

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเสีย (wastewater)

น้ำเสีย (wastewater) หมายถึง น้ำที่ใช้แล้วในกิจกรรมต่าง ๆ ของชุมชน บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ สถานประกอบการต่าง ๆ ตลอดจนโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งอาจมีทั้งน้ำในดิน น้ำผิวดินและน้ำฝนรวมอยู่ด้วย (วิทยา เพียรวิจิตร, 2525) ในน้ำเสียต่าง ๆ เหล่านี้ ก็จะมีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพื่อให้มีน้ำนั้นมีสภาพที่ดีขึ้นก่อนที่จะปล่อยออกไปสู่แหล่งน้ำอื่น ๆ หรือสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน, 2540) ชนิดและปริมาณของสิ่งเจือปนในน้ำเสียจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ในที่นี้จะกล่าวถึงสิ่งสกปรกในน้ำเสียโดยรวมที่สามารถพบในน้ำเสียเกือบทุกประเภท ดังนี้ คือ

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว พืชผัก ชี้นเนื้อ เป็นต้น
2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตราย ต่อสิ่งมีชีวิต หรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำปะปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต เป็นต้น
3. โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะมาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนมา กับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้จากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล ฯลฯ
4. ไขมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู
5. ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการใช้ ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ
6. ของแข็ง จะประกอบด้วยของแข็งแขวนลอย (suspended solid) ตะกอนหนัก (settleable) และของแข็งละลาย (dissolved solids) ซึ่งเมื่อจมตัวอยู่สู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้

ออกซิเจนที่ต่องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการค้ารังสีของสัตว์น้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

7. สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และ โรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำและทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู

8. กรดและด่าง วัดโดยแสดงเป็นค่าพีเอช ถ้าค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอช น้อยกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นกรด น้ำสะอาดจะมีค่าพีเอช เท่ากับ 7 ค่าพีเอชมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5 ถึง 9

9. สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อปลา

10. จุลินทรีย์ (microorganisms) นำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือ โรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ทำให้สามารถลดระดับของออกซิเจนละลายในน้ำได้ในระยะสั้น ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

11. สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์กรของรัฐบาลเป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่สิ่งมีชีวิตจะก่อให้เกิดมะเร็งได้

12. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (algae boom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงเวลากลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

13. กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุน, 2540)

ประเภทของน้ำเสีย

จากชนิดและและปริมาณของสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำเสียสามารถแบ่งประเภทของน้ำเสียตามลักษณะของแหล่งกำเนิด ได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater)

น้ำเสียประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ

1.1 น้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัย ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากสิ่งปฏิกูล และน้ำเสียที่มาจากกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การประกอบอาหาร การล้างภาชนะและอุปกรณ์ และการชำระร่างกาย เป็นต้น

1.2 น้ำเสียจากสถานประกอบการต่าง ๆ สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ น้ำเสียจากแหล่งชุมชนแต่ละแห่งต่างก็มีลักษณะและปริมาณแตกต่างกันออกไป

2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (industrial wastewater)

น้ำเสียประเภทนี้มีลักษณะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะมาจากส่วนต่าง ๆ ของกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น

2.1 น้ำหล่อเย็น (cooling water) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้จัดเป็นปัจจัยก่อมลพิษ (thermal pollution)

2.2 น้ำล้าง (wash water) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบ เครื่องจักร อุปกรณ์ต่าง ๆ และพื้นโรงงาน เป็นต้น น้ำล้างนี้อาจมีความสกปรกมาก ๆ เช่น มีคราบน้ำมัน สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดละลายปนอยู่

2.3 น้ำจากขบวนการผลิต (process wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่วนใหญ่เป็นน้ำที่สกปรกค่อนข้างมาก

2.4 น้ำเสียอื่น ๆ (miscellaneous wastewater) เช่น น้ำเสียจากหม้อน้ำ น้ำเสียจากเครื่องกรองความกระด้างของน้ำ ฯลฯ

3. น้ำเสียจากการเกษตร (agricultural wastewater)

น้ำเสียประเภทนี้ ได้แก่ น้ำเสียจากการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ เฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่เป็นลักษณะของการอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา และกุ้ง เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน, 2540) น้ำเสียประเภทนี้จะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์

เป็นส่วนใหญ่ เช่นมูลสัตว์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังพบสารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยเคมีที่มีส่วนผสมของสารไนเตรท ฟอสเฟต

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ด้วยกันหลายกระบวนการซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. กระบวนการทางกายภาพ (physical unit operations)

คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยแรงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นขั้นตอนแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง (screening) การตัดย่อย (comminution) การกวาด (skimming) การกวน (mixing) การทำให้ลอย (flotation) การตกตะกอน (sedimentation) การแยกตัวด้วยแรงเหวี่ยง (centrifugation) การกรอง (filtration) การกำจัดตะกอนหนัก (grit removal) เป็นต้น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์,

2. กระบวนการทางเคมี (chemical unit process)

คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยสารเคมีผสมกับน้ำเสียเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อแยกเอามลสารต่าง ๆ ออกจากน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) สารเคมีที่ใช้ได้แก่ สารส้ม (alum) ปูนขาว (lime) เฟอร์รัส ซัลเฟต (ferrous sulfate) เฟอริก คลอไรด์ (ferric chloride) (Tchobanoglous & Burton, 1991) กระบวนการทางเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีหลายประเภท ได้แก่ โคแอกกูเลชัน (coagulation) การตกผลึก (precipitation) การปรับพีเอช การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และ ออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางเคมีนี้ใช้สำหรับน้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรดหรือด่างสูงเกินไป มีโลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น สังกะสี ดีบุก มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ยาก มีสารประกอบอินทรีย์ละลายน้ำที่เป็นพิษ เช่น ซัลไฟด์ มีไขมันหรือน้ำมันละลายน้ำ (มันสิน ตัณฑุลเวศน์, 2537 ก)

3. กระบวนการทางชีวภาพ (biological unit process)

คือวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยจุลินทรีย์ที่จะทำการย่อยสลายและเปลี่ยนสารอินทรีย์ต่าง ๆ ไปเป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศและจะได้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนขึ้น (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกใช้เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ทำให้น้ำเสียมีความสกปรกลดลง วิธีการบำบัดอาจเป็นแบบใช้ออกซิเจนหรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศน์, 2537 ข) การบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ระบบทรिकคิงฟิลเตอร์ (trickling filter) ระบบจานหมุนชีวภาพ (bio disc หรือ rotating

biological contactors:RBC) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (oxidation pond) ระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (anaerobic filter) (มันสิน ตันพุลเวศน์, 2537 ก)

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

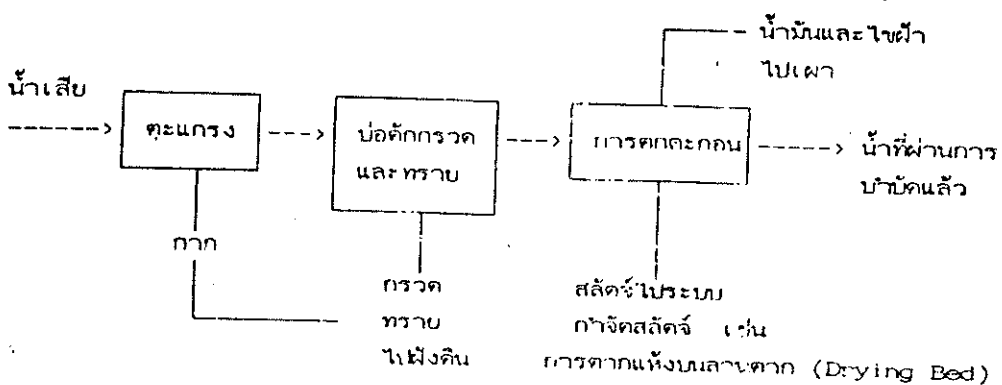
ในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่ว ๆ ไป จะประกอบด้วยกระบวนการในการบำบัดน้ำเสียซึ่งที่กล่าวแล้วในขั้นต้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ระบบบำบัดก่อนขั้นต้น (preliminary treatment)

เป็นระบบที่อยู่ในขั้นแรกของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง การกำจัดตะกอนหนักการทำให้อลอย การบดตัด เป็นต้น ความมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือ การขจัดสิ่งที่จะไปอุดตันหรือทำความเสียหายแก่เครื่องสูบน้ำ (วิทยา เพ็ชรวิจิตร, 2525) หรือระบบบำบัดขั้นอื่น ๆ

2. ระบบบำบัดขั้นต้น (primary treatment)

เป็นระบบที่อยู่ในขั้นต้องการแยกสารตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย และกำจัดสารอินทรีย์บางส่วนออกจากน้ำเสีย (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2539) เป็นการลดปริมาณของแข็งและน้ำมันหรือไขมันที่ลอยอยู่ ดังแสดงในภาพ 1 กระบวนการบำบัดขั้นต้นสามารถกำจัดปริมาณของแข็งและบีโอดีได้ราว 20-35 % การบำบัดขั้นนี้ประกอบด้วย การกรองด้วยตะแกรง (screening) การกำจัดกรวดและทราย (grit removal) การตกตะกอน (sedimentation) และการกำจัดน้ำมันและไขมัน (oil and grease removal) (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)



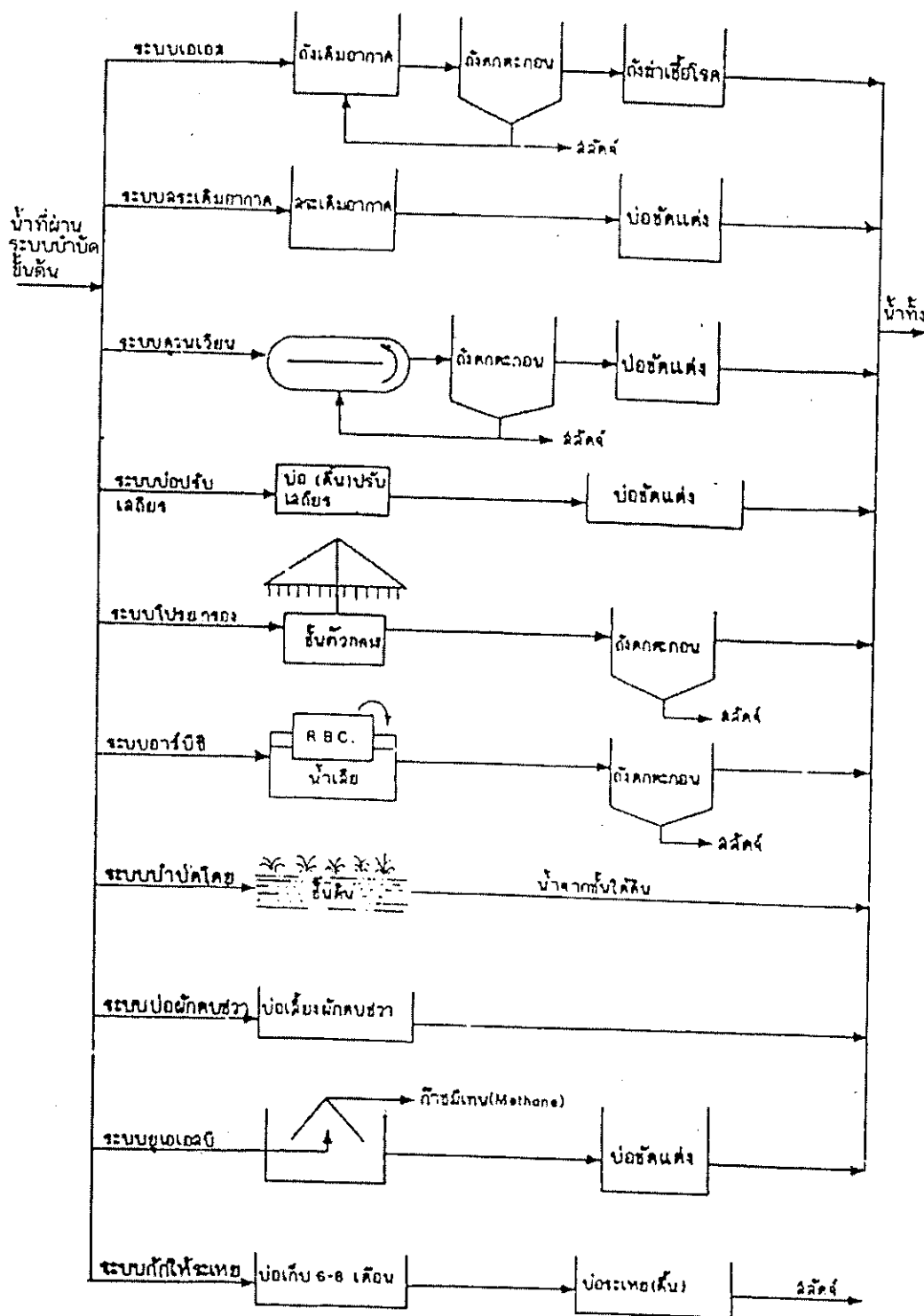
ภาพที่ 1 การบำบัดขั้นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

3. ระบบบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment)

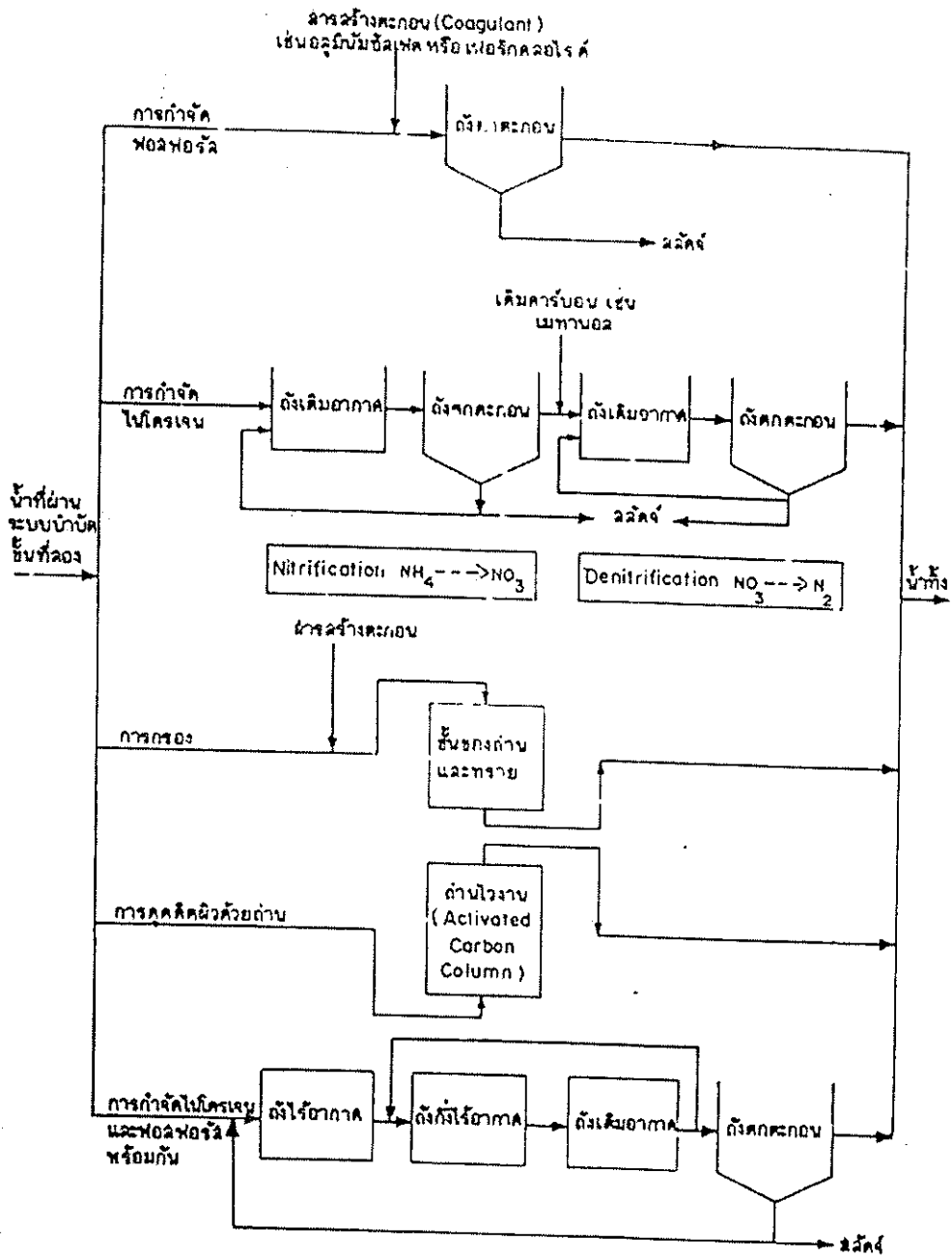
เป็นระบบที่กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539) และใช้กันอย่างแพร่หลาย การบำบัดขั้นนี้สามารถกำจัดค่าบีโอดีในน้ำเสียให้ลดปริมาณลงอีก 50-90% ขึ้นอยู่กับระบบที่ใช้ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ ดังแสดงในภาพ 2 เช่นระบบเอเอส (activated sludge) ระบบสระเติมอากาศ (aerated lagoon) ระบบ lagun เวียน (oxidation ditch) ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) ระบบโปรยกรอง (trickling filter) ระบบอาร์บีซี (RBC) ระบบบำบัดโดยดิน (land application) ระบบบ่อผักตบชวา (water hyacinth pond) ระบบยูเอสบี (UASB, upflow anaerobic sludge blanket) ระบบกักให้ระเหย (storage and evaporation) ระบบต่าง ๆ เหล่านี้มักจะตามด้วยถังตกตะกอนหรือบ่อขัดแต่ง (polishing pond) ซึ่งเป็นการกำจัดปริมาณของแข็งหรือจุลินทรีย์ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพของระบบบำบัด ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่ลำน้ำ อนึ่งเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคลงสู่แหล่งน้ำ ขั้นตอนสุดท้ายของระบบควรเป็นการฆ่าเชื้อโรค เช่น การเติมคลอรีน (chlorination) การใช้โอโซน หรือการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

4. ระบบบำบัดขั้นที่ 3 (tertiary treatment) หรือการบำบัดขั้นสูง (advanced treatment)

เป็นระบบบำบัดที่แยกและกำจัดสารตะกอนแขวนลอยที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง การกำจัดสารไนโตรเจน และฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย และการกำจัดสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่หลงเหลือจากระบบบำบัดขั้นที่สอง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะทำการบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพของน้ำทิ้งดีขนาดไหน (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539) ดังแสดงในภาพ 3 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดอยู่ประมาณ 90-95% ของค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ปริมาณของแข็งก็จะถูกลดลงไปอีกด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) โดยทั่วไประบบบำบัดขั้นที่สามมักจะใช้กับการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ต้องการนำกลับมาใช้อีก เช่นนำมาใช้รดน้ำสนามหญ้า ใช้กับการชักโครกของโถส้วม ใช้กับระบบหล่อเย็น แม้กระทั่งนำไปใช้ผลิตน้ำปะปา (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539)



ภาพที่ 2 การบำบัดขั้นที่สอง (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)



ภาพที่ 3 การบำบัดขั้นที่สามหรือการบำบัดขั้นสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

ในการบำบัดขั้นที่สามสามารถแบ่งออกตามลักษณะของสารที่ต้องการกำจัดได้ดังต่อไปนี้

4.1 การกำจัดฟอสฟอรัส (phosphorus removal) โดยทั่วไปในการบำบัดน้ำเสีย การกำจัดฟอสฟอรัสจะใช้สารเคมี เช่น การตกตะกอนฟอสฟอรัสโดยใช้เหล็กหรืออะลูมิเนียม ในที่นี้จะกล่าวถึงการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้จุลินทรีย์ ระบบที่ใช้ในการกำจัดฟอสฟอรัสที่นิยมใช้แบ่งออกเป็น 2 ระบบดังนี้

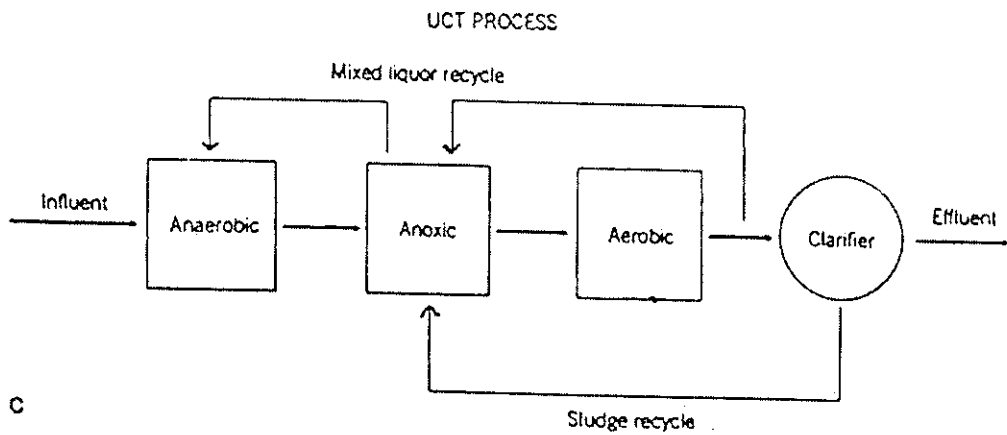
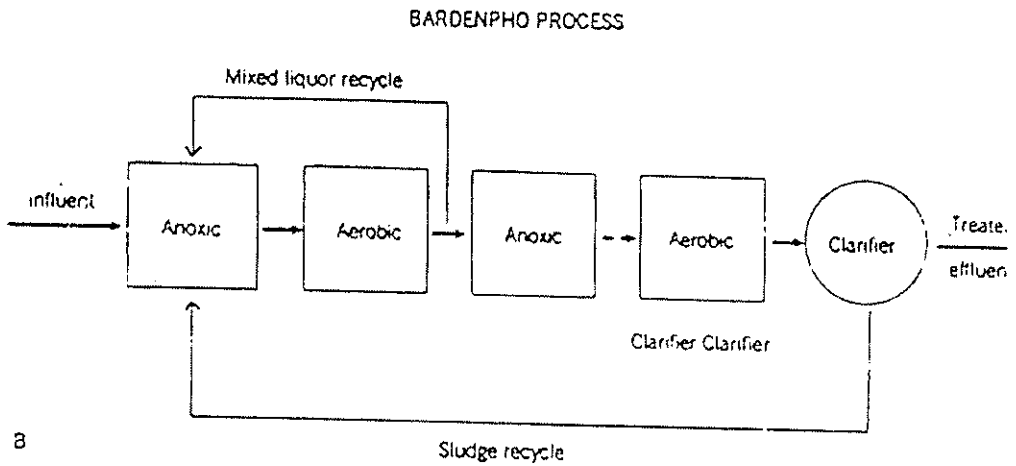
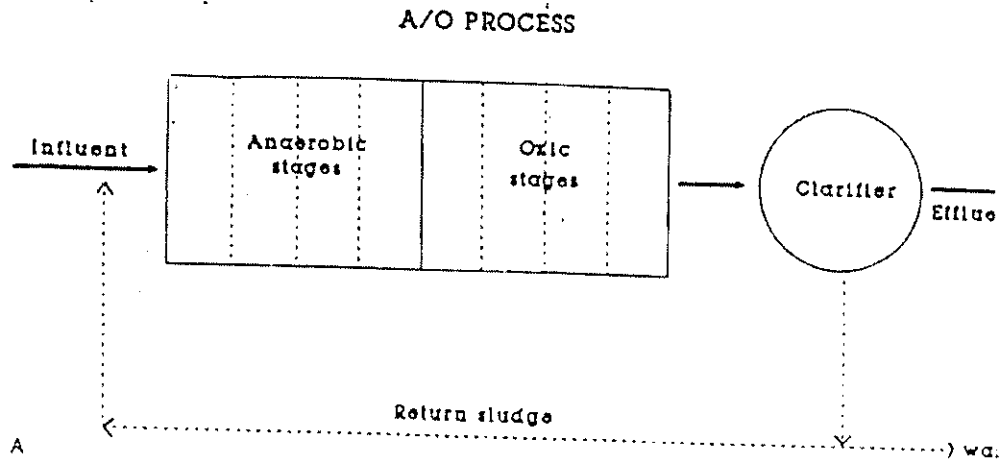
4.1.1 Mainstream processes คือขั้นตอนการกำจัดฟอสฟอรัสที่มีการแยกเป็นถังย่อย ๆ คือ ถัง aerobic ถัง anaerobic ถัง oxic และ ถัง anoxic ดังแสดงในภาพ 4 โดยในระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้ คือ

4.1.1.1 A/O (aerobic/oxic) process ดังแสดงในภาพ 4A ในระบบแบบนี้จะประกอบด้วยระบบตะกอนเร่งที่เป็นแบบ anaerobic และแบบ oxic ซึ่งจะทำให้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสและคาร์บอนได้ และสร้างสลัดจ์ที่มีฟอสฟอรัสอย่างสมบูรณ์

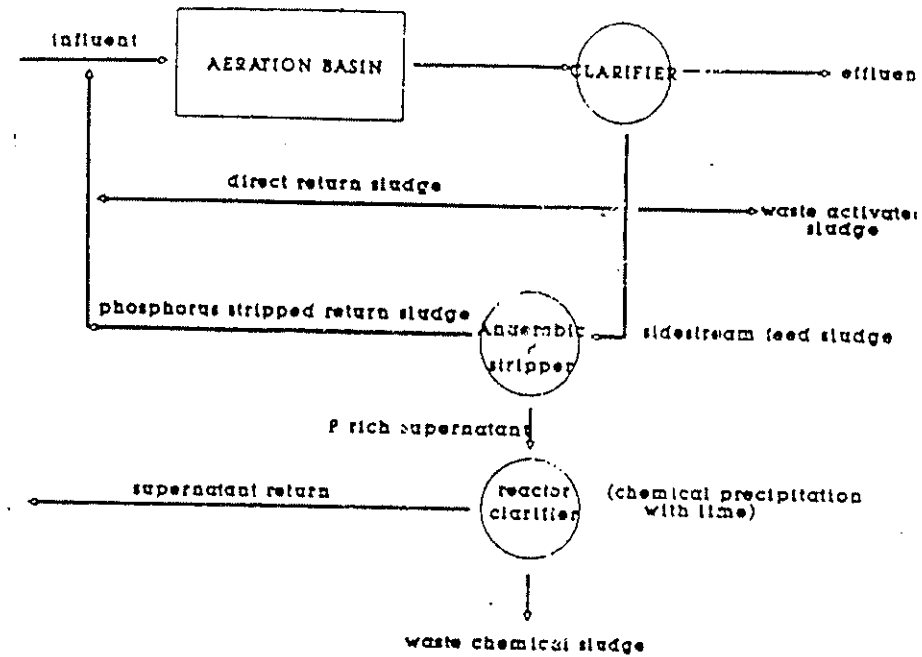
4.1.1.2 Bardenpho process ดังแสดงในภาพ 4B ระบบนี้ถูกพัฒนาโดย นายเบอร์นาร์ดในแอฟริกาใต้ ประกอบด้วย ถัง aerobic 2 ถังและ ถัง anoxic 2 ถัง สุดท้ายตามด้วยถังตกตะกอนของกลุ่มจุลินทรีย์ ถังที่ 1 เป็นถัง anoxic และใช้สำหรับการเกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยใช้น้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอน ถังที่ 2 เป็นถังแอโรบิกซึ่งจะใช้ในการเกิดขบวนการออกซิเดชันสารประกอบคาร์บอน และไนตริฟิเคชัน ในถังที่ 2 นี้จะมีการผสมกันของน้ำเสีย ซึ่งจะประกอบด้วยไนเตรท และจะเกิดการย้อนกลับเข้าสู่ถังที่ 1 ถังที่ 3 เป็นถัง anoxic ซึ่งจะทำให้การกำจัดไนเตรท โดยการเกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชัน ถังที่ 4 เป็นถัง aerobic ในถังนี้จะเกิดก๊าซไนโตรเจน และตะกอนของเสียต่าง ๆ จะเข้าสู่ถังตกตะกอน และมีการนำตะกอนย้อนกลับเข้าสู่ถังที่ 1 (Bitton, 1994) แต่ว่าระบบนี้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าฟอสฟอรัส

4.1.1.3 UCT process ดังแสดงในภาพ 4C ในระบบนี้จะประกอบด้วยถัง 3 ถัง คือ anaerobic anoxic และ aerobic สุดท้ายตามด้วยถังตกตะกอน แต่การย้อนกลับของสลัดจ์จะเข้าสู่ถัง anoxic

4.1.2 Sidestream process ในระบบนี้จะเรียกถัง anaerobic ว่า anaerobic phosphorus stripper ฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยจากสลัดจ์ น้ำส่วนใสที่มีฟอสฟอรัสจะบำบัดด้วยการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ปูนขาว ดังแสดงในภาพ 5 ถ้าน้ำที่เข้าสู่ขั้นตอนนี้มีค่าออกซิเจนละลายน้ำ (LO) มากกว่า 2 mg/L ฟอสฟอรัสจะถูกปรับเข้าสู่ aeration basing ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด น้อยกว่า 1 mg/L (Bitton, 1994)



ภาพที่ 4 Mainstream process : A. A/O process, B. Bardenpho process และ C. UCT process (Bitton, 1994)



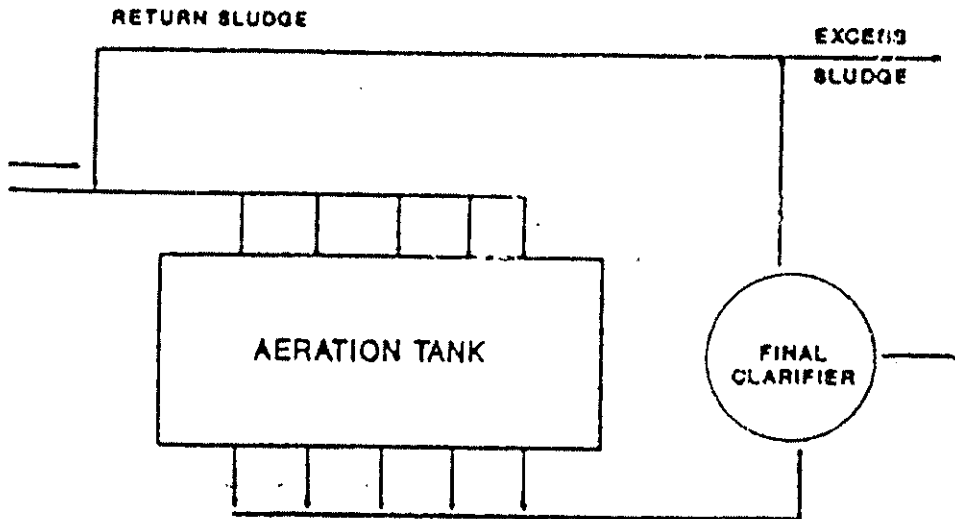
ภาพที่ 5 Sidestream process (Bitton, 1994)

4.2 การกำจัดไนโตรเจน (nitrogen removal) โดยเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท (nitrification) และเปลี่ยนไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน (denitrification) ในการกำจัดไนโตรเจนนี้ได้มีการนำขบวนการทางชีวภาพเข้ามาใช้ ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนของขบวนการไนตริฟิเคชันและตามด้วยขั้นตอนของขบวนการดีไนตริฟิเคชัน ดังนี้

4.2.1 ขั้นตอนการเกิดไนตริฟิเคชัน (nitrification system) ประกอบด้วย 2 ระบบ ดังแสดงในภาพ 6 คือ

4.2.1.1 Combined carbon-oxidation nitrification (single-stage nitrification system) ในขั้นตอนนี้จะช่วยลดค่า BOD ของน้ำเสีย ปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม nitrifiers จะมีปริมาณน้อย จุลินทรีย์ที่ทำงานในขั้นตอนนี้จะเป็นกลุ่มเฮโทโทรฟ

4.2.1.2 Two-stage nitrification ในขั้นตอนนี้จะเกิดขบวนการไนตริฟิเคชัน โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม nitrifiers ทำให้ไนโตรเจนอยู่ในรูปของไนเตรท เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันต่อไป



ภาพที่ 6 ระบบการเกิดไนเตรฟิเคชัน (nitrification system) (Bitton, 1994)

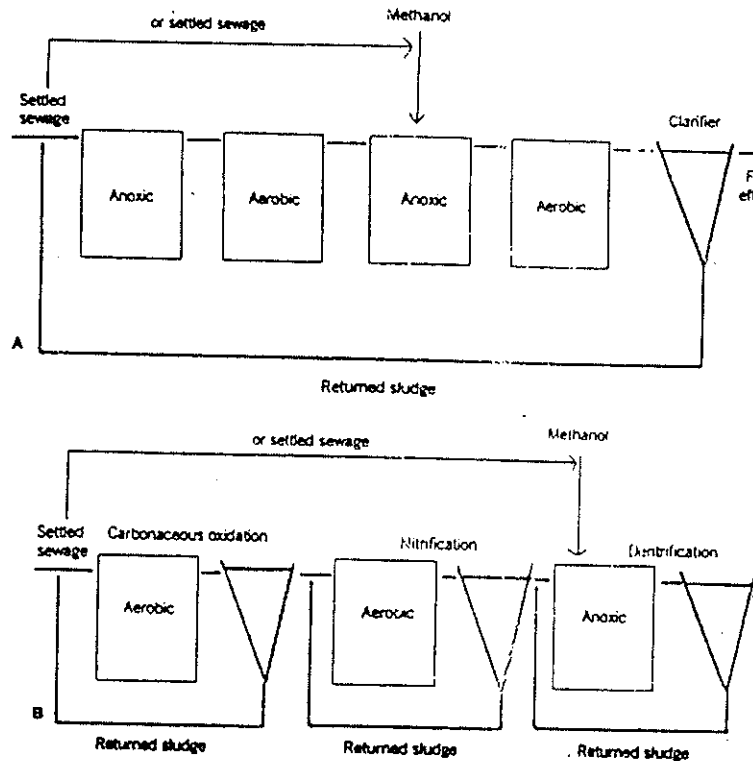
4.2.2 ขั้นตอนการเกิดดีไนเตรฟิเคชัน (denitrification system) ในขั้นตอนนี้จะทำการกำจัดไนโตรเจน โดยทำการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของก๊าซไนโตรเจน (N_2) ระบบการบำบัดในขั้นตอนนี้ที่นิยมใช้มีดังนี้

4.2.2.1 Single sludge system ดังแสดงในภาพ 7A ระบบนี้จะประกอบด้วยถังบำบัดแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิก แทนที่จะเป็นถังบำบัดแบบแอโรบิกถังเดียว

4.2.2.2 Multisludge system ดังแสดงในภาพ 7B ระบบนี้จะแยกออกเป็น 3 ระบบย่อยออกจากกัน คือ carbonaceous oxidation nitrification และ denitrification โดยใช้เมธานอล หรือตะกอนของเสีย เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในกลุ่ม denitrifier

4.2.2.3 Bardenpho process ดังแสดงในภาพ 4B ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ

4.1.1.2



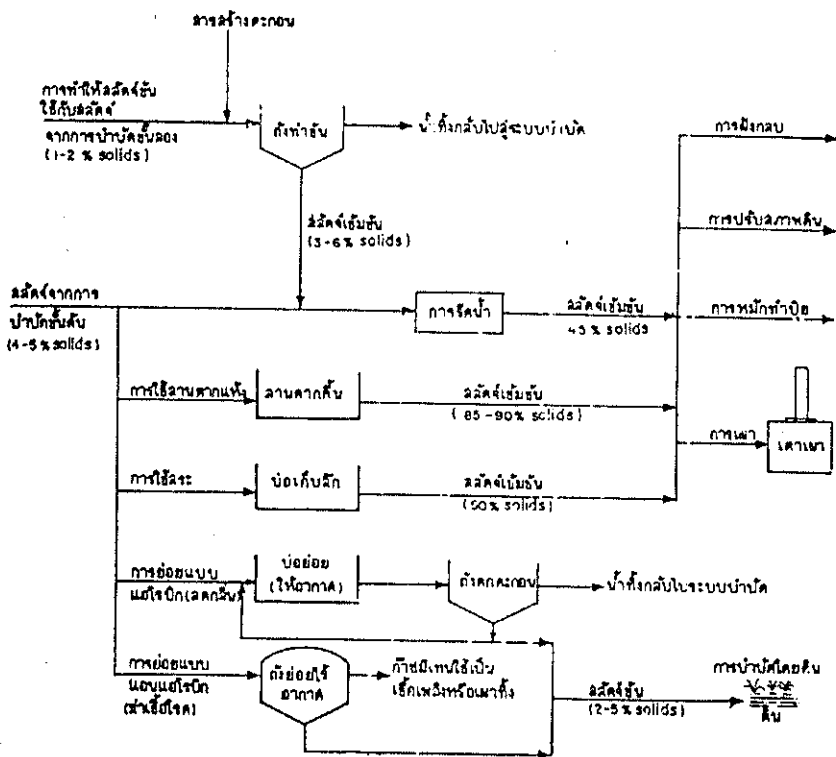
ภาพที่ 7 ระบบดีไนตริฟิเคชัน : A. Single-sludge system และ B. Multisludge system
(Bitton, 1994)

4.3 การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) คือ การกำจัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและไม่ถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาทางชีวภาพ เช่น สารที่ทำให้เกิดสี โดยการให้ถูกดูดไว้บนผิวของถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งสามารถนำไปฟื้นฟูสภาพ (regenerate) ได้ด้วยการเผาให้สารอินทรีย์ระเหยไป

4.4 การกรอง (filtration) คือ การกำจัดปริมาณของแข็งจากน้ำเสียเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพสูง นิยมใช้ชั้นของคาร์บอนและทรายขนาดเล็ก ในถังลึกประมาณ 1 เมตร ใช้สารสร้างตะกอน (coagulant) ช่วยให้ของแข็งรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ก่อนผ่านชั้นกรองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

4.5 การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนพร้อมกัน (combined removal of phosphorus and nitrogen) คือการใช้ถังแบบไร้อากาศ กึ่งไร้อากาศ และมีอากาศ สลับกันเพื่อกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน ดังแสดงในภาพ 3 โดยแต่ละระบบจะมีการออกแบบและควบคุมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

5. การบำบัดสลัดจ์ (sludge treatment) สลัดจ์ที่ถูกคัดออกจากถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ จะถูกนำมารวมกันก่อนถูกบำบัดต่อเพื่อปรับสภาพ (conditioning) และรีดน้ำออกเพื่อลดปริมาณของน้ำในกากตะกอน (cake) รวมทั้งทำลายเชื้อโรคพร้อมทั้งลดกลิ่น (stabilization) ก่อนนำไปทิ้งหรือใช้ประโยชน์ ดังแสดงในภาพ 8 กระบวนการกำจัดสลัดจ์ มีอยู่หลายกระบวนการ เช่น การทำสลัดจ์ข้น (sludge thickening) การย่อยแบบแอโรบิก (aerobic digestion) การย่อยแบบแอนแอโรบิก (anaerobic digestion) การใช้สระ (lagooning) การรีดน้ำ (dewatering) การใช้ลานตากแห้ง (drying bed) การหมักทำปุ๋ย (composting) การฝังกลบ (land filling) การบำบัดโดยดิน (land application) การเผา (incineration) แต่วิธีที่ใช้กันมากในประเทศไทย ได้แก่ การตากแห้งและหมักทำปุ๋ย เพราะเป็นกรรมวิธีที่ง่ายและได้ปรับสภาพดิน (soil condition) ไปใช้ประโยชน์ ตัวปรับสภาพดินจากสลัดจ์นอกจากจะมีซากพืชซากสัตว์ (ขนาดเล็ก) ที่เรียกว่าฮิวมัสแล้ว ยังมีคุณค่าทางอาหารเหมาะสำหรับปลูกพืช คือประกอบด้วยสารไนโตรเจน ฟอสเฟต และแร่ธาตุต่าง ๆ (กรมมลพิษ, 2537)



ภาพที่ 8 ระบบการกำจัดสลัดจ์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2537)

ในการศึกษาครั้งนี้ น้ำเสียที่นำมาใช้เป็น น้ำเสียจากแหล่งชุมชน จึงได้ทำการเสนอ รายละเอียดเกี่ยวกับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนดังต่อไปนี้

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater)

น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (domestic wastewater) หมายถึงน้ำที่ถูกใช้แล้วจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในรูปของขนาดใหญ่ ขนาดเล็ก และขนาดเล็กมาก ๆ จนไม่สามารถมองดูด้วยสายตาของเรา และน้ำเสียยังมีสิ่งมีชีวิตเล็กมากอาศัยปะปนอยู่ด้วยได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และโปรโตซัว (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539) อย่างไรก็ตามส่วนประกอบในน้ำเสียจากแต่ละชุมชนจะมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ลักษณะของชุมชน ถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลที่จำกัด ก็จะทำให้มีความเข้มข้นของสิ่งโสโครกมาก ในทางกลับกันถ้าเป็นชุมชนที่มีปริมาณการใช้น้ำต่อบุคคลสูงก็จะทำให้มีความเข้มข้นของความสกปรกไม่มากนัก
2. ระบบท่อระบายน้ำ ถ้ามีท่อระบายน้ำโสโครกจากบ้านเรือนแยกกับน้ำล้างมือล้างหน้าหรือผิวหนังและไม่มีน้ำโสโครกจากโรงงานอุตสาหกรรมย่อยมาปะปนแล้ว ความเข้มข้นและส่วนประกอบของน้ำโสโครกก็จะคงที่
3. อัตราการไหลภายในท่อ ในแต่ละวันอัตราการไหลอาจไม่เท่ากัน ฉะนั้นจึงอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำโสโครกได้ (เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต, 2539)
4. ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน น้ำเสียจากแหล่งชุมชนมีคุณลักษณะเป็นกลางมีค่าพีเอชไม่ต่างจาก 7 มากนัก สิ่งสกปรกในน้ำทั้งนี้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นของแข็งและสารละลาย นอกจากนี้ยังมีเชื้อโรคและพยาธิปะปนอยู่ด้วย แต่สิ่งสกปรกที่สำคัญมากที่สุดได้แก่ สารอินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ นิยมวัดรวมกันเป็นค่าบีโอดี (BOD; biochemical oxygen demand) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2518) ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยทั่วไปแสดงไว้ดังตาราง 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2537)

องค์ประกอบ	มก./ล.
BOD ₂	110-440
COD	1.75 x BOD ₅
TOC	0.8 x BOD ₅
Total Solids (TS)	350-1,200
Total Suspended Solid (TSS)	100-350
Sculeable Solids	5-20
Grit (สารอนินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.2 มม.)	-
Grease	50-150
Total Nitrogen, as N	20-85
- Organic nitrogen	0.4 x Total - N
- Ammonia nitrogen	0.6 x Total - N
- Nitrate nitrogen	(0.0-0.5) x Total - N
Total phosphate	4-15
- Organic phosphate	0.3 x Total - P
- Inorganic phosphorus (ORTHO - P และ POLY - P)	0.7 x Total - P
Total alkalinity as CaCO ₃	50-200
Chlorides as Cl	20-50
Sulfates as SO ₄	15-30
Nitrate as NO ₃	20-40
Phosphates as PO ₄	20-40
Potassium as K	7-15
Calcium as CaCO ₃	15-40
Magnesium as CaCO ₃	15-40
Boron as B	0.1-0.4
Total Dissolved Solids	100-300

การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การบำบัดก่อนขั้นต้น (preliminary treatment) ได้แก่การแยกสิ่งสกปรกขนาดใหญ่ ออกโดยใช้ตะแกรง (screen) และแยกตะกอน ดิน ทราชที่มีน้ำหนักมากออกโดยใช้รางคกตะกอน (grit chamber) จุดมุ่งหมายของการบำบัดก่อนขั้นต้น คือการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมแก่การบำบัดขั้นต่อไป มิให้มีสิ่งสกปรกชิ้นใหญ่ ๆ ไปอุดตันท่อหรือเครื่องสูบน้ำ และ ป้องกันไม่ให้ขี้ดินทราชที่ติดมากับน้ำเสียไปตกตะกอนอุดตันท่อทางระบายน้ำต่าง ๆ ในระบบ บำบัด การบำบัดในขั้นนี้ลดค่าบีโอดีเพียงเล็กน้อยหรือไม่ลดเลย

2. การบำบัดขั้นต้น (primary treatment) ได้แก่การนำน้ำเสียมาตกตะกอนเบาออก จากน้ำเสีย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ตะกอนที่แยกออกจากกันดังตกตะกอน เรียกว่า primary sludge จะถูกบำบัดต่อไป การบำบัดในขั้นนี้จะลดค่าบีโอดีได้ประมาณ 25-40% แล้วแต่ลักษณะ ของน้ำเสียและประสิทธิภาพของถังตกตะกอน

3. การบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) ได้แก่การกำจัดสารอินทรีย์ หรือ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ การบำบัดจะใช้ขบวนการทางชีววิทยาแบบต่าง ๆ เช่น activated sludge และ trickling filters ซึ่งใช้แบคทีเรียเป็นตัวทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย การบำบัดในขั้นที่สองนี้จะลดค่าบีโอดีได้ประมาณ 75-95% ค่าบีโอดีของน้ำเสียจะต่ำกว่า 20 มก./ล. ระบบน้ำเสียโดยมากจะมีเพียงการบำบัดขั้นที่สองนี้เท่านั้น

4. การบำบัดขั้นที่สาม (tertiary treatment) ใช้ในกรณีที่ต้องการน้ำเสียที่สะอาด สามารถ นำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ โดยน้ำเสียจากการบำบัดขั้นที่สองจะถูกนำมาตกตะกอนแยก สารประกอบฟอสเฟตออกด้วยปูนขาว (lime) จากนั้นจึงนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วย ขบวนการดูดซับ (carbon adsorption) และกำจัดแอมโมเนียและสารประกอบโลหะต่าง ๆ ออกด้วย ขบวนการและเปลี่ยนไอออนหลังจากฆ่าเชื้อโรคแล้วจะได้น้ำเสียที่สะอาด ตะกอนที่เกิดขึ้นจากการ บำบัดขั้นต้นและขั้นที่สอง จะถูกนำไปบำบัดโดยกระบวนการต่าง ๆ ต่อไป (พินิต เรียบวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2525)

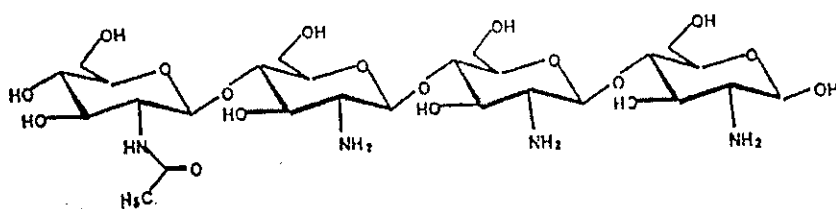
การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนไม่จำเป็นที่จะต้องประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ทั้งหมดที่ กล่าวมา ระบบกำจัดบางระบบ เช่น oxidation ponds และ aerated lagoons จะรวมเอาการบำบัด ขั้นต้นและขั้นสองไว้ด้วยกัน และไม่มีปัญหาเรื่องการกำจัดตะกอน

ไคโตซาน

ไคโตซาน เป็นสารพอลิเมอร์ที่พบในธรรมชาติ เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู แคนหมึก (รัตนารุจิรวนิช, 2544) และผนังเซลล์ของเชื้อรา (Aiba, 2001) ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของสารไคติน ซึ่งประกอบด้วยอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีธาตุไนโตรเจนติดอยู่ด้วยทำให้มีลักษณะพิเศษในการดูดซับสารและจับตัวถูกละลายต่าง ๆ ในสารละลาย แล้วนำสารนั้นกลับมาใช้ใหม่เป็นการหมุนเวียนตามระบบธรรมชาติ และยังสามารถย่อยสลายได้ง่าย จึงเป็นสารที่ปลอดภัยต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม (ไคโตซาน สารมหัศจรรย์, 2543) สารละลายของไคโตซานมีความเหนียวใสสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นเยื่อบางได้ตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นพลาสติกใสและยืดหยุ่นได้ ดังนั้นไคโตซานจึงสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์ และสารเคลือบ เป็นต้น (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542)

โครงสร้างของไคโตซาน

โครงสร้างของไคโตซานเกิดจากการกำจัดหมู่อะซิติล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซิติล ($-\text{NHCOCH}_3$) เปลี่ยนเป็นหมู่อมิโน (NH_2) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นไคโตซานคือพอลิเมอร์ของ D-glucosamine (2-amino-2-deoxy-D-glucose) (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน (รัฐ พิษณุางกูร, 2544)

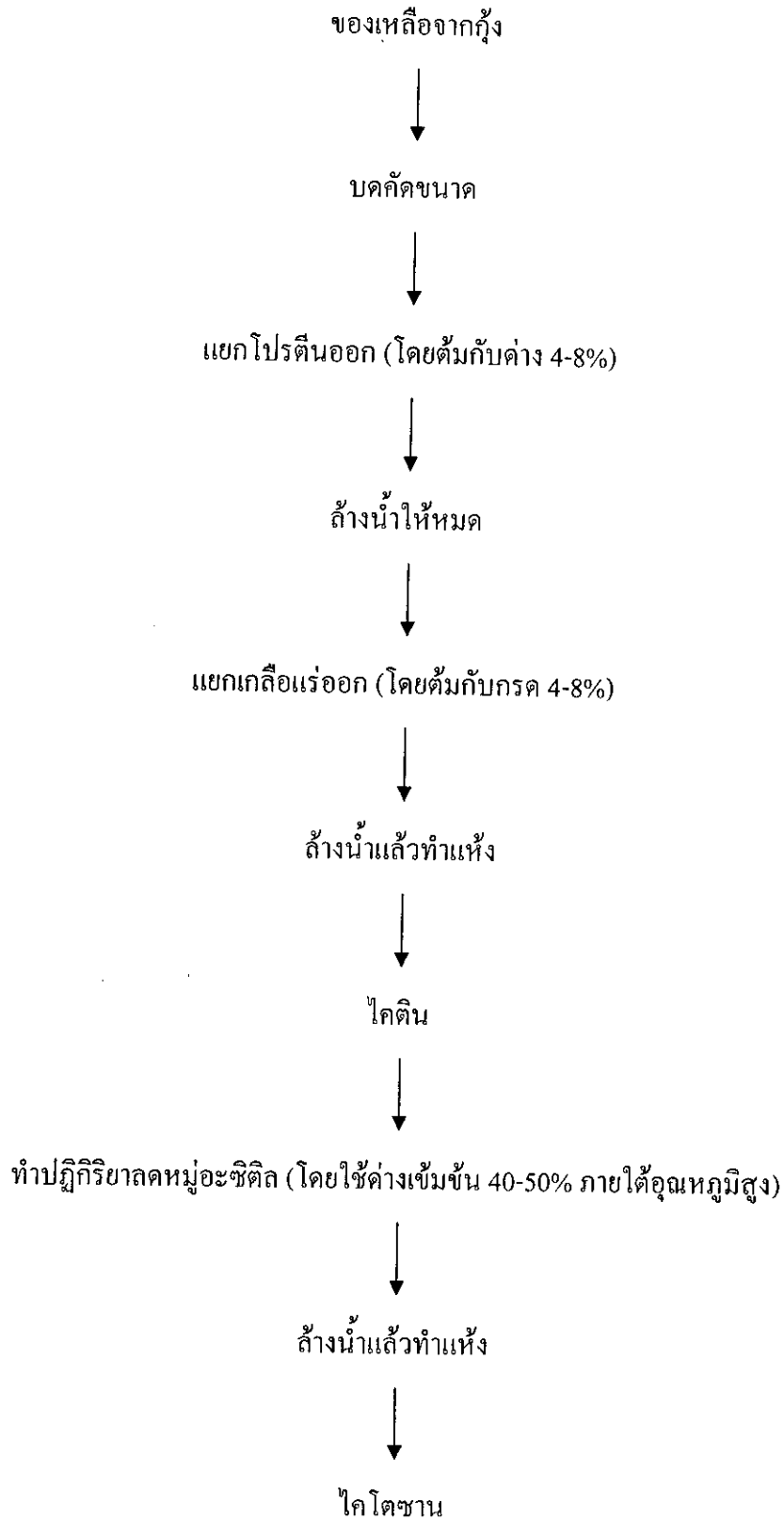
กระบวนการผลิตไคโตซาน

ปัจจุบันวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไคโตซานในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู กระบวนการผลิตใช้วิธีทางเคมี โดยการใช้ด่างและกรด ขั้นตอนที่สำคัญมีดังนี้

1. กระบวนการกำจัดโปรตีน (deproteination) โดยการทำให้ปฏิกิริยากับด่าง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้โซดาไฟ (NaOH) ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกขจัดออกไปจากวัตถุดิบ พร้อมกับนี้ บางส่วนของไขมันและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสถูกขจัดออกไปด้วย การพิจารณาใช้กระบวนการนี้จะขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบที่จะนำมาใช้

2. กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization) โดยการนำวัตถุดิบซึ่งผ่าน กระบวนการกำจัดโปรตีนแล้วมาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งส่วนมากใช้กรดเกลือ (HCl) ทำให้เกลือแร่ ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (calcium carbonate; CaCO_3) ถูกกำจัดออกไป โดยเปลี่ยนเป็นก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide; CO_2) พร้อมกับนี้บางส่วนของรงควัตถุและโปรตีนที่ละลาย ได้ในกรดข่มถูกกำจัดออกไปด้วยเช่นกัน วัสดุที่ได้หลังจากกระบวนการกำจัดเกลือแร่ก็คือ ไคติน (chitin)

3. กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล (deacetylation) โดยใช้ด่างที่มีความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 40% ขึ้นไป หลังเสร็จสิ้นกระบวนการแล้ว หมู่อะซีติล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บนโมเลกุลของไคตินจะถูกกำจัดออกไป หรือลดจำนวนลง เกิดเป็นโมเลกุลไคโตซาน (chitosan) นั่นคือ กระบวนการนี้เป็นการเพิ่มหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) บนโมเลกุลของไคติน ซึ่งทำให้คุณสมบัติการละลายของไคโตซานดีกว่าไคติน สารไคโตซานสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด อาทิ กรดอะซีติก (CH_3COOH) กรดโพรพานิก ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) เป็นต้น พารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาสารไคโตซาน คือค่าการกำจัดหมู่อะซีติล (degree of acetylation, %DD) กล่าวคือ ถ้า %DD มากกว่า 50 ขึ้นไปแล้ว ทำให้สภาพของการเป็นไคโตซานเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นโครงสร้างของไคโตซานต่างจากไคตินตรงหน่วยเป็น glucosamine ในสายพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นกว่า 50 % ขึ้นไป (การผลิตไคติน-ไคโตซาน, 2542) ขั้นตอนการผลิตไคโตซานสามารถสรุปเป็นขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การผลิตไอโอดีนและไอโอดีนซันจากเปลือกถลุง (การผลิตไอโอดีน-ไอโอดีนซัน, 2542)

คุณสมบัติทางกายภาพ เคมมี ชีวภาพของไคโตซาน

1. การละลาย (solubility)

การละลายเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของสารกับตัวทำละลาย ดังนั้นการที่พอลิเมอร์หนึ่ง ๆ ละลายได้ดี จึงขึ้นอยู่กับการยอมให้โมเลกุลของตัวทำละลายแทรกผ่านเข้าไปในระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ไคโตซานมีโครงสร้างที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ดังนั้น โมเลกุลของตัวทำละลายจึงไม่สามารถแทรกผ่านและทำพันธะกับสายโซ่ของไคโตซาน จึงพบว่าไคโตซานจะไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป (สุวรรณญ จิราญชัย และคณะ, 2544) เช่น น้ำ ค้าง แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เนื่องจากโมเลกุลเป็นพอลิเมอร์ที่อยู่กันหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลอันเป็นผลมาจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน นั่นคือหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่ glucosamine จึงทำให้การทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายมีความแตกต่างกัน แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีพีเอชน้อยกว่า 6 (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) กรดอะซิติกและกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน เนื่องจากการละลายที่เกิดขึ้นนั้น โมเลกุลมีการแตกตัวให้หมู่อะมิโนเป็นไอออนบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนกับไอออนลบที่แตกตัวอยู่ในกรด นอกจากนี้กรดทั้งสองประเภทยังไม่ทำลายโครงสร้างของไคโตซาน ง่าย ราคาถูก จึงเป็นตัวทำละลายที่ใช้อย่างแพร่หลาย (สุวรรณญ จิราญชัย และคณะ, 2544) กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่มีการกวน และอุณหภูมิสูงปานกลาง (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

2. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ไคโตซานจะมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1.2×10^6 ขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิต นั่นคือน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของหมู่อะซิติกที่ถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโนในขั้นตอนการผลิตไคโตซาน

3. degree of deacetylation

degree of deacetylation (%DD) หรือระดับของการถอดหมู่อะซิติก คือเปอร์เซ็นต์ของหน่วยไคโตซาน (สุวรรณญ จิราญชัย และคณะ, 2544) เป็นค่าที่บ่งชี้ความเป็นไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็น โคพอลิเมอร์ระหว่างโมโนเมอร์ 2 ชนิดคือ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของโมโนเมอร์ที่สองมากกว่า คือมีค่า degree of

deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) เกณฑ์ที่เข้าใจในกลุ่มนักวิจัย คือ กรณีที่พอลิเมอร์มีหน่วยของไคโตซานเกินกว่า 70-75% ขึ้นไป จะเรียกโมเลกุลนั้นว่าไคโตซาน (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

4. ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ๆ เช่น degree of deacetylation น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ionic strength ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลง พีเอช ของสารละลายพอลิเมอร์จะให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริก จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

5. ความสามารถในการสร้างและตกตะกอน (flocculation and coagulation)

ไคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอน (flocculant) และตัวตกตะกอน (coagulating agent) ที่ดี เนื่องจากการมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ เช่น โปรตีน ลีซอัม และพอลิเมอร์อื่น ๆ จากการวิจัยประสิทธิภาพของไคโตซานในการแยกโปรตีนออกจาก cheese whey พบว่าความสามารถในการจับโปรตีนเป็นสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถจับกับโลหะหนักได้ โดยในโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ทำให้ไอออนของโลหะสามารถสร้างพันธะเชิงซ้อน (coordinate) กับหมู่อะมิโนได้ นอกจากนี้ยังพบว่า หมู่อะมิโนในไคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับไอออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่อะซิติกในไคติน ดังนั้นไคโตซานที่มีค่า degree of deacetylation สูงจะมีอัตราการดูดซับหรือความสามารถในการจับกับไอออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับไอออนของโลหะของไคโตซานยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก และความสามารถในการดึงดูน้ำของไคโตซาน (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

6. โครงรูปของโมเลกุล (molecular conformation)

ไคโตซานเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ประเภทบวก (cation polyelectrolyte) เนื่องจากในสารละลายกรดหมู่อะมิโนในสายโซ่โมเลกุลจะรับโปรตรอนแล้วอยู่ในรูป $-NH_3^+$ โครงรูปของโมเลกุลไคโตซานในสารละลายสามารถบ่งชี้โดยค่า Mark-Houwink exponent (ค่า a) ถ้า a มีค่าประมาณ 0,0.5-0.8 และ 1.8 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์จัดตัวเป็นรูปทรงกลม (sphere) มีลักษณะเป็น random coil และมีลักษณะเป็นแท่ง (rod) ตามลำดับ โครงรูปโมเลกุลของไคโตซานที่แตกต่างกัน

ในสารละลายขึ้นอยู่กับ ionic strength ค่าพีเอช อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และ degree of deacetylation (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7. การเสื่อมสลาย (degradation)

ไคโตซานเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็น โอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharide) และหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดเรียกว่า โมโนเมอร์ (monomer) หรือโมโนแซคคาไรด์ (monosaccharide) โอลิโกเมอร์และโอลิโกแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ *N*-acetyl-chitooligosaccharide และ chitooligosaccharides ตามลำดับ ส่วนโมโนเมอร์และโมโนแซคคาไรด์ของไคโตซานคือ *N*-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) การเสื่อมสลายของไคโตซานสามารถแบ่งออกตามสิ่งที่ทำให้เกิดการเสื่อมสลายดังนี้

7.1 การเสื่อมสลายโดยกรด (acid hydrolysis)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม (random) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือโอลิโกเมอร์ขนาดต่าง ๆ และโมโนเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.2 การเสื่อมสลายโดยด่าง (alkaline degradation)

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของโพลีแซคคาไรด์ ในด่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล การเสื่อมสลายแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า peeling reaction (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.3 การเสื่อมสลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียง (degradation by sonication)

การเสื่อมสลายโดยการสั่นโดยคลื่นเสียงควบคู่กับการใช้กรด มีผลให้ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากกว่าการเสื่อมสลายโดยใช้กรดเพียงอย่างเดียว (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

7.4 การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ (enzymic degradation)

การเสื่อมสลายโดยใช้เอนไซม์มีข้อดีกว่าการใช้สารเคมีคือ มีความจำเพาะเจาะจงมากกว่าการใช้สารเคมี เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยสลายไคโตซาน ได้แก่ chitosanase สามารถย่อยสลายสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่ม (random) ตรงตำแหน่ง 1,4-linkage ได้เป็น chitooligosaccharide ไคโซไซม์ (lysozyme) เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ chitinase *N*-acetylglucosaminidase และ *N*-acetylhexosaminidase ทำหน้าที่ย่อยสลาย

N-acetylchitooligosaccharides เป็น *N*-acetyl-glucosamine โดยเริ่มจากปลายสายโซ่โมเลกุล (non-reducing end) (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

7.5 การเสื่อมสลายโดยความร้อน (thermal degradation)

ความร้อนมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน จากการวิจัยพบว่า ความร้อนจากเตาอบซึ่งเป็นความร้อนแบบแห้ง (dry heat) ที่อุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 องศาเซลเซียสมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ส่วนความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ไคโตซานเกิดสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลา ที่อุณหภูมิสูงกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ความสามารถในการละลายของไคโตซานจะลดลง ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสเวลานานกว่าหรือเท่ากับ 2 ชั่วโมง

สำหรับการอบแห้งแบบใช้ไอร้อน (saturated steam) ไคโตซานจะไม่สามารถละลายหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และหลังจากการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การอบที่อุณหภูมिन้อยกว่าหรือเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

8. ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา คือ หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ primary alcohol ($-CH_2OH$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ secondary alcohol ($-CHOH$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมี (chemical modification) ของทั้งสามหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถก่อให้เกิดวัสดุต่าง ๆ ในการทำงานที่แตกต่างกัน (ภาวดี เมระคานนท์ และคณะ, 2543)

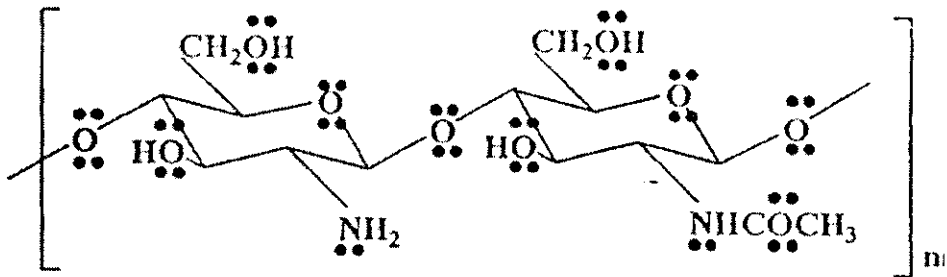
กลไกของไคโตซานในการกำจัดสารต่าง ๆ

1. การกำจัดธาตุโลหะ

จากโครงสร้างของไคโตซาน กลไกในการกำจัดธาตุโลหะจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีคู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยวประกอบอยู่ นั่นก็คือที่อะตอมของไนโตรเจนในหมู่อะมิโนจะมีคู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยว และที่อะตอมของออกซิเจนในหมู่ไฮดรอกซิลก็จะมีคู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยวเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 11 คู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจนในโครงสร้างของไคโตซานสามารถที่จะสร้างพันธะไอออนกับโลหะ โดยเฉพาะโลหะหมู่ 1, 2 และรวมถึงโลหะทรานซิชัน ไอออนของโลหะถูกดูดซับเข้าสู่โมเลกุลของไคโตซาน โดยการสังเคราะห์เซลล์โลสที่มีหมู่อะมิโนเสริมในโมเลกุลในระดับต่าง ๆ กัน และพบว่าปริมาณหมู่อะมิโนที่มากขึ้น ทำให้เกิดการดูดซับของ

ไอออนได้มากขึ้น จึงได้มีการประยุกต์ใช้ไคโตซานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แบบผงหรือเรซินเพื่อเร่งการตกตะกอนของโลหะในการบำบัดน้ำเสีย

ส่วนคู่ของอิเล็กตรอนเดี่ยวที่อะตอมของออกซิเจนในหมู่ไฮดรอกซิล กลไกในการกำจัดธาตุโลหะคือสามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะได้ ดังรายงานวิจัย พบว่าหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งไม่เกิดปฏิกิริยา phosphorylation สามารถจับไอออนแคลเซียมได้



ภาพที่ 11 อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวโดยรวมของไคโตซาน (สุวรรณญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

2. การกำจัดสารที่มีประจุลบ

เมื่อไคโตซานถูกละลายในสารละลายกรด จำพวกกรดอะซิติก หมู่อะมิโนในโครงสร้างของไคโตซานได้กลายเป็นอะมิโนที่มีประจุบวก ($-NH_3^+$) ทำให้ไคโตซานมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ประจุบวก และสามารถสร้างพันธะไอออนิกและก่อตัวเป็นชั้นบาง ๆ ของไคโตซานกับสารที่มีประจุลบ เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิกได้ จากความสามารถนี้เองจึงได้นำไปสู่งานวิจัยของ ลางน์ (Lang) และ คลาเซน (Clausen) ที่รายงานถึงผลของไคโตซานในการเป็นสารเคลือบผิวของร่างกายรักษาความชุ่มชื้น หรือสารเคลือบผม ซึ่งกลายเป็นส่วนประกอบหนึ่งในผลิตภัณฑ์ครีมบำรุงผิว หรือครีมนวดผม (สุวรรณญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544)

3. การยับยั้งจุลินทรีย์

ในการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานจะอาศัยคุณสมบัติในการเป็นพอลิเมอร์ประจุบวกจากตำแหน่งของหมู่อะมิโนเข้าไปสร้างพันธะไอออนิกกับผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบ ทำให้เซลล์ไม่สามารถเจริญได้ นำไปสู่คุณสมบัติการป้องกันเชื้อรา หรือแบคทีเรียได้ (วิสาตรี คงเจริญสุนทร และคณะ, 2546; วรเนตร หอมแก่นจันทร์, 2547; ประไพภรณ์ พนาพงศ์ไพศาล, 2546)

ประโยชน์ของไคโตซาน

1. ด้านอาหารและยา

ไคโตซานใช้เป็นอาหารเสริมที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากในร่างกายคนไม่มีเอนไซม์ที่ช่วยย่อยไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) ใช้เป็นตัวดักจับไขมันจากอาหารเพื่อใช้ในการลดความอ้วน (ไคโตซาน สารมหัศจรรย์, 2543) และลดปริมาณคอเรสเตอรอลในเลือด นอกจากนี้วงการเภสัชกรรมได้นำไคโตซานมาทำเป็น drug release ศึกษาถึงคุณสมบัติการปลดปล่อยตัวยาตลอดจนการจับคอเรสเตอรอล (พ่ายพ ยงปักยี, 2542) และจากคุณสมบัติที่สามารถต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด จึงมีการใช้ไคโตซานเป็นสารกันบูด สารปรุงแต่งเพื่อความคงรูปและคงสีในอาหาร ต่าง ๆ สารเคลือบอาหารและผักผลไม้ (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542)

2. การเกษตรกรรม

ไคโตซานมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่ด้วย จึงมีบทบาทสำคัญในด้านปุ๋ยชีวภาพ และสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช การให้ปุ๋ยอย่างช้า ๆ การปลูกพืชแบบไม่มีดิน (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนานำไปใช้ในการเกษตรอย่างมากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์พืช เช่น ข้าว ถั่ว ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไส้เดือน ยาขับยั้งแบคทีเรีย และเชื้อรา (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

3. เครื่องสำอางค์

ไคโตซานมีสมบัติโคเด้นในการอุ้มน้ำและเป็นตาข่ายคลุมผิวหนัง ตลอดจนต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) จึงได้มีการนำมาใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickening agent) และสารเติมแต่ง (additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภทบำรุงผม และผิวกาย (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

4. ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ

จากสมบัติของไคโตซานในการเป็นเส้นใย และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติของไคโตซาน ทำให้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารห่อหุ้มเอนไซม์และเซลล์ต่าง ๆ ได้ด้วยเทคนิคอิมโมบิลไลเซชัน การใช้เป็นตัวแยกสารโดยวิธีโครมาโตกราฟี การใช้ทำขั้วไฟฟ้าทางชีวภาพเพื่อการวิเคราะห์และตรวจสอบสาร (พัชรนันท์ กิจสกุลไพศาล, 2542) นอกจากนี้ยังได้มีการนำไคโตซานมาผลิตเป็นเส้นใยและนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้า (Aiba, 2001)

5. การบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานจะอาศัยสมบัติความเป็นพอลิอิเล็กโตรไลต์ และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก เข้ามาใช้ในการบวกรับบำบัดน้ำเสีย เช่น การบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าได้นำไคโตซานมาใช้เป็นตัวที่ทำให้เกิดการตกตะกอน (flocculant) ในการบำบัดร่วมกับตะกอนเร่ง (Aiba, 2001)

6. การแพทย์

เนื่องจากไคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้ ไคโตซานยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งจากข้อดีต่าง ๆ นี้เองจึงสามารถนำไคโตซานมาใช้งานในส่วนของการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผล ไหมเย็บแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา ผิวหนังเทียม (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

จากการศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการรวบรวมงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานในประเภทต่าง ๆ และการบำบัดน้ำเสีย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปิยนุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และสุวดี จันทร์กระจ่าง (2542) ทดลองใช้สารไคโตซานตกตะกอนโปรตีนออกจากหางนม โดยเปรียบเทียบกับการใช้ตกตะกอนอื่น ๆ เช่น polyaluminium chloride (PAC) สารส้ม และคาร์ราจีแนน ในการศึกษาได้ทดสอบประสิทธิภาพของไคโตซานในการตกตะกอนโปรตีนจากหางนมโดยมีการแปรผันค่าพีเอชของหางนม และปริมาณไคโตซาน ผลการศึกษาพบว่าไคโตซานมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนจากหางนมได้ดีกว่าสารอื่น ๆ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ โดยไคโตซานสามารถตกตะกอนแยกโปรตีนออกมาได้สูงสุดถึง 77.8% ที่ค่าพีเอช 7 และขณะเดียวกันได้ลดค่าความขุ่นของสารละลายลงได้ถึง 72.5% จากประมาณโปรตีนเริ่มต้น 7,500 มก./ล. โดยใช้ปริมาณของไคโตซาน 50 มก./ล. ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าการใช้สารตกตะกอนชนิดอื่น

รวาพร ชลอำไพ (2542) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของไคโตซานในการดักจับตะกั่วในน้ำเสีย พบว่าไคโตซานสามารถลดระดับตะกั่วในน้ำได้ ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดักจับตะกั่วคือ 6 และ 7 เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานสูงขึ้นประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วจะสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าไคโตซานยังมีประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วได้ดีกว่าสารละลายไคโตซานเมื่อนำไคโตซานผงไปทดลองใช้ดักจับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าสามารถลดสารตะกั่วได้แต่ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าเมื่อทดลองใช้กับสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในน้ำเสียอาจมีไอออนของโลหะอื่นที่สามารถแย่งจับกับไคโตซานได้ด้วย

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (ม.ป.ป) ศึกษาการผลิตไคโตซานจากหัวกุ้งกุลาดำ และนำไปใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียอุตสาหกรรมซุบโลหะด้วยไฟฟ้า พบว่าให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของ ทองแดง นิกเกิลและสังกะสี เท่ากับ 70.00% 10.12% และ 20.49% ตามลำดับ จากความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักแต่ละชนิดเท่ากับ 50 มก./ล. ซึ่งประสิทธิภาพของไคโตซานที่ผลิตได้ใกล้เคียงกับไคโตซานจากต่างประเทศ

อันส์ (Auns, 1998) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ไคโตซานในการดูดซับโลหะหนัก เช่น ทองแดง โครเมียม และตะกั่ว โดยทำการศึกษาแบบไคเนติก (kinetic) ที่เกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 3 มก./ล. พบว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้ดีที่ พีเอช ใกล้เคียงกัน คือ 5.5, 6.0 และ 4.0 ตามลำดับและปริมาณโลหะแต่ละชนิดที่ดูดซับได้เป็น 1.91, 2.01 และ 1.86 มก./ล. ตามลำดับ

จัน และคณะ (Jun et al., 1994) ศึกษาการนำไคโตซานมาใช้เป็นตัวตกตะกอน (coagulant) ของโปรตีนเพื่อนำมาใช้ใหม่จากน้ำเสียโรงงานผลิตถั่วเหลือง จากการศึกษาพบว่าไคโตซานเป็นตัวตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถลดค่าความขุ่นของน้ำเสียได้ถึง 97% โดยใช้ไคโตซาน 300 มก./ล. ที่พีเอชเท่ากับ 5.8 ในชุดควบคุมค่าความขุ่นลดลงเพียง 30% และเมื่อเปรียบเทียบกับ $Fe_2(SO_4)_3$ ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการเป็นตัวตกตะกอนที่ดี พบว่าสามารถลดค่าความขุ่นของน้ำเสียได้ใกล้เคียงกับไคโตซานในปริมาณที่เท่ากัน นั่นคือ 300 มก./ล. แต่น้ำทิ้งที่ผ่านการตกตะกอนจาก $Fe_2(SO_4)_3$ จะมีสีเหลือง ในขณะที่น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนจากไคโตซานไม่มีสีและไม่เป็นพิษ

ลาสโก และเฮิร์สต์ (Lasko & Hurst, 1999) ศึกษาการใช้ไคโตซานในการดูดซับสารละลายซิลเวอร์จากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าไคโตซานสามารถดูดซับสารละลายซิลเวอร์ได้ 80-95 % จากความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายซิลเวอร์ในน้ำเสีย 50 มก./ล.

โน และเมเยอร์ (No & Meyers, 1989) ศึกษาการใช้โคโตซานในการนำกลับมาใช้ใหม่ของสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล โดยทำการเปรียบเทียบกับตัวตกตะกอนอื่น ๆ เช่น แอนไอออนิก เบทซ์ 1410 (anionic Betz 1410) แอนไอออนิก เบทซ์ 1420 (anionic Betz 1420) แคทไอออนิก เบทซ์ DG-979 (cationic Betz DG-979) แคทไอออนิก แมกนิฟลอก 2535CH (cationic Magnifloc 2535CH) แคทไอออนิก แมกนิฟลอก 2540C (cationic Magnifloc 2540C) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ใช้ในทางการค้า จากการศึกษาพบว่าโคโตซานมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสารประกอบอินทรีย์ได้ดีกว่าตัวตกตะกอนอื่น ๆ นั่นคือสามารถลดของแข็งแขวนลอยและค่าความขุ่นได้ถึง 97 และ 83% ตามลำดับ และลดค่าซีโอดีของน้ำเสียได้ถึง 45% โดยในการศึกษาใช้โคโตซาน 150 มก./ล. ที่พีเอช เท่ากับ 6