หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การศึกษาด้านเอกสาร

2.1 สาหร่ายในแหล่งน้ำ

สาหร่ายจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่โบราณที่สุดเช่นเดียวกับเชื้อรา ทั้งสองจัดอยู่ใน subkingdom of thallus plants ซึ่งไม่มีโครงสร้างเช่นพืชทั่วไป คือ ไม่มีลำต้น ใบ และ ราก แต่มีคลอโรฟิลล์ทำให้สามารถสังเคราะห์แสงได้

2.1.1 ชนิดของสาหร่ายในแหล่งน้ำ

โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มสาหร่ายในแหล่งน้ำได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ (Palmer, 1962) (ตารางที่ 2.1)

1) blue green algae สาหร่ายกลุ่มนี้มีลักษณะเด่น คือ ตำแหน่งของเม็ดสีจะอยู่ตลอดทั่วทั้งเซล มีเมือกหุ้มรอบ ๆ เซลและไม่มีนิวเคลียส ลักษณะเซลจะเป็นเซลเดี่ยวเรียก unicellular ส่วนใหญ่แต่ละเซลจะติดกันเป็น colonies หรือเป็นสายยาวและมีลักษณะของ gelatinious หรือ slime mass (Blake, 1980)

2) green algae เป็นกลุ่มของสาหร่ายที่มีจำนวนมากที่สุด มีทั้งที่เป็น unicellular และ multicellular สาหร่ายพวกนี้จะมีเม็ดสีอยู่ในพลาสติดแตกต่างจากสาหร่ายกลุ่มอื่นคือ จะให้ผลบวกกับไอโอดีนเทสเนื่องจากมีแป้งอยู่ในเซล

3) diatoms เป็นกลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายชนิดอื่น สังเกตได้ง่ายจากรูปร่างซึ่งผนังเซลจะแข็งเนื่องจากมีซิลิกาและไม่สลายตัวง่ายในธรรมชาติ

4) pigmented flagellate ลักษณะเด่นของสาหร่ายกลุ่มนี้คือมี flagella ทำให้เคลื่อนไหวและเคลื่อนที่ได้ และมี eyespot

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะของสาหร่ายในแหล่งน้ำ

Characteristics	Algal groups			
	Blue-green algae	Green algae	Diatoms	Pigmented flagellates
Color	Blue-green to brown	Green to yellow-green	Brown to light-green	Green or brown
Location of pigment	Through-out cell	In plastids	In plastids	In plastids
Starch	Absent	Present	Absent	Present or absent
Slimy coating	Present	Absent in most	Absent in most	Absent in most
Cell wall	Inseparable from slimy coating	Semirigid, smooth or with spines	Very rigid, with regular marking	Thin, thick or absent
Nucleus	Absent	Present	Present	Present
Flagellum	Absent	Absent	Absent	Present
Eye spot	Absent	Absent	Absent	Present

ที่มา : Algae in water supplies (Palmer, 1962)

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งสาหร่ายได้ตามลักษณะของแหล่งน้ำคือ

1) Clean Water Algae

คือสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำที่ไม่มีการปนเปื้อนของน้ำทิ้งชุมชนหรือน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์สูง จะพบในแหล่งน้ำ (stream) ที่อยู่เหนือจุดปล่อยน้ำทิ้ง (upstream) และจุดท้ายน้ำ (downstream) ซึ่งอยู่ไกลออกไปจนกระทั่งปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ลดปริมาณลง หรือในบริเวณที่เรียกว่า recovery zone ปกติแล้วจะพบสาหร่ายในบริเวณ recovery zone มากกว่าในบริเวณจุดเหนือน้ำและส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นชนิดเดียวกัน (Palmer, 1962)

มีสาหร่าย 46 species ที่ใช้เป็นตัวแทนของสาหร่ายในน้ำสะอาด (ดังตารางที่ 2.2) ซึ่งได้จากการตรวจสาหร่ายในแหล่งน้ำบริเวณ oligosaprobic zone (Whipple, et al., 1948)

ตารางที่ 2. 2 แสดงชนิดของ Clean Water Algae

Group and Algae
Blue-Green Algae (Myxophyceae):
Agmenellum quadriduplicatum, glauca type
Calothrix parietina
Coccochloris stagnina
Entophysalis lemaniae
Microcoleus subtorulosus
Phormidium inundatum
Green Algae (Nonmotile Chlorophyceae):
Ankistrodesmus falcatus, var. acicularis
Bulbochaete mirabilis
Chaetopeltis megalocystis
Cladophora glomerata
Draparnaldia plumosa
Euastrum oblongum
Gloecococcus schroeteri
Micrasterias truncata
Rhizoclonium hieroglyphicum
Staurastrum punctulatum
Ulothrix aequalis
Vaucheria geminata
Red Algae (Rhodophyceae):
Batrachospermum vagum
Hildenbrandia rivularis
Lemanea annulata
Diatoms (Bacillariophyceae):
Amphora ovalis
Cocconeis placentula
Cyclotella bodanica
Cymbella cesati
Meridion circulare
Navicula exigua var. capitata
Navicula gracilis
Nitzschia linearis
Pinnularia nobilis
Pinnularia subcapitata
Surirella splendida
Synedra acus var. angustissima
Flagellates (Chrysophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae and Volvocales of Chlorophyceae):
Chromulina rosanoffi
Chroomonas nordstetii
Chroomonas setoniensis
Chrysococcus maior
Chrysococcus ovalis
Chrysococcus rufescens
Dinobryon stipitatum
Euglena ehrenbergii
Euglena spirogyra
Mallomonas caudata
Phacotus lenticularis
Phacus longicauda
Rhodomonas lacustris

ที่มา : Palmer, 1962

2) Polluted Water Algae

คือสาหร่ายที่พบในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของน้ำทิ้งชุมชนหรือน้ำซึ่งมีสารอินทรีย์สูง ในกระบวนการ natural purification ชนิดและจำนวนของสาหร่ายและสิ่งมีชีวิตอื่นในบริเวณที่ได้รับการปนเปื้อนซึ่งเรียกว่าท้ายน้ำจะแตกต่างกับบริเวณเหนือน้ำ และในขณะที่น้ำทิ้งเหล่านี้ได้รับการย่อยสลายในแหล่งน้ำ ชนิดและจำนวนของ microorganism เหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จนถึงบริเวณที่น้ำกลับสู่สภาพเดิมจะมีชนิดและจำนวนของ microorganism คล้ายกับบริเวณเหนือน้ำ จากหลักการนี้เองเราสามารถใช้สาหร่ายดูการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำว่าจุดใดได้รับการฟื้นฟูสภาพแล้ว หรือจุดใดได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ได้ และสามารถดูความสามารถในการฟื้นฟูสภาพของแหล่งน้ำได้ (degree of recovery from pollution) (Whipple et. al., 1948) ชนิดของสาหร่ายที่จัดในกลุ่มนี้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

Fjerdingstad (1950) สำรวจจากกลุ่มผู้ศึกษาสาหร่ายชี้ให้เห็นว่า Euglena viridis, Nitzschia palea, Oscillatoria limosa เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ organic pollution ได้

Silva และ Papenfuss (1953) พบว่าสาหร่ายที่เกิดขึ้นจำนวนมากในบ่อกำจัดน้ำทิ้งเป็นสาหร่ายชนิดเดียวกับสาหร่ายที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์

2.1.2 กลไกต่าง ๆ ที่ช่วยให้สาหร่ายอยู่ในน้ำได้

สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันซึ่งทำให้สามารถลอยตัวอยู่ในน้ำได้ดังนี้

1) blue green algae จะมี vacuoles ช่วยให้ลอยน้ำ
2) green algae จะมี spine หรือ spine like shape
3) diatoms จะมีพื้นที่ผิวมากช่วยในการลอยน้ำ
4) pigmented flagellate จะมี flagella

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของ Pollution Algae

Group and Algae
Blue-Green Algae (Myxophyceae):
Agmenellum quadriduplicatum, tenuissima type
Anabaena constricta
Anacystis montana
Arthrospira jenneri
Lyngbya digueti
Oscillatoria chalybea
Oscillatoria chlorina
Oscillatoria formosa
Oscillatoria lauterbornii
Oscillatoria limosa
Oscillatoria princeps
Oscillatoria putrida
Oscillatoria tenuis
Phormidium autumnale
Phormidium uncinatum
Green Algae (nonmotile Chlorophyceae):
Chlorella pyrenoidosa
Chlorella vulgaris
Chlorococcum humicola
Scenedesmus quadricauda
Spirogyra communis
Stichococcus bacillaris
Stigeoclonium tenue
Tetraedron muticum
Diatoms (Bacillariophyceae):
Gomphonema parvulum
Hantzschia amphioxys
Melosira varians
Navicula cryptocephala
Nitzschia acicularis
Nitzschia palea
Surirella ovata
Flagellates (Euglenophyceae, Volvocales of Chlorophyceae):
Carteria multifilis
Chlamydomonas reinhardi
Chlorogonium euchlorum
Cryptoglena pigra
Euglena agilis
Euglena deses
Euglena gracilis
Euglena oxyuris
Euglena polymorpha
Euglena viridis
Lepocinclis ovum
Lepocinclis texta
Pandorina morum
Phacus pyrum
Pyrobotrys gracilis
Pyrobotrys stellata
Spondylomorum quaternarium

ที่มา : Palmer, 1962

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 ภาวะการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algal blooms)

สภาวะซึ่งสาหร่ายที่ชอบเจริญอยู่บนผิวน้ำและสามารถมารวมอยู่กันเป็นกลุ่มหลวม ๆ ทำให้มองเห็นการรวมตัวนี้ได้ เราเรียกสภาพนี้ว่า "blooms" จะเจริญปกคลุมอ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ หรือแม้กระทั่งบางส่วนของลำน้ำ การเกิดสภาวะการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของสาหร่ายนอกจากจะมีผลต่อการผลิตน้ำแล้ว บางครั้งมีผลทำให้ปลาตายเนื่องจากขาดออกซิเจน โดยเมื่อมีการเพิ่มของสาหร่ายมากจนกระทั่งคลุมผิวน้ำก็จะทำให้สาหร่ายข้างใต้ไม่ได้รับแสง จึงสังเคราะห์แสงไม่ได้และเกิดการหายใจใช้ออกซิเจน บางแห่งสาหร่ายมีพิษต่อปลา สัตว์เลือดอุ่น นกที่กินเข้าไปจนถึงตายได้ (Ingram and Prescott, 1954)

ชนิดของสาหร่ายที่มีรายงานว่าเกิดภาวะการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ได้แก่

1) blue green algae ; Anacystis (Microcystis), Anaebaena, Aphanizomenon and oscillatoria

2) green algae ; Hydrodictyon, Chlorella and Ankistrodesmus

3) diatom ; Synedra and Cyclotella

4) flagellates ; Synura, Euglena and Clamydomonas

ถ้าเกิดภาวะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของ blue green algae แล้วส่วนใหญ่จะเป็นที่รังเกียจ แต่ถ้าเป็น flagellate และ green algae ซึ่งโดยมากเกิดจากการได้รับสารอาหารจากปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตร มักจะทำให้มีการเพิ่มจำนวนของปลา

การเกิดภาวะการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายบางครั้งทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่า "mat" หรือ "blankets" ปกคลุมผิวน้ำเป็นบริเวณกว้างของอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบ และเป็นที่เพาะพันธุ์ของแมลงบางชนิด mat เหล่านี้เป็นสาเหตุของการ

อุดตันของตะแกรงของที่สูบน้ำ สาเหตุของรสและกลิ่น จับเป็นก้อนตามฝั่ง รบกวนการตกปลาและอาบน้ำ ส่วนใหญ่ของ mat-forming algae จะทนทานต่อ $CuSO_4$

2.1.4 **การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำด้าน pH, alkalinity, hardness และอุณหภูมิ**

สาหร่ายจัดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มี chlorophyll ทำให้สามารถใช้น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ สารอาหาร และแสงแดดสร้างเซลได้ การใช้ CO_2 ในน้ำทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ

H_2CO_3 : soluble (unbound) carbonic acid
HCO_3^- : intermediately (halfbound) bicarbonates
CO_3^{2-} : neary insoluble (bound) monocarbonate

โดยที่สาหร่ายสามารถใช้ CO_2 จากสารเหล่านี้ได้ดังนี้

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$
$$2\,HCO_3^- \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H_2O + CO_2$$
$$CO_3^{2-} \rightleftharpoons 2OH^- + CO_2$$

นอกจากนี้ Mackenthun และ Ingram (1964) รายงานว่าสาหร่าย 1 ปอนด์ผลิต O_2 ได้ประมาณ 15 ปอนด์ O_2 กระตุ้นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียทำให้มีการใช้ CO_2 ในช่วงสังเคราะห์แสง และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ H_2CO_3, HCO_3^- และ CO_3^{2-} ด้วย

CO_3^{2-} ส่วนหนึ่งจะตกตะกอนกับ Ca^{2+} เกิดเป็น $CaCO_3$ ทำให้ความกระด้างลดลง ในกรณีที่มีสาหร่ายมาก ๆ สามารถทำให้ความกระด้างของน้ำลดลงได้ถึง 1 ใน 3 ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้น สาหร่ายที่มีปริมาณมากสามารถทำให้ pH ของน้ำขึ้นจาก 7 เป็น 10 ได้ในเวลาไม่กี่ชั่วโมง

ผลจากการทำให้ pH สูงขึ้นนี้ มีผลทำให้ต้องใช้สารส้มในการตกตะกอนมากขึ้น เพื่อลด pH ให้อยู่ในช่วงที่เกิด floc ที่ stable หรือตะกอนที่อยู่ตัว (Sawyer and McCarty, 1967)

น้ำอ่อน floc stable ที่ pH 6-7

น้ำกระด้าง floc stable ที่ pH 6-8

การเปลี่ยนแปลงค่า pH เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นกับปริมาณสาหร่ายและอัตราการสังเคราะห์แสง ทำให้ยากต่อการควบคุมการตกตะกอนด้วยสารเคมี ทำให้การตกตะกอนเกิดขึ้นไม่ดี มีผลต่อคุณภาพน้ำที่ผลิตได้และทำให้การควบคุมการใช้คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคควบคุมได้ยากด้วย

ในด้านอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย Cairns (1956) รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับ diatom คือ 18° - 30°C สำหรับ green algae คือ 30° - 35°C และ blue green algae คือ 35° - 40°C Patrick (1948) พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของ diatom มากกว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมอื่น ๆ

ในด้านการเปลี่ยนแปลง pH พบว่าสาหร่ายส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มี pH เป็นกลาง แต่ก็มี blue green algae จำนวนมากที่เจริญเติบโตได้ดีมากในน้ำที่มี pH สูง (Lackey, 1939)

2.2 การศึกษาปัญหาสาหร่าย

C. Mervin Palmer ได้ศึกษาสาหร่ายในแหล่งน้ำต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา มีรายงานดังนี้

- สาหร่ายสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในน้ำบาดาลเมื่อได้รับแสงอาทิตย์
- ปริมาณสาหร่ายในน้ำผิวดินมีแตกต่างกันตั้งแต่น้อยไปจนถึงมาก ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอาหาร ความขุ่น อุณหภูมิ ช่วงเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การเกิดปัญหาสาหร่ายเกิดไม่แน่นอน บางแห่งเกิดเป็นฤดูกาล บางแห่งเกิดตลอดทั้งปี

- การเกิดปัญหาสาหร่ายเกิดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของประชากร

- สาหร่ายที่เป็นปัญหาในการผลิตน้ำประปา คือ diatom นอกจากนี้ยังมี green algae, blue green algae และ flagellate

- การศึกษาใน Potomac River ในเดือนกันยายน 1934 พบว่ามี diatom มากถึง 2,000 เซลต่อมิลลิลิตร อีก 2 ปีต่อมาในเดือนกันยายน 1936 diatom เพิ่มขึ้นถึง 4,800 เซลต่อมิลลิลิตร

- การประปา Cincinati ได้ประสบปัญหาสาหร่ายเป็นเวลา 2 เดือนตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 1957 โดยเริ่มจาก Synedra ตามด้วย Melosira, Anaebaena และ Oscillatoria แสดงให้เห็นว่ามีการทดแทนสาหร่ายเกิดขึ้น

- U.S. Public Health Service ได้ศึกษาสาหร่ายในแม่น้ำต่าง ๆ ทั่วสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่เดือนตุลาคม 1957 เป็นเวลา 3 ปี พบว่าปริมาณส่วนใหญ่ของสาหร่ายอยู่ในช่วง 1,000-5,000 เซลต่อมิลลิลิตร และแม่น้ำ 5 แห่งที่มีสาหร่ายสูงสุด คือ Mississippi, Arkansas, Merrimack, Missouri, Columbia การมีสาหร่ายสูงเกิดจากการระบายน้ำจากพื้นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และจากน้ำทิ้งในเมืองซึ่งมีการปนเปื้อนสารมีพิษน้อยมาก สาหร่ายที่พบมากที่สุดคือ diatom

- การศึกษาในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำพบว่าสาหร่ายที่ก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดคือ diatom เช่นเดียวกัน

- อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กส่วนใหญ่จะได้รับสารอาหารสูงจากการระบายน้ำจากพื้นที่รอบ ๆ อ่าง ทำให้มีสาหร่ายปริมาณสูง เช่น ในอ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่งใน Bouling, Ohio มี flagellate สูง แม้กระทั่งในฤดูหนาว

- สาหร่ายจากอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นซึ่งได้รับน้ำจาก Lake Michigan ซึ่งพบว่ามี diatom และ flagellate ก่อให้เกิดปัญหารสและกลิ่นทั้งจากตัวสาหร่ายและจากปฏิกริยาระหว่างคลอรีนกับสาหร่าย

- สาหร่ายในแหล่งน้ำเดียวกันแต่คนละช่วงเวลาไม่จำเป็นต้องเป็นสาหร่ายชนิดเดียวกัน เช่น ในอ่างเก็บน้ำ Hoover ซึ่งเป็นแหล่งผลิตน้ำให้กับ Columbus, Ohio ประสบปัญหาสาหร่าย Anabaena ในปี 1958, Dinobryon และ Mallomonas ในปี 1959, diatom ในปี 1960

Clav M. Skulberg (1964) ได้รายงานถึงปัญหาสาหร่ายในแหล่งน้ำเพื่อการประปาในยุโรป ดังนี้

- สาหร่ายมีผลต่อคุณภาพน้ำจาก metabolic activity ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า pH, alkalinity, CO_2, O_2, สี ความขุ่น กลิ่น และรส
- แหล่งน้ำใต้ดินในยุโรปจำนวนมากมีสารอาหารสูง เมื่อนำมาเก็บไว้และได้รับแสงทำให้เกิดสาหร่ายได้จำนวนมาก
- น้ำในทะเลสาบจำนวนมากประสบปัญหาสาหร่าย เช่น Lake Lugarno, Italy ปัจจุบันจัดเป็น eutrophic type ทะเลสาบใน East Purssia, Denmark และ France มีสาหร่ายมากเนื่องจากบริเวณรอบ ๆ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม Lake Zurich มีสาหร่ายมากทำให้ยุ่งยากต่อการผลิตน้ำประปาแบบ Slow Sand Filtration
- น้ำในแม่น้ำมีสาหร่ายอยู่แล้วจำนวนหนึ่งแต่ปริมาณไม่มาก เมื่อนำมาเก็บไว้ในอ่างน้ำ ทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนซึ่งเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดอื่น ๆ มากขึ้น เช่น อ่างเก็บน้ำ Metropolitan Water Board ที่เก็บน้ำจากแม่น้ำ Thames และ Lee อ่างเก็บน้ำ Chew Stoke ใน Bristol, England, อ่างเก็บน้ำในอุตสาหกรรมใน Poland, อ่างเก็บน้ำ Sedlice ในเมือง Praque, เชคโกสโลวาเกีย

Lin และคนอื่น ๆ (1978) ศึกษาสาหร่ายในแม่น้ำ 21 แห่งใน Illinois ในช่วงปี 1971-1976 พบว่ามี diatom มากที่สุด รองลงมาคือ green algae และ flagellate และมีการทดแทนของสาหร่าย (algal succession) เกิดขึ้นในแต่ละฤดูกาลแต่ละปี แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและสรุปว่า ไม่มีทางที่จะทำนายความหนาแน่นของสาหร่าย (algal density) สัดส่วนชนิดของสาหร่าย (algal composition) และสาหร่ายที่เป็น dominant ในแม่น้ำ Illinois ได้

Round (1981) รายงานว่าในสหรัฐอเมริกาประมาณว่า 50 % ของการประปาที่ใช้น้ำผิวดินและทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นประสบปัญหาสาหร่าย นอกจากนี้เขาได้รายงานปริมาณไนเตรตในน้ำพบว่าน้ำที่ระบายจากพื้นที่เกษตรกรรมที่สมบูรณ์ในอังกฤษจะประกอบด้วยไนเตรตประมาณ 10 mg/l และอาจสูงถึง 100 mg/l ในบางครั้ง

Prescott (1962) และ Moore (1969) รายงานถึงความสัมพันธ์แบบ negative correlation ของความเข้มข้นของไนเตรตและฟอสฟอรัส คือในขณะที่น้ำมีไนเตรตและฟอสฟอรัสต่ำจะมีสาหร่ายสูง เนื่องจากถูกสาหร่ายใช้และสะสมในตัวของสาหร่าย เมื่อสาหร่ายลดจำนวนลงจากการเพิ่มอัตราการตาย สาหร่ายเหล่านี้จะถูกย่อยสลายและปลดปล่อยสารอาหารกลับสู่แหล่งน้ำ

Krasner (1989) รายงานว่าช่วงเวลาที่ออกซิเจนลดลงในแหล่งน้ำที่มีสาหร่าย จะพบว่าเกิดสาร organic - sulfur compound เกิดขึ้น เช่น hydrogen sulfide, methyl mercaptan, dimethylpolysulfide จากปฏิกริยาของสาหร่าย ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นและรสในน้ำ

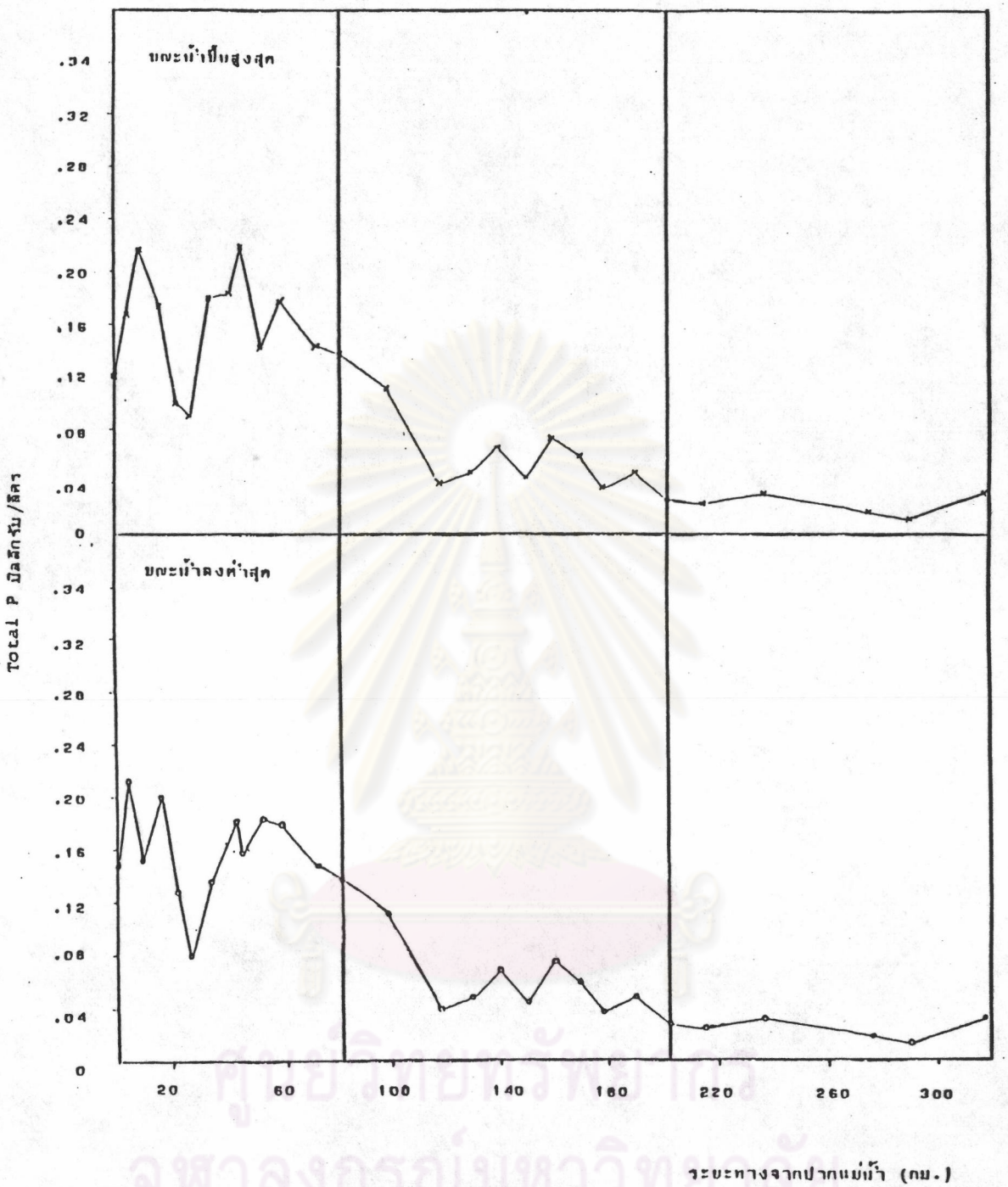
Lund (1969) พบว่า diatom มีความสัมพันธ์กับการเกิด eutrophication มากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่นและมีความสัมพันธ์กับปริมาณ SiO_2 ในน้ำโดยแปรตามกัน

ในประเทศไทยมีการศึกษาสาหร่ายในน้ำเค็มบริเวณอ่าวไทยเป็นส่วนใหญ่ โดยกรมประมง สำหรับสาหร่ายในน้ำจืดมีการศึกษาบ้างโดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จากรายงานสำรวจสภาพนิเวศน์วิทยาของแม่น้ำบางปะกง พ.ศ. 2524-2525 (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2530) พบว่าสาหร่ายส่วนใหญ่ได้แก่พวก diatom นอกจากนี้ยังพบพวก Chlorophyta และ Cyanophyta ถ้าดูจากค่าปริมาณฟอสฟอรัสรวม (ตารางที่ 2.4) จะเห็นว่าปริมาณฟอสฟอรัสรวมที่ทำให้เกิด eutrophic ได้ คือ ตั้งแต่ 10-30 ppb. หรือ 0.01-0.03 mg/l (Whiltaker, 1975) จะเห็นได้ว่าสภาพของแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณฟอสฟอรัสรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วงดังกล่าว ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดสภาพ eutrophic ได้ ถ้าสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เหมาะสม เช่น ความขุ่นลดลง สภาพน้ำนิ่ง มีแสงแดดส่องถึง เช่น ในกรณีของการนำน้ำมาเก็บไว้ นอกจากนี้การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสรวมในแม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง จากรายงานคุณภาพน้ำแม่น้ำท่าจีน ปี 2526 (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2527) และรายงานคุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลอง ปี 2527-2528 (คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2529) แสดงให้เห็นถึงผลของฟอสฟอรัสรวมอยู่ในช่วงทำให้เกิด eutrophic ได้เช่นกัน (รูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2)

ตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณสาหร่ายและปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำชนิดต่าง ๆ

	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic
Net primary productivity, $g/m^2/yr$	15-50	50-150	150-500
Phytoplankton biomass, mg/m^3	20-200	200-600	600-10,000
Total organic matter, ppm	1-5	2-10	10-100
Chlorophyll a , ppb	0.3-3	2-15	10-500
Light penetration, m	20-120	5-40	3-20
Total phosphorus, ppb	<1-5	5-10	10-30
Inorganic nitrogen, ppb	<1-200	200-400	300-650
Total inorganic solutes, ppm	2-20	10-200	100-500

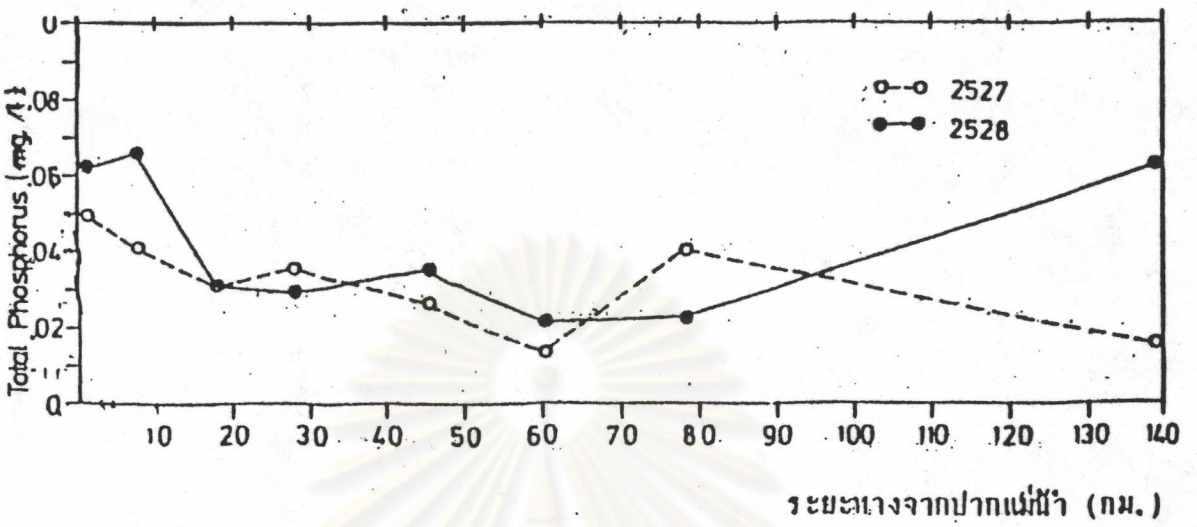
ที่มา : Whiltaker, 1975



รูปที่ 2.1 แสดงการแปรผันค่าเฉลี่ยของ Total-P ตามระยะทางในแม่น้ำท่าจีนปี 2526

ที่มา : คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2527

016705
1030944S



รูปที่ 2.2 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่แปรผันตามระยะทางจากปากแม่น้ำแม่กลอง ในปี พ.ศ. 2527 และ 2528

ที่มา : คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ , 2529

2.3 ปัญหาสาหร่ายต่อระบบผลิตน้ำ

สาหร่ายพบได้ในแหล่งน้ำทั่วไปที่ได้รับแสง มีพบบนดินบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะเติบโตในแหล่งน้ำ ปัญหาที่เกิดจากสาหร่ายมีดังนี้

1) ก่อให้เกิดกลิ่น รส และ สี สาหร่ายพวก brown flagellate และ Synura แม้มีปริมาณน้อยก็ก่อให้เกิดกลิ่นและรสมาก สำหรับสีที่เกิดจากสาหร่ายมีตั้งแต่สีเหลืองเขียว เขียว เขียวน้ำเงิน แดง น้ำตาลอมดำ Fair (1971) รายงานว่าประชาชนจะบ่นถึงเรื่องกลิ่นเมื่อมีสาหร่าย 500-1,000 areal standard units of 400 u^2 แต่ถ้าเป็นสาหร่ายพวก Synura แม้จะพบเพียงเล็กน้อย ประชาชนก็เริ่มไม่พอใจเนื่องจากทำให้น้ำมีรสขม Fieck (1983) กล่าวว่าสาเหตุใหญ่ของกลิ่นในน้ำประปาคือสารอินทรีย์ที่กำลังย่อยสลายและสาหร่ายที่มีชีวิต

2) อุดตันทรายกรอง ส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดปัญหามากได้แก่ diatom โดยเฉพาะพวก Tabellaria และ Synedra อุดตันทรายกรองอย่างรวดเร็ว (Raman, 1985)

3) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำด้าน pH alkalinity hardness

4) ยับยั้งการเกิด floc หรือทำให้เกิด weak floc

5) กัดกร่อนท่อ ผนังโลหะ คอนกรีต (Blake, 1980) การกัดกร่อนเกิดทั้งโดยตรงจากการเกาะของสาหร่าย หรือทางอ้อมจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ green algae และ blue green algae ที่เติบโตบนคอนกรีตที่จมน้ำ ทำให้คอนกรีตเป็นรูและกรอบร่วน เกิดจาก gelatin ในสาหร่าย และ carbonic, oxalic, cilicic acids ที่สาหร่ายผลิตขึ้น เมื่อมีมากพอจะกัดกร่อนคอนกรีต Oscillatoria ที่เจริญเติบโตบนผนังเหล็กสามารถกัดกร่อนเป็นรูลึกลงไปในเนื้อเหล็ก รอยกัดกร่อนนี้จะเป็นเงาและสะอาดแสดงให้เห็นว่าเหล็กถูกกัดกร่อนโดยกลายเป็นสารละลายอยู่ในน้ำและไม่มีการเกิดสารประกอบออกไซด์หรือซัลไฟด์ของเหล็กเลย การกัดกร่อนเกิดจากการ depolarizing action ของ O_2 จากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย (Oborn and Higginson, 1954)

6) สาหร่ายบางชนิดสามารถสร้างสารเป็นพิษ (toxic organic substance) ซึ่งเป็นสาเหตุของการตายของสัตว์หลายชนิด ส่วนใหญ่เกิดจากสาหร่ายพวก blue-green อาการเป็นพิษคือ อ่อนเพลีย ชัก และตาย กรณีในคนมีผลต่อการทำงานของระบบทางเดินอาหาร และเกิด hay fever ที่เกิดจาก blue green algae พวก Anabaena, Anacystis(Microcystis) (Ingram and Prescott, 1954 ; Stewart et)al., 1950 and Fair et al., 1971)

7) ก่อให้เกิดเมือก (slime) เมือกเกิดจาก mucilaginous capsule หรือ sheath ซึ่งห่อหุ้ม cell blue green algae เป็นพวกที่ก่อให้เกิดปัญหาการเกิดเมือกมากที่สุดจึงมีชื่อว่า Myxophyceae prefix "myxo" หมายถึง slime หรือ mucus diatom, green algae, red algae และ flagellate บางชนิดทำให้เกิดเมือกได้ การเกิดเมือกมีปัญหามากในอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษและอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง โดยจะเกิดเมือกบนผลิตภัณฑ์ (Palmer, 1962)

8) สาหร่ายในระบบจ่ายน้ำมีผลให้เพิ่มสารอินทรีย์ในน้ำซึ่งจะไปลด residual chlorine นอกจากนี้สารอินทรีย์เหล่านี้ยังเป็นอาหารของแบคทีเรีย blood worms, nematodes, copepods และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในระบบจ่ายน้ำด้วย

ปัญหาที่เกิดจากสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

2.4 การควบคุมปัญหาสาหร่าย

2.4.1 การควบคุมในแหล่งน้ำดิบ มีหลายวิธีดังนี้

1) Algicide สารที่ใช้ฆ่าสาหร่ายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ $CuSO_4$ เนื่องจากมันเป็นพิษต่อสาหร่ายหลายชนิดที่ความเข้มข้นต่ำและราคาไม่แพง โดยปกติจะไม่เป็นพิษต่อปลาในความเข้มข้นที่ได้แนะนำไว้ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อที่ควรคำนึงถึงดังนี้คือ (Palmer, 1959)

(1) ถ้าแหล่งน้ำมีความเป็นด่างสูง จะตกตะกอนอย่างรวดเร็วในรูปของ $CuCO_3$ (Palmer, 1959) ทำให้ลดประสิทธิภาพลง และบางครั้งกลับทำให้ประสบปัญหากับพวก Coccoid species (Prows and McIlhenny, 1974) ซึ่งทนต่อ residual copper

(2) ยากที่จะกำหนดปริมาณของ $CuCO_4$ ที่แน่นอนเนื่องจากขึ้นอยู่กับชนิด ปริมาณของสาหร่าย อุณหภูมิ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ

(3) มีสาหร่ายหลายชนิดที่ทนต่อ $CuSO_4$ มาก เช่น green flagellate และ filamentous blue green algae บางชนิด นอกจากนี้ diatom มักจะมีการเพิ่มจำนวนขึ้นหลังจากมีการใช้ $CuSO_4$ ฆ่าสาหร่ายชนิดอื่นตายแล้ว

(4) การใช้ Cu ฆ่าสาหร่าย พบว่าพวก colloidal และสารอื่นในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถทำปฏิกริยากับ Cu ทำให้ใช้ไม่ได้ผล ดังนั้นจึงไม่สามารถนำผลจากห้องปฏิบัติการมาใช้ได้โดยตรง (Round, 1981)

(5) ทำให้สาหร่ายตายสะสมในแหล่งน้ำรวมทั้งการสะสมของ Cu จึงต้องมีขบวนการขุดลอกเอาตะกอนออกจากแหล่งน้ำ

ตารางที่ 2.5 แสดงปัญหาที่เกิดจากสาหร่ายชนิดต่าง ๆ

Problem and algae	*Color of water*	*Algal group*
Slime-producing Algae:		
Anacystis (Aphanocapsa, Gloeocapsa)		Blue-green
Batrachospermum		Red
Chaetophora		Green
Cymbella		Diatom
Euglena sanguinea var. furcata		Flagellate
Euglena velata		Flagellate
Gloeotrichia		Blue-green
Gomphonema		Diatom
Oscillatoria		Blue-green
Palmella		Green
Phormidium		Blue-green
Spirogyra		Green
Tetraspora		Green
Algae Causing Coloration of Water:		
Anacystis	Blue-green	Blue-green
Ceratium	Rusty brown	Flagellate
Chlamydomonas	Green	Flagellate
Chlorella	Green	Green
Cosmarium	Green	Green
Euglena orientalis	Red	Flagellate
Euglena rubra	Red	Flagellate
Euglena sanguinea	Red	Flagellate
Oscillatoria prolifica	Purple	Blue-green
Oscillatoria rubescens	Red	Blue-green
Algae Causing Corrosion of Concrete:		
Anacystis (Chroococcus)		Blue-green
Chaetophora		Green
Diatoma		Diatom
Euglena		Flagellate
Phormidium		Blue-green
Phytoconis (Protococcus)		Green
Algae Causing Corrosion of Steel:		
Oscillatoria		Blue-green
Algae Persistent in Distribution Systems:		
Anacystis		Blue-green
Asterionella		Diatom
Chlorella		Green
Chlorococcum		Green
Closterium		Green
Coelastrum		Green
Cosmarium		Green
Cyclotella		Diatom
Dinobryon		Flagellate
Elaktothrix gelatinosa		Green
Epithemia		Diatom
Euglena		Flagellate
Gomphosphaeria aponina		Blue-green
Scenedesmus		Green
Synedra		Diatom

Problem and algae	*Algal group*
Algae Interfering With Coagulation:	
Anabaena	Blue-green
Asterionella	Diatom
Euglena	Flagellate
Gomphosphaeria	Blue-green
Synedra	Diatom
Algae Causing Natural Softening of Water:	
Anabaena	Blue-green
Aphanizomenon	Blue-green
Cosmarium	Green
Scenedesmus	Green
Synedra	Diatom
Toxic Marine Algae:	
Caulerpa serrulata	Green
Egregia laevigata	Brown
Gelidium cartilagineum var. robustum	Red
Gonyaulax catenella	Dinoflagellate
Gonyaulax polyedra	Dinoflagellate
Gonyaulax tamarensis	Dinoflagellate
Gymnodinium brevis	Dinoflagellate
Gymnodinium veneficum	Dinoflagellate
Hesperophycus harveyanus	Brown
Hornellia marina	Flagellate
Lyngbya aestuarii	Blue-green
Lyngbya majuscula	Blue-green
Macrocystis pyrifera	Brown
Pelvetia fastigiata	Brown
Prymnesium parvum	Flagellate
Pyrodinium phoneus	Dinoflagellate
Trichodesmium erythraeum	Blue-green
Toxic Fresh-water Algae:	
Anabaena	Blue-green
Anabaena circinalis	Blue-green
Anabaena flos-aquae	Blue-green
Anabaena lemmermanni	Blue-green
Anacystis (Microcystis)	Blue-green
Anacystis cyanea (Microcystis aeruginosa)	Blue-green
Anacystis cyanea (Microcystis flos-aquae)	Blue-green
Anacystis cyanea (Microcystis toxica)	Blue-green
Aphanizomenon flos-aquae	Blue-green
Gloeotrichia echinulata	Blue-green
Gomphosphaeria lacustris (Coelosphaerium kuetzingianum)	Blue-green
Lyngbya contorta	Blue-green
Nodularia spumigena	Blue-green
Parasitic Aquatic Algae:	
Oodinium limneticum	Dinoflagellate
Oodinium ocellatum	Dinoflagellate

ที่มา : Palmer, 1962

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การเพิ่มความขุ่น ทำได้โดยการเติม Silt ให้มีความขุ่นมากกว่า 100 NTU จะทำให้แสงส่องในน้ำได้น้อยลง ช่วยลดปริมาณสาหร่ายลงได้ (Lackey, 1942)

3) การเตรียมพื้นที่รอบอ่างเก็บน้ำสำหรับอ่างเก็บน้ำใหม่ให้ปราศจากการเพาะปลูก ขยะ ซากอินทรีย์ก่อนที่จะเก็บน้ำ จะช่วยลดปริมาณสารอาหารในน้ำนั้น และน้ำที่จะเก็บต้องมีสารอาหารต่ำด้วย รวมทั้งป้องกันน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมเข้ามาในอ่างเก็บน้ำ จากการศึกษาของ Philp (1985) พบว่าการลดปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งในน้อยกว่า 2 mg/l และ 0.15 mg/l ตามลำดับ สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้

4) การเลือกจุดสูบน้ำ จะต้องมีการศึกษาแหล่งน้ำนั้นอย่างต่อเนื่อง ดูการกระจายตัวของสาหร่าย จุดที่มีสาหร่ายน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่างแตกต่างกันในน้ำแต่ละแหล่ง วิธีนี้ทำโดยเลือกจุดสูบน้ำที่มีปริมาณสาหร่ายน้อย

5) ทำให้มีการหมุนเวียนของน้ำ (Raman, 1985) โดยการติด aerator ที่ก้นอ่างเก็บน้ำ จะช่วยควบคุมสาหร่ายได้

2.4.2 การควบคุมในระบบผลิตน้ำ

1) ควบคุมกระบวนการ Coagulation, Sedimentation Filtration ถ้าควบคุมได้จะสามารถกำจัดสาหร่ายได้ถึง 99 % โดยปกติจะใช้สารส้มในการตกตะกอน ได้มีการศึกษาการตกตะกอนสาหร่ายโดยใช้ปูนขาวและน้ำทะเล (Ayoub and Koopman, 1986) เนื่องจากสาหร่ายในธรรมชาติมีประจุลบ การใช้สารตกตะกอนที่มีประจุบวกจะช่วยตกตะกอนสาหร่ายได้ดี เขาพบว่าการตกตะกอนสาหร่ายด้วยปูนขาวจะดีขึ้นเมื่อมีการเติม Magnesium และใช้น้ำทะเลเป็นแหล่งให้ Magnesium

2) การใช้คลอรีนโดยการทำ Prechlorination โดยทำให้สาหร่ายสูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหว ทำให้การตกตะกอนด้วยสารเคมีเกิดได้ดีขึ้น (Johnson et. al., 1977) แต่เขาไม่ได้สามารถบอกเหตุผลหรือกลไกในการกำจัด diatom ซึ่งเป็นสาหร่ายพวกที่ไม่เคลื่อนไหวได้ Fair (1971) พบว่าถ้าใช้คลอรีนในปริมาณแต่เพียงพอสำหรับฆ่าสาหร่ายได้แต่ไม่พอสำหรับการออกซิเดชั่นจะทำให้เกิดกลิ่นและรสมากขึ้น ทำให้เกิด phenolic tastes มากขึ้น ดังนั้นจะต้องใช้คลอรีนปริมาณสูง ๆ จึงจะฆ่าสาหร่ายและกำจัดกลิ่นได้ด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและปริมาณสาหร่าย

3) การใช้ microstrainer โดยกรองสาหร่ายที่มีขนาดใหญ่กว่ารูเปิดของ microstrainer และต้องมีการฉีดสาหร่ายออกตลอดเวลา วิธีนี้ค่าใช้จ่ายสูง

4) การกรองโดยใช้ทรายกรอง Naghavi และ Malone (1986) พบว่าการกรองโดยใช้ทรายขนาดเล็กกว่า 0.200 มิลลิเมตร สามารถกรองสาหร่ายได้ดี แต่อุดตันเร็วมาก

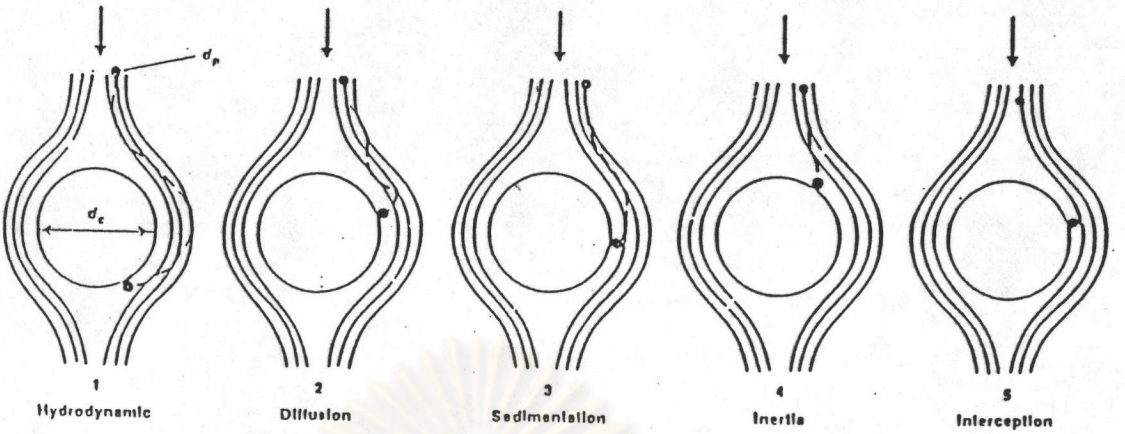
2.4.3 การควบคุมในระบบจ่ายน้ำ

เนื่องจากกระบวนการนี้ไม่สามารถใช้สารเคมีฆ่าสาหร่ายได้ ส่วนใหญ่ใช้วิธีป้องกันแสงโดยมีฝาปิดหรือหลังคา

2.5 ทฤษฎีการกรอง

การกรองน้ำประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ประการ คือ

2.5.1 **กลไกการเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง** (Transport Mechanism) ประกอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้คือ Hydrodynamic, Diffusion, Sedimentation, Inertia และ Interception Amirtharajah (1988) ชี้ให้เห็นว่าปฏิกริยาที่เป็นหลักใหญ่ในการกรองคือ Diffusion และ Sedimentation ดังรูปที่ 2.3



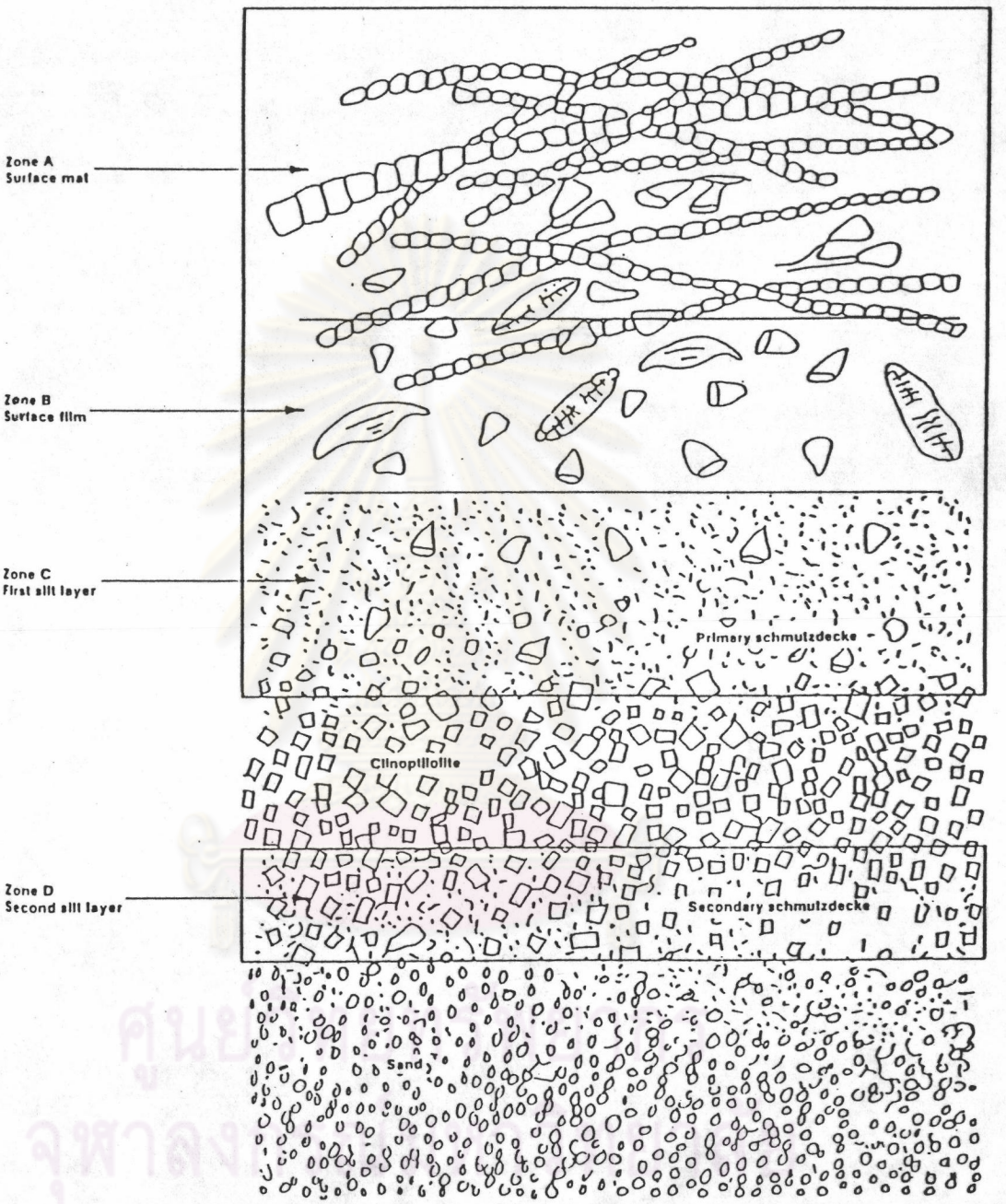
รูปที่ 2.3 การกรองโดยเคลื่อนย้ายสารแขวนลอยเข้าหาสารกรอง (Transport Mechanism)

ที่มา : Amirtharajah, A., 1988

2.5.2 **กลไกจับสารแขวนลอย** (Attachment Mechanism) สารแขวนลอยขนาดใหญ่อาจตกตะกอนและเกาะติดอยู่บนสารกรองหรืออาจตกค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างสารกรอง ประกอบด้วยกลไกที่สำคัญคือ

1) การดูดติดผิว (Adsorption) ทำให้คอลลอยด์สามารถเกาะจับอยู่บนสารกรองหรือบนสิ่งอื่นที่จับบนสารกรองอยู่ก่อนแล้ว ปกติคอลลอยด์และสารกรองมักมีประจุลบทั้งคู่ การทำลายประจุของคอลลอยด์หรือเปลี่ยนประจุลบให้เป็นประจุบวกโดยการเติมสารส้มหรือโพลีเมอร์จะช่วยให้การกรองมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Action) ในขณะที่มีการกรอง สาหร่ายและจุลชีพอื่น ๆที่ติดอยู่บนผิวของสารกรองจะสร้างเมือกขึ้นเรียกว่า "Schmutzdecke" ทำให้สามารถจับสารแขวนลอยได้ ลักษณะการเกิด Schmutzdecke (McNair, 1987) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยชั้นนอกสุดจะเป็นสาหร่ายที่เป็นสายยาวเรียก Surface mat ชั้นถัดมาเป็นสาหร่ายชนิดอื่น ๆ เรียก Surface film

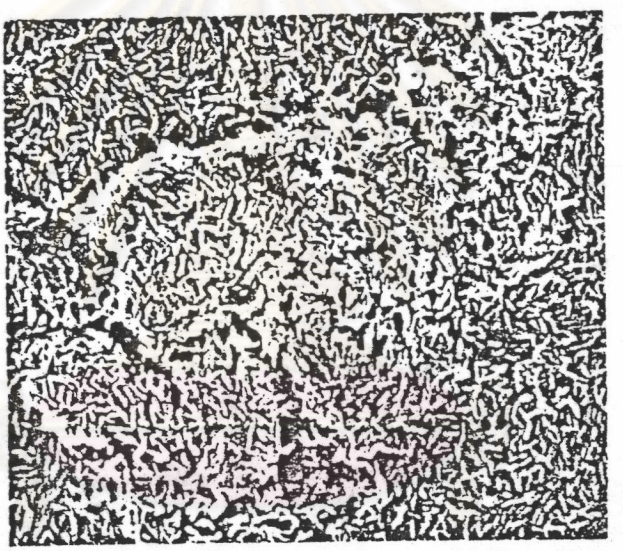


รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดฟิล์มของจุลชีพและสาหร่าย (Schmutzdecke) ที่เกิดบนทราย กรองน้ำแบบกรองช้า

ที่มา : McNair et. al., 1987

2.6 การเกิดแผ่นฟิล์มของสิ่งมีชีวิต (Biofilm formation)

คือการเกิดแผ่นฟิล์มของจุลชีพบนสารกรอง ปัจจุบันหลักการนี้ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการกำจัดน้ำเสีย ซึ่งมีรูปแบบต่าง ๆ กัน คือ sparged fixed-film reactors, rotating biological contactors, plastic media towers และ fluidized bed systems (Reiber and Stensel, 1985) ลักษณะผิวหน้าของ biofilm (รูปที่ 2.5) จะหยาบคล้ายฟองน้ำ (spongelike structure) ความหยาบของผิวหน้าสำคัญต่อการนำพาและนำไปใช้ของออกซิเจนและสารอาหาร



รูปที่ 2.5 แสดงผิวหน้าของ biofilm ขนาดขยาย 1,000 เท่า
ที่มา : Reiber and Stensel, 1985

Huang (1985) ได้ศึกษาผลของออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) และสารอาหารได้แก่ sucrose ต่อการสะสมของ biofilm พบว่าออกซิเจนละลายมีผลน้อยมาก การลดสารอาหารมีผลต่อความหนาของ biofilm โดยมีลักษณะแปรตามในช่วงหนึ่ง

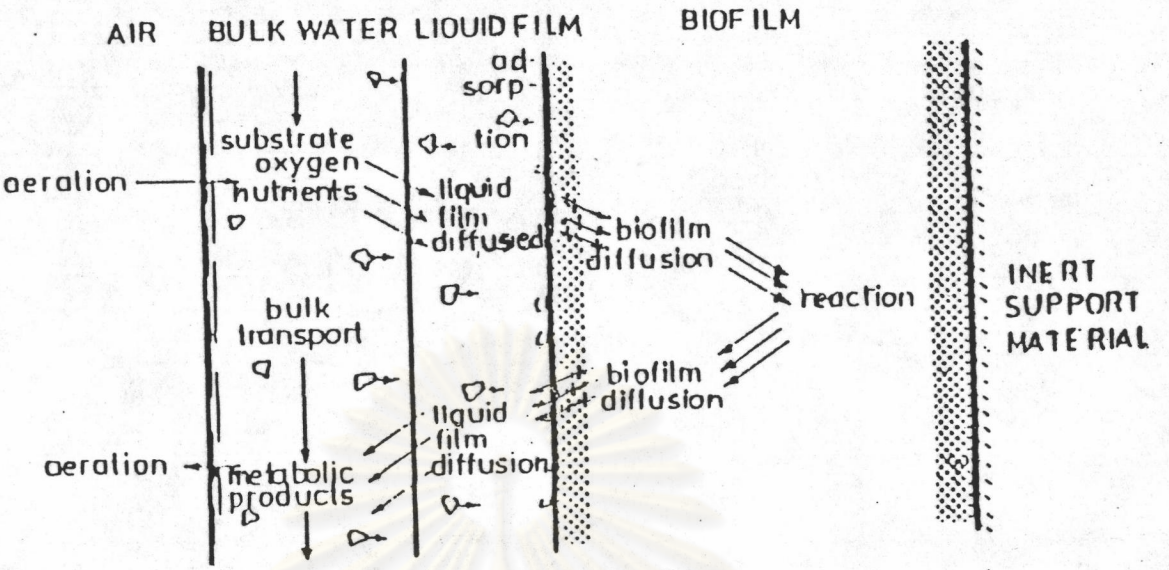
Hsieh (1985) พบว่า biofilm มีบทบาทสำคัญในการกำจัดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของเกริกพงษ์ (2533)

Särner (1986) ชี้ให้เห็นว่าการบรรจุสารกรองให้มีพื้นที่ผิวมากจะให้ผลในการลดสารอินทรีย์มากกว่า สำหรับเรื่องการอุดตันจะไม่เพิ่มขึ้นถ้าสัดส่วนระหว่างสารอินทรีย์กับภาระบรรทุกของ biofilm (hydraulic biofilm load) ถูกต้อง รูปปฏิกริยาที่เกิดใน biofilm ดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7

Sundstrom (1979) กล่าวถึง fixed-film reactors ซึ่งมีตัวกลางเป็นที่เกาะของชั้น biomass สารอาหารและออกซิเจนจะแพร่เข้าสู่และทำให้เกิด biomass เพิ่มขึ้น ตัวอย่างพวกนี้ได้แก่ trickling filter และ rotating biological contactor ขณะที่จุลชีพเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีขนาดหนาขึ้น ดังนั้นสารอาหารและออกซิเจนส่วนใหญ่จะถูกจำกัดเฉพาะผิวหน้าแผ่นฟิล์ม ส่วนที่อยู่ลึกลงไปที่ติดกับตัวกรองจะอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน จุลชีพเหล่านี้จะสูญเสียความสามารถในการเกาะกับตัวกรองและถูกชะออกด้วยแรงเฉือนของน้ำ (shear forces) จากนั้นแผ่นฟิล์มของจุลชีพใหม่จะเกิดขึ้นและทำหน้าที่ต่อไป

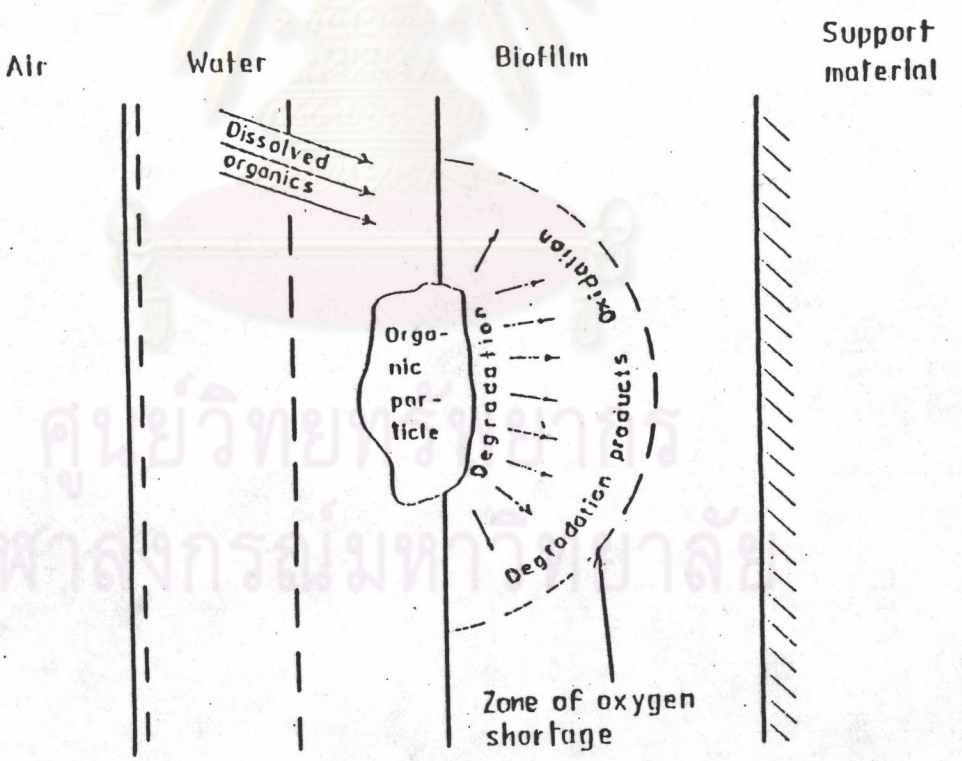
2.7 กลไกการกำจัดสาหร่ายโดยใช้ตัวกรองพลาสติกมีเดีย

จากการวิจัยของสุดา (2527) และสุวิมล (2527) ซึ่งได้ใช้พลาสติกมีเดียในการกำจัดสาหร่ายในน้ำจากเชื่อนศรีนครินทร์ พบว่ากลไกหลักในการกำจัดสาหร่ายคือการตกตะกอนและการดูดติดผิว การตกตะกอนเกิดขึ้นเมื่อน้ำผ่านเข้าไปในพลาสติกมีเดีย ทำให้ความเร็วในการไหลลดลง อนุภาคใหญ่ ๆ ทั้งหลายจะตกตะกอนในช่องว่างของพลาสติกมีเดีย ส่วนการดูดติดผิวเกิดจากสาหร่ายและจุลชีพรวมตัวเป็นเมือกชั้นบาง ๆ จับอยู่ที่สารกรอง ชั้นเมือกนี้สามารถจับติดพวกอนุภาคเล็ก ๆ และสิ่งสกปรกอื่นที่ติดมากับน้ำไว้ อนุภาคขนาดใหญ่และเล็กของเกลือแร่ สารอินทรีย์ สาหร่ายที่มีชีวิตและตายแล้วจะถูกจับในชั้นนี้ จากการศึกษาของสืบศักดิ์ (2531) ศึกษาการกำจัดในแหล่งน้ำเดียวกันนี้โดยใช้การกรองแบบน้ำไหลขึ้น ปริมาณสาหร่ายในรูปคลอโรฟิลล์ เอ 7.62-18.59 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ใช้ตัวกรองสูง 10 เซนติเมตร 30 เซนติเมตร และ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 2.6 แสดงการแพร่ของสารอาหารและอากาศในชั้นของ biofilm

ที่มา : Särner, 1986



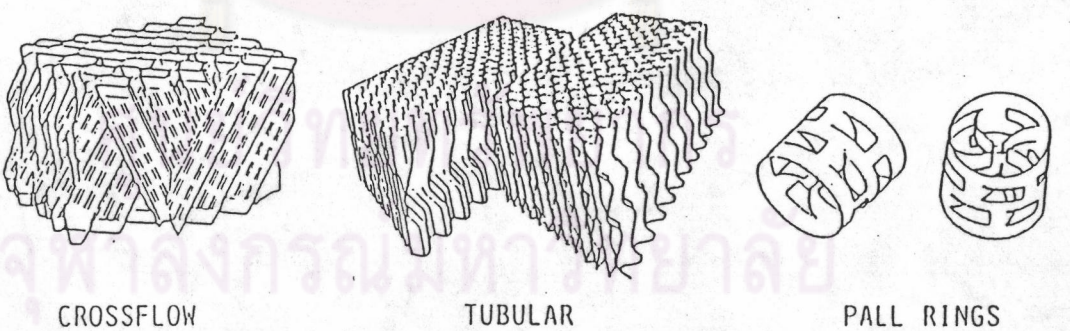
รูปที่ 2.7 แสดงการใช้ออกซิเจนของ biofilm ทำให้เกิดโซนของบริเวณที่ขาดออกซิเจน

ที่มา : Särner, 1986

ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดสาหร่ายเฉลี่ย 21 % 23 % และ 26 % โดยมีฟิล์มหนาสูงสุดประมาณ 1 มิลลิเมตร และไม่เกิดอุดตันของฟิล์มในชั้นพลาสติกมีเดียเลย อีกทั้งปริมาณตะกอนทั้ง 3 ถังน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องระบายตะกอนก้นถังออกเลยตลอดระยะเวลา 8 เดือน ที่ระบบทำงาน

Richards และ Reinhart (1986) ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์โดยพลาสติกมีเดียใน trickling filters พบว่าการลดเวลากักเก็บน้ำ (hydraulic retention time) ไม่ได้ลดประสิทธิภาพการกำจัดเนื่องจากถูกชดเชยโดยการเพิ่มประสิทธิภาพจากการนำ O_2 การเพิ่มแรงเฉือนในน้ำทำให้ลดความต้านทานระหว่างสารอาหารกับชั้น biofilm และทำให้แผ่น film บางลง ประสิทธิภาพจะดีขึ้น

Young และ Yang (1989) รายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ใน anaerobic filter ได้แก่เวลากักเก็บน้ำ ลักษณะของมีเดียและทิศทางการไหลของน้ำและได้รวบรวม anaerobic filter ที่ใช้กันในสหรัฐอเมริกาและ แคนาดา (ตารางที่ 2.6) ลักษณะมีเดียที่นิยมใช้กันมี 3 แบบ ดังรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าส่วนใหญ่ของระบบกรองที่ใช้เป็นแบบไหลย้อนขึ้น (Upflow) และนิยมใช้มีเดียที่เป็นแหวน (Pall rings)



รูปที่ 2.8 แสดงชนิดของมีเดียที่ใช้ใน Anaerobic filter ทั่วไป
ที่มา : Young and Yang, 1989

ตารางที่ 2.6 Anaerobic filter ที่ใช้กันในสหรัฐอเมริกาและแคนนาดา

Location	Start date	Reactor type	Reactor data: Diameter, m	Height, m	Volume, m^3	Media type	Operating data: Temp., °C	Influent COD/BOD, mg/L	COD loading, kg/m^3·d	r, R:Q	HRT, hours	COD/BOD efficiency, percent	Type of waste (major constituent)
Loose fill													
Spokane, Wash.	1972	Upflow	9	6	760	12–50-mm stone	32	8 000 COD 6 500 BOD	4.4		44	75–80 COD	Wheat starch (carbohydrate)
Vernon, Tex.	1977	Upflow	12.2	9.1	1 000	90-mm Pall rings	37	9 000 COD	7.7	5:1	28	61 COD[a]	Guar gum wastes (carbohydrates)
Pampa, Tex.	1981	Upflow	26	12.2	6 400	90-mm Pall rings	37	14 000 COD	12–15	5:1	22–30	80–90 COD	Chemical processing (organic acids)
Bishop, Tex.	1981	Upflow	26	12.2	6 400	90-mm Pall rings	37	12 000 COD	8–12	5:1	24–36	75–85 COD[a]	Chemical processing (alcohols)
Beloit, Wisc.	1985	Upflow	14.5	12	2 000	90-mm Pall rings	35	5 600 COD 3 800 BOD	6–8	6:1	20	70–75 BOD[a]	Enzyme mfg. (protein carbohydrate)
Mississauga, Ont.	1985	Upflow	27	5	5 820	50 × 150-mm rings	37	16 000 COD 5 000 BOD	4–6	yes	32–48	72 COD[a] 80 BOD	Ther. sludge liquor (protein, organic acid)
Loves Cr., Tenn.	1981	Upflow	4.9	5.4	56	90-mm Pall rings	15–25	100–150 BOD	0.1–1.2	0	12–18	50–71 COD[a] 60–70 BOD	Domestic sewage (mixed)
Down flow.													
San Juan, PR	1982	Downflow	36	12	12 500	Tubular modules	38	85 000 COD 40 000 BOD	6–7	5:1	12–14 d	65–75 COD[a] 70–80 BOD	Rum distillery (carbohydrate)
Elkhart, Ind.	1985	Two-stage downflow	18.3	11	5 700	Tubular modules	35	15 000 COD 9 000 BOD	4–5	10:1	91	85 COD[a]	Pharmaceutical (carbohydrates)
									7–8	10:1	53	65 COD	(first stage)
Upflow, modular media													
Augusta, Ga.	1985	Two-stage upflow	9 × 26	8.5	3 800	Crossflow modules	37	12 000 COD	3–4	1:1	72–96	93–95 COD[a] 85–90 COD	Chemical mfg. (organic acid. protein) (first stage)
									6–8	1:1	36–48		
Milwaukee, Wisc.	1985	Upflow	18.3	11	2 800	Tubular modules	37	11 000 COD 8 650 BOD	0.2–0.7	0	30–40 d	90–96 BOD[a]	Landfill leachate (organic acids)
Calgary, Alb.	1986	Upflow	6.1	7.6	220	Crossflow modules	35	24 000 COD 17 000 BOD	11–15	3:1	38–51	80 BOD[a]	Fermentation (carbohydrate)
Hanover, Pa.	1986	Upflow	33	4+	3 600	Crossflow modules	35	4 600 COD 2 500 BOD	1.5–2.5	0.25:1	48–72	89 TCOD[a] 97 TBOD	Food canning (carbohydrate)
Siloam Springs, Ark.	1987	Two-stage modular	3 × 12	3	450	Crossflow modules	30±	3 000 COD 2 400 BOD	3–4	0	46	90+ COD[a]	Food canning (carbohydrate) (first stage)
									6–8	0	23	80+ COD	
Pikeville, Ky.	1988	Two-stage	3 × 9	3	85	Crossflow modules	30±	10 000 COD 7 000 BOD	4–6	0	42–60	90 COD	Soft drink bottling (carbohydrate)

Parker และ Richards (1986) พบว่าการใช้พลาสติกมีเดียใน trickling filters แทนมีเดียอื่น มีผลให้เพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสามารถลดขนาดของ trickling filters และลดค่าใช้จ่ายด้วย ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของ Drury (1986)

Bouwer (1985) พบว่า biofilm บนพลาสติกมีเดียสามารถกำจัด halogenated organics ซึ่งมีปริมาณเล็กน้อยในน้ำได้

การกรองแบบน้ำไหลขึ้นเกิดจากการให้น้ำหรือของเหลวที่จะกรองไหลจากส่วนล่างของถังกรองผ่านวัสดุกรองแล้วไหลออกทางส่วนบนของถังกรอง ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการกรองไร้ออกซิเจนตั้งแต่ปี ค.ศ.1972 ส่วนใหญ่นิยมใช้ถังกรองแบบน้ำไหลขึ้น มีผู้ศึกษาหลายท่านได้แสดงให้เห็นว่าการกรองแบบน้ำไหลขึ้นมีประสิทธิภาพดีกว่าการกรองแบบน้ำไหลลง โดยทดสอบเปรียบเทียบการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากัน (Young and Yang, 1989)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย