyst		+	proteins
ASCHELMINTES					
Rotifera		egg inner membr.		14	proteins
Nematoda,	*Ascaris lombricoides*	egg middle membr.		16	proteins
Acanthocephala		egg capsule		+	-
Priapulida,	*Priapulus caudatus*	cuticle		+	proteins (tanned)
					./.
ENDOPROCTA,	*Pedicellina cernua*	cuticle		+	tanned proteins
BRYOZOA,	*Cristatella mucedo*	ectocyst	($CaCO_3$)	2-6	proteins
PHORONIDA		tubes		13	proteins
BRACHIOPODA					
Articulata		stalk cuticle		4	-
Inarticulata		stalk cuticle		+ γ	collagen
		shell	$CaCO_3$	29 β	-
ECHIURIDA		hooked chaetae		+	-
ANNELIDA					
Polychaeta,	*Aphrodite, Amphinome*	chaetae		20-38β	quinone-tanned prot.
Eunicidae		jaws		0.3	proteins
Oligochaeta,	*Lombricus terrestris*	chaetae		+ β	
all		peritrophic membr.		+	proteins
MOLLUSCA					
Polyplacophora,	*Chiton*	shell plates	$CaCO_3$	12	proteins
		radula	iron	+	proteins
Gastropoda,	*Helix pomatia*	mother of pearl	$CaCO_3$	3-7	conchiolin
		radula	iron sil.	20 α	tanned proteins
		jaws		+	tanned proteins
Cephalopoda,	*Sepia officinalis, Nautilus pompilius, Loligo paelei, Octopus vulgaris, Ornatostrephes sagittatus*	calcified shell	$CaCO_3$	3-26 β	conchiolin
		pen		18 β	conchagen
		jaws and radula		20 α	tanned proteins
		stomach cuticle		γ	
Lamellibranchia,	*Nucula nitida, Ostrea virginica, Venus Mercenaria mercenaria*	shells	$CaCO_3$	up to 8	conchiolin
		gastric shield		17	-
ARTHROPODA					
Crustacea,	*Palinurus vulgaris, Homarus vulgaris, Cancer magister, pagurus, Carcinus maenas, Astacus fluviatilis, Euphausia superba*	calcified cuticle	$CaCO_3$	58-85α	arthropodin+sclerotin
		intersegmental m.	$CaCO_3$	48-80α	arthropodin
Insecta,	*Drosophila melanogaster, Locusta migratoria, Periplaneta americana, Bombyx mori, Calliphora sp., Sarcophaga bullata, Tenebrio molitor, Schistocerca gregaria*	hardened cuticle		20-60α	arthropodin+sclerotin
		unhardened cuticle		20-60α	arthropodin+sclerotin
Arachnida and Chilopoda, all	*Musca domestica*	peritrophic membr.		4-22	protein+mucin
POGONOPHORA,	*Oligobrachia ivanovi*	tubes		33 β	proteins

3.7.1 ที่มา

Conrad (1965) กล่าวไว้ว่าประวัติการค้นพบไคตินเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1811 โดย Braconnot ได้พบไคตินในส่วนที่เหลือจากการสกัดราและให้ชื่อว่า "fugine" ต่อมาในปี ค.ศ. 1823 Odier ได้แยกสารจากส่วน elytra ของแมลงและให้ชื่อว่า "Chitine" หรือ "Chitin" และพบว่าสารนี้เป็นรูปแบบหนึ่งของเซลลูโลสและไม่พบไนโตรเจน ในปีเดียวกัน Lassaign และ Payen ได้ตรวจพบไนโตรเจนในไคติน ต่อมาในปี ค.ศ. 1876 Ledderhose ได้ไฮโดรไลซ์ไคตินจากสัตว์ขาปล้อง (Arthropod) ได้ผลึกของ กลูโคซามีนและกรดอะซิติก

ไคตินเป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยพันธะ Glycosidic ชนิด β-1,4 เกิดเป็นโครงสร้างของโมเลกุลที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่ 2 จับกับกลุ่มอะซิติลเอมิน ($-NHCOCH_3$) ดังนั้นไคตินจึงเป็นโพลีเมอร์ของ N-acetyl-glucosamine หรือ N-acetyl-2-amino-2-deoxy-β-D-glucopyranose (Conrad, 1965) ดังแสดงในรูปที่ 3.7

ส่วนไคโทแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากการแยกหมู่อะซิติล (Deacetylation) ออกจากไคตินเกิดเป็นหมู่อะมิโนอิสระที่สามารถรับโปรตอน ทำให้โพลีเมอร์ที่ได้มีประจุรวมเป็นบวก ไคโทแซนจึงมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในสารละลายซึ่งมีพีเอชในช่วงที่เป็นกรด (ต่ำกว่า 5.5) (Filar and Wirick, 1978) จึงทำให้การใช้ประโยชน์ของไคโทแซนสูงกว่าไคติน

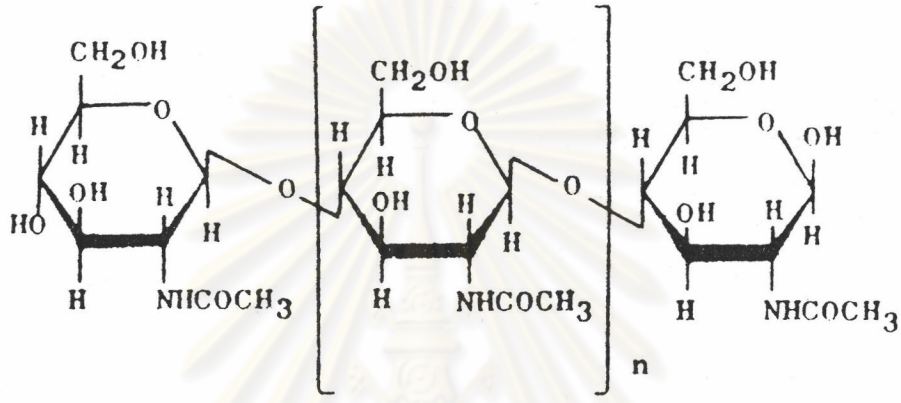
3.7.2 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโทแซน

ในการใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโทแซน อาจจะกล่าวได้ว่าสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางโดยอาศัยคุณลักษณะทั่วไปและคุณลักษณะพิเศษจำเพาะของมัน แต่ถ้าเทียบกับเซลลูโลสแล้วยังนับว่าน้อยมาก เนื่องจากยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาวิธีการทางอุตสาหกรรมให้สามารถผลิตขึ้นมาในเชิงการค้าได้ แต่เนื่องจากไคตินและอนุพันธ์ของมันมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์สูง จึงมีการใช้โพลีเมอร์ชนิดนี้ใน 200 กว่าสายงานในสาขาต่างๆ พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้คือ

3.7.2.1 ด้านการเกษตร

ในสหรัฐฯมีการใช้ไคโทแซนเคลือบเมล็ดข้าวสาลีเพื่อป้องกันเชื้อรา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 20 ส่วนการใช้ไคตินในการเตรียมดินสำหรับเพาะปลูก สามารถลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดิน นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ไคตินจับกับสารเคมี หรือยากำจัดโรคพืชชนิดต่างๆ

เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวปลดปล่อยสารเหล่านั้น ซึ่งเป็นแนวทางลดการสูญเสียสารเคมีและยากำจัดโรคพืชซึ่งใช้ในทางเกษตรกรรมได้ (Brzesk, 1987)



รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างของไคตินชนิด Poly N-Acetyl-D-Glucosamine, อุดมชัย (2535)

3.7.2.2 ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

Balassa และ Prudden (1978) ใช้ไคตินและไคโทแซนในการรักษาแผลทั้งชนิดที่รักษาให้หายได้ยากและชนิดที่ไม่สามารถรักษา (Ulcers)

Brzeski (1987) ได้สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ไคตินและไคโทแซนในด้านการแพทย์และเภสัชวิทยาดังต่อไปนี้ ใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือตัดกระดูก ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าและออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยาอนุพันธ์ของไคโทแซนบางชนิดใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตเป็นผนังไตเทียม ใช้เป็นสารลดคลอเรสเตอรอล และใช้เป็นสะพานเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม

3.7.2.3 ด้านอุตสาหกรรม

1) ใช้ทำแผ่นฟิล์มห่อหุ้มอาหาร โดยการนำไคโทแซนมาละลายในกรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 (นน./นน.) มาขึ้นรูปบนแผ่นพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีน หรือแผ่นแก้ว แล้วทำให้แห้ง ฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากรับประทานได้และทนอุณหภูมิสูง (Averbach, 1978)

2) ใช้ทำแผ่นกรองรีเวอร์สออสโมซิส Yang และ Zall (1984) ได้ผลิตแผ่นกรองรีเวอรส์ออสโมซิสโดยละลายไคโทแซนในกรดอะซิติกร้อยละ 2 แล้วแผ่เป็นแผ่นบางๆ บนแผ่นกระจก แล้วปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 แผ่นฟิล์มชนิดนี้ทนต่อด่าง (pH 13) แต่ยังคงละลายในกรด ดังนั้นการเติมหมู่อะซิติลให้กับหมู่อะมิโนอิสระทำให้แผ่นฟิล์มคงทนต่อกรด ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าแผ่นกรองที่ผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตท

3.7.2.4 ใช้เป็นสารตกตะกอน

1) ใช้บำบัดน้ำเสีย ไคโทแซนเป็นสารโพลีเมอร์โมเลกุลยาวที่มีประจุบวก จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นสารช่วยตกตะกอนอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ไคโทแซนไม่ละลายน้ำ จึงมีการใช้ไคโทแซนในรูปสารละลายกรดเนื่องจากไคโทแซนละลายได้ในกรดหลายชนิด ปริมาณไคโทแซนและสภาวะต่างๆในการตกตะกอนแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำทิ้ง และสารชนิดอื่นที่ใช้ร่วมกับไคโทแซนในการตกตะกอน

Bough (1975) ได้ทดลองตกตะกอนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไข่ โดยใช้ไคโทแซนในช่วง 100-200 มก./ล. ร่วมกับโพลีเมอร์ที่มีประจุลบ (Betz 1130) ปริมาณ 2-20 มก./ล. พบว่าการใช้ไคโทแซนปริมาณ 150 มก./ล. ร่วมกับ Betz 1130 ปริมาณ 10 มก./ล. แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 1 ชั่วโมง โดยพีเอชของน้ำมีค่า 6.7-7.1 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 72 และ 76 ตามลำดับ ปริมาณตะกอนที่ได้หลังจากการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.16 ก./ล. และเมื่อใช้การแยกตะกอนด้วยวิธีลอยตัวด้วยอากาศสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 90.8 และลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 62.1 ปริมาณตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.75 ก./ล.

Johnson และ Gallanger (1984) ได้ใช้ไคโทแซนเพื่อตกตะกอนของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากการผลิตปู ปลาซาลมอน และกุ้งแช่เยือกแข็ง พบว่าปริมาณไคโทแซนที่เหมาะสมคือ 30 มก./ล. สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 98 ในน้ำทิ้งทั้งสามชนิด โดยให้ผลใกล้เคียงกับการใช้เฟอร์ริกซัลเฟตปริมาณ 50 มก./ล. สามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 93, 98 และ 98

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามลำดับ การใช้สารละลายโพแทสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ก่อให้เกิดตะกอนขนาดใหญ่ซึ่งสามารถรวมตัวตกตะกอนได้ง่าย

Holland และ McComiskey (1986) ได้ใช้ไคโทแซน 33 มก./ล. ที่พีเอช 6.4 ร่วมกับการแยกตะกอนโดยการลอยตัวด้วยอากาศพบว่า สามารถเก็บเกี่ยวโปรตีนของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในน้ำหอยแมลงภู่ได้ร้อยละ 80, 60 และ 100 ตามลำดับ ลักษณะตะกอนที่ได้มีขนาดใหญ่

No และ Meyers (1989) ได้ใช้ไคโทแซนจากกั้งเพื่อตกตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากการแปรรูปสัตว์น้ำพบว่า การใช้ไคโทแซน 150 มก./ล.ที่พีเอช 6.0 ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ไคโทแซนทางการค้า และให้ผลดีกว่าโพลีเมอร์ 5 ชนิด คือ Betz 1410, Betz 1420, Betz DG-979, Magnifloc 2540C การใช้ไคโทแซนที่สภาวะดังกล่าวแล้วปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถลดของแข็งแขวนลอยและซีโอดีได้ร้อยละ 97 และ 45 ตามลำดับ

Kawamura (1991) ได้ทดลองใช้ไคโทแซนและโซเดียมอัลจิเตจ (Sodium Alginate) ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ประจุบวกและลบตามลำดับ ในการตกตะกอนสารแขวนลอยในกระบวนการผลิตน้ำประปาพบว่า ไคโทแซนสามารถใช้ลดความขุ่นของน้ำอย่างได้ผลโดยสามารถใช้ในช่วงความขุ่นตั้งแต่ 70 ถึง 3200 NTU โดยถ้าใช้ไคโทแซนเพียงอย่างเดียวจะใช้ในปริมาณ 0.25-1.0 มก./ล. จะมีความขุ่นตกค้าง 10-25 NTU แต่ถ้าใช้ร่วมกับสารส้มในปริมาณ 0.05+8 มก./ล. Alum จนถึง 0.15+20 มก./ล. Alum จะลดความขุ่นเหลือ 4-10 NTU ในขณะที่ถ้าใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวจะใช้ถึง 10-300 มก./ล. โดยมีความขุ่นเหลือ 5-90 NTU

2) ใช้กำจัดโลหะหนักและสารพิษ โลหะหนักเป็นสิ่งที่มีพิษต่อร่างกายเมื่อได้รับในปริมาณมากเกิน และอาจมีฤทธิ์สะสมก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงมีการใช้ไคตินและไคโทแซนในการกำจัดโลหะหนักเช่น Cu^{+2}, Cr^{+3}, Ni^{+2}, Zn^{+2}, Fe^{+3} และ Mn^{+2} (Madhavan and Tamachanrannair, 1978; Maruca, 1982; Kurita, et al., 1986 อ้างจาก สุทธวัฒน์, 2534) ไคตินและไคโทแซนสามารถจับกับสารกำจัดแมลงเช่น DDT และสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เช่น พลูโตเนียม สารเมทธิลเมอร์คิวรีอะซิเตท และมีการใช้ไคโทแซนในการกำจัดปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ฯของมันในน้ำเสีย (Brzesk, 1987) นอกจากนี้ยังมีการใช้ในการกำจัดโลหะหนักในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Ultra Pure Water) อีกด้วย

3.7.2.5 ใช้ตรึงเอนไซม์และกักเซลล์ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

โครงสร้างของไคตินอาจประกอบด้วยกลุ่มอะมิโนอิสระซึ่งสามารถจับกับเอนไซม์ได้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับกับเอนไซม์จึงมีการเตรียมไคตินให้เหมาะสมเช่น แช่ในสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (Stanley, et al., 1975) หรือสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (Synowiecki, et al., 1982) เนื่องจากสารพวกไดหรือโพลีอัลดีไฮด์สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มอะมิโนอิสระได้ง่าย แล้วทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางสำหรับการจับระหว่างเอนไซม์กับไคตินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการตรึงเอนไซม์ด้วยไคโทแซนไม่จำเป็นต้องใช้สารพวกไดหรือโพลีอัลดีไฮด์ เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเอนไซม์กับตัวค้ำจุน เนื่องจากไคโทแซนมีกลุ่มอะมิโนอิสระเพียงพอในการจับกับเอนไซม์

3.7.2.6 ด้านอื่นๆ

ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ Nicol (1991) กล่าวว่ามีการใช้ไคตินในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ครั้งแรกในปีค.ศ. 1969 บริษัทในประเทศญี่ปุ่นและเยอรมันได้ผลิตเกลือของไคโทแซนซึ่งสามารถละลายน้ำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอางค์สำหรับผิวและเส้นผม บริษัท Wella ของประเทศเยอรมัน ได้ผลิตเครื่องสำอางค์สำหรับเส้นผมมานานประมาณ 10 ปี โดยอาศัยคุณสมบัติการเกิดแผ่นฟิล์มของไคโทแซนสำหรับผลิตสเปรย์และยาเคลือบเล็บ ตลอดจนอาศัยคุณสมบัติการเป็นสารให้ความหนืดสำหรับเป็นส่วนผสมของครีม ส่วนบริษัท Chito-Bios of Ancona ในอิตาลีได้ผลิตเอ็นคาร์บอกซีบิวทิว-ไคโทแซน ภายใต้เครื่องหมายการค้า "Evalsan®" แทนการใช้กรดไฮยาลูโรนิก สำหรับผลิตภัณฑ์แชมพู สบู่เหลว ยาสีฟัน ครีม โลชั่น

ในอุตสาหกรรมทอผ้า ไคตินสามารถป้องกันการหดตัวของเนื้อผ้า ส่วนไคโทแซนใช้กำจัดสีในน้ำเสียจากการย้อม (Brzeski, 1987)

ในการถ่ายภาพ การเติมไคโทแซนลงในฟิล์มถ่ายรูป สามารถเพิ่มความไวในการสร้างภาพ (Brzeski, 1987)

จากหัวข้อต่างๆของการใช้ประโยชน์ของไคตินและไคโทแซน จะเห็นได้ว่ามีอยู่อย่างกว้างขวางมากมาย รวมทั้งใช้ในการเป็นสารตกตะกอนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารเพื่อนำโปรตีนที่ได้กลับมาใช้ใหม่ เพราะไคโทแซนไม่มีผลร้ายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันมีการใช้ไคตินและไคโทแซนในกระบวนการ Water Purifying Systems ในสหรัฐฯ และญี่ปุ่นอย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจุบันในสหรัฐฯทาง USEPA อนุญาตให้ใช้สาร Acrylamine

ผสมลงในโพลีเมอร์สังเคราะห์ได้เพียงร้อยละ 0.05 (โดยน้ำหนัก) และมีเป้าหมายที่จะลดให้เหลือ 0.0 มก./ล. ในอนาคต ในขณะที่ USEPA อนุญาตให้ใช้ไคโทแซนในน้ำได้ถึง 10 มก./ล. เมื่อปี 1981 (Kawamura, 1991)

ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวในการสกัดเอาไคตินและไคโทแซนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการผลิตวัสดุมีมูลค่าสูงจากวัสดุเหลือทิ้ง Nicol (1991) ได้อ้างถึงข้อมูลของ FAO ว่าในปี ค.ศ.1987 สัตว์พวกกุ้งที่จับได้มีประมาณ 3.69 ล้านตัน ประมาณการว่ามีไคตินร้อยละ 1 ของน้ำหนักสด ดังนั้นจึงน่าจะผลิตไคตินได้ประมาณ 36,900 ล้านตัน/ปี ไคตินและไคโทแซนมีแหล่งผลิตที่สำคัญคือ ประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐฯ นอกจากนี้มีการผลิตในประเทศอินเดีย อิตาลี โปแลนด์ ส่วนประเทศบราซิล คิวบา ไอร์แลนด์ นอร์เวย์ อุรุกวัย และรัสเซีย มีการผลิตในปริมาณที่น้อยมาก (Brzeski, 1987) สำหรับในประเทศไทย เมื่องมองถึงการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแล้ว จะเห็นว่าเปลือกกุ้งจำนวนมหาศาลที่ถูกทิ้งไปนั้นเป็นแหล่งที่มีศักยภาพสูง ในการที่จะนำมาแปรสภาพเป็นไคตินและไคโทแซนในเชิงการค้าและอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี การวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการทดลองนำไคโทแซนมาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในอีกแนวทางหนึ่ง

3.7.3 คุณสมบัติทางเคมีของไคตินและไคโทแซน

ไคตินบริสุทธิ์ มีสีขาว ไม่ละลายในน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน ด่างแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ แต่ละลายในกรดฟอร์มิกบริสุทธิ์ สารละลายไฮโปคลอไรท์ และกรดแร่เข้มข้น (Conrad, 1965) นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลาย N,N-dimethylacetamide (DMAc)- 5% LiCl และ N-methyl-2-pyrrolidone (NMP)- 5% LiCl สามารถละลายไคตินได้โดยไม่ทำลายโครงสร้างของไคติน (Rutherford and Austin, 1978)

ไคโทแซนสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดออกซาลิก กรดมาโลนิก กรดซัคซินิก กรดอะดิพิก กรดแลกติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก นอกจากนี้ยังสามารถละลายในกรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง และกรดเปอร์คลอริก และละลายได้เล็กน้อยในกรดฟอสฟอริก แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโทแซนไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายในรูปเกลือของกรดหลายชนิด ยกเว้นเกลือซัลเฟต และเกลือซัลไฟท์ ไคโทแซนไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพเป็นกรดเช่น ละลายในส่วนผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำ (3:1)

ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 (Filar and Wirick, 1978; Kienzle-Sterzer, et al., 1982 อ้างจาก สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2534)

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของสารละลายไคโทแซนคือ ความหนืดซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่น น้ำหนักและโครงสร้างของโมเลกุล อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างไคโทแซนและกรด เป็นต้น

3.7.4 การแยกไคตินและการผลิตไคโทแซน

ไคตินและไคโทแซน เป็นโพลีเมอร์ชีวภาพที่มีการค้นพบและมีการศึกษามากกว่าศตวรรษแล้วแต่ไม่เป็นที่รู้จักกว้างขวางนัก ทั้งนี้เนื่องจากความยุ่งยากในการเตรียมสารโพลีเมอร์ทั้งสองให้บริสุทธิ์ สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าในรายละเอียดและเข้าใจถึงคุณสมบัติจำเพาะในด้านต่างๆ เนื่องจากโพลี-เมอร์ทั้งสองนี้ จะพบในธรรมชาติในรูปของสารประกอบ (complex form) กับโพลีเมอร์ชนิดอื่นๆโดยเฉพาะโปรตีน รวมทั้ง Calcium carbonate และ Pigments ต่างๆ แต่ความจริงแล้วในปัจจุบันไคตินและไคโทแซนสามารถเตรียมได้โดยไม่ยุ่งยากและซับซ้อนนัก

3.7.4.1 การแยกไคติน (วรรณา ตลุยธัญ, 2536)

สารเคมี : สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 10-20 โดยปริมาตร

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ขั้นตอนการแยก :

1. นำเปลือกกุ้งสดมาล้างจนสะอาด อบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วบดด้วยเครื่องบดให้มีขนาดเล็ก หรือ อาจจะใช้เปลือกกุ้งสดเลยก็ได้

2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรดประมาณ 1:10 กวนตลอดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3. เทสารละลายกรดทิ้ง กรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง ล้างน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จนหมดความเป็นกรด

4. เติมสารละลายโซดาไฟ ในอัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายโซดาไฟประมาณ 1:10 กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5. เทสารละลายโซดาไฟทิ้ง กรองเอาเฉพาะส่วนของแข็ง ล้างน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง จนหมดความเป็นด่าง

6. อบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้สารไคตินตามต้องการ

3.7.4.2 การผลิตไคโทแซน (วรรณา ตลุยธัญ, 2536)

<u>สารเคมี</u> : สารละลายโซดาไฟความเข้มข้นประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก

<u>ขั้นตอนการผลิต</u> :

1. นำไคตินที่สกัดได้มาต้มด้วยสารละลายโซดาไฟที่อุณหภูมิ 100-140 °C กวนตลอดเวลาภายในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง (จะไม่ใช้ก๊าซไนโตรเจนก็ได้แต่คุณภาพไคโทแซนจะแตกต่างออกไป)

2. เทสารละลายโซดาไฟทิ้ง กรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง ล้างน้ำให้สะอาดหลายๆครั้งจนหมดความเป็นด่าง

3. อบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้สารไคโทแซนตามต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย