แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2
องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำ

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. องค์ประกอบของน้ำ
2. คุณสมบัติของน้ำ
3. คุณลักษณะของแหล่งน้ำ
4. สรุป
5. แบบฝึกหัดบทที่ 2
6. เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อนักศึกษาเรียนบทนี้แล้ว นักศึกษาสามารถ

1. อธิบายองค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำได้
2. อธิบายคุณลักษณะของแหล่งน้ำในด้านต่างๆ ได้

วิธีการสอน

1. ศึกษาเอกสารประกอบการสอนบทที่ 2
2. อภิปรายกลุ่ม ตอบข้อซักถาม
3. ทำแบบฝึกหัดท้ายบท พร้อมอภิปรายร่วมกัน
4. สรุปผลการเรียนรู้ให้กับนักศึกษาอีกครั้ง

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. สื่อประกอบการสอน (Power point)
3. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

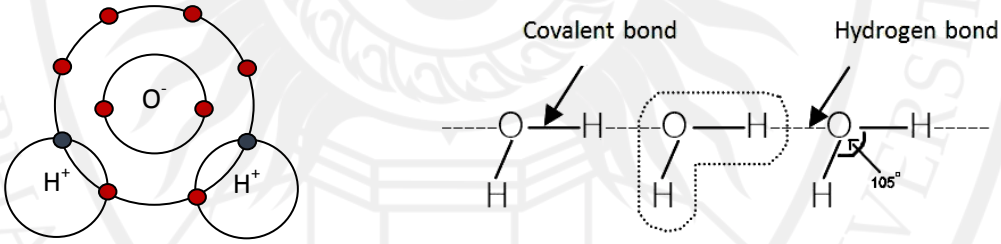
1. ประเมินผลจากการอภิปรายกลุ่ม
2. ประเมินผลจากการตอบแบบฝึกหัดท้ายบท
3. ประเมินผลจากการสอบประจำภาคการศึกษา

บทที่ 2
องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำ

แหล่งน้ำตามธรรมชาติมักเกิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาไหลลงสู่พื้นที่ที่สามารถกักเก็บหรือรองรับน้ำได้เกิดเป็นแหล่งน้ำผิวดิน หากไหลซึมลงสู่ใต้ดินจะเกิดเป็นน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปแหล่งน้ำผิวดินมักถูกนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าแหล่งน้ำใต้ดิน เนื่องจากนำมาใช้ได้ง่ายและพบเห็นได้ทั่วไป

องค์ประกอบของน้ำ

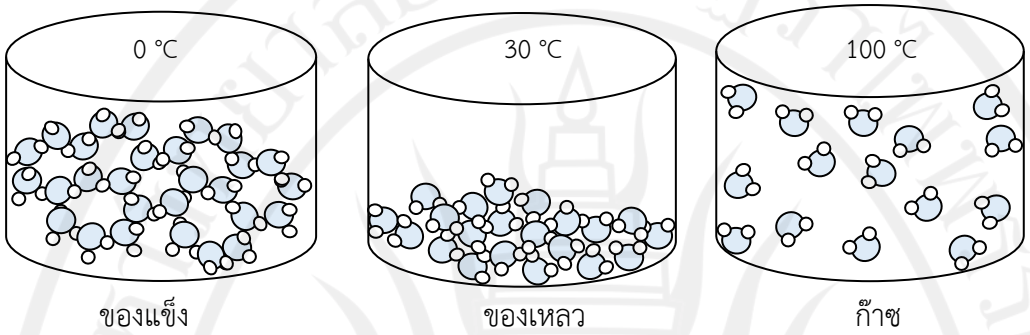
น้ำมีสูตรทางเคมี คือ H_2O เป็นสารประกอบที่ไม่มีสี กลิ่นและรส เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนวงนอกร่วมกันของธาตุไฮโดรเจน (H) 2 อะตอม และออกซิเจน (O) 1 อะตอม จับกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะระหว่าง O-H จะมีขั้วและแสดงความเป็นประจุ เนื่องจากค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) ของออกซิเจนสูงกว่าไฮโดรเจนทำให้อะตอมของไฮโดรเจนแสดงประจุบวก และอะตอมของออกซิเจนแสดงประจุลบ จึงเกิดการดึงดูดระหว่างโมเลกุล เกิดการเรียงตัวทำมุม 105 องศา (ภาพที่ 2.1) แต่ละโมเลกุลของน้ำเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งพันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงน้อยกว่าพันธะโควาเลนต์ โมเลกุลของน้ำที่เชื่อมต่อกันแต่ละโมเลกุลจึงสามารถถูกทำให้แยกออกจากกันได้ และทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนเป็นสถานะต่างๆ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างและการเชื่อมต่อโมเลกุลของน้ำ

น้ำมีการเปลี่ยนรูปแบบได้เป็น 3 สถานะ (ภาพที่ 2.2) คือ อยู่ในรูปที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิของน้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ ความเข้มของแสง กระแสลม กระแสน้ำ และปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ โดยการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นส่วนหนึ่งที่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำเป็นวัฏจักรหากอุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมเป็นโครงสร้างผลึกระหว่างโมเลกุลจะถูกทำลาย การจับตัวกันระหว่างโมเลกุลของน้ำในสถานะที่เป็นของแข็ง (น้ำแข็ง) จึงยุบตัวลงเป็นของเหลว และหากให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำจะทำ

ให้โมเลกุลของน้ำเกิดการแยกตัวอยู่ในสถานะก๊าซ (ไอน้ำ) ในทางตรงกันข้ามหากอุณหภูมิลดต่ำลง โมเลกุลของน้ำสามารถกลับมาเชื่อมต่อกันได้ใหม่ตามคุณสมบัติจุดเดือด จุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็งของน้ำ



ภาพที่ 2.2 รูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลของน้ำที่สถานะต่างๆ

คุณสมบัติของน้ำ

น้ำทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมเนื่องจากคุณสมบัติพิเศษหลายประการ ดังนี้

1. จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว ซึ่งจุดหลอมเหลวของน้ำแข็งอยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส

2. จุดเดือด (Boiling point) คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งจุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (760 มิลลิเมตรของปรอทหรือ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) น้ำที่ได้รับความร้อนจะมีพลังงานสะสมเพิ่มขึ้นจนสามารถทำลายพันธะหรือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้

3. จุดเยือกแข็ง (Freezing point) คือ อุณหภูมิที่ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 0 องศาเซลเซียส

การเปลี่ยนสถานะของน้ำจะมีการดูดหรือคายพลังงานความร้อน โดยที่อุณหภูมิขณะที่มีการเปลี่ยนสถานะนั้นไม่เปลี่ยนแปลง เรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent heat) ซึ่งมีหน่วยเป็นแคลอรี (Calorie)

4. ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent heat of fusion) คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งน้ำมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไออยู่ที่ 550 แคลอรีต่อกรัม (Cal/g)

5. ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งน้ำมีค่าอยู่ที่ 79.7 แคลอรีต่อกรัม

6. ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำสามารถเก็บกักไว้ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยน้ำมีความร้อนจำเพาะสูงมากเมื่อเทียบกับสารอื่น ทำให้น้ำในทะเลสาบหรือมหาสมุทรมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิช้ากว่าแผ่นดิน

7. การละลาย (Solubility) น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี สารที่ละลายในน้ำได้จะสามารถเข้าไปแทรกระหว่างโมเลกุลของน้ำ

8. ความหนาแน่น (Density) คือ ปริมาณของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยน้ำบริสุทธิ์จะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ 4 องศาเซลเซียส แสดงว่าน้ำจะมีความหนาแน่นสูงสุดก่อนถึงจุดเยือกแข็ง ซึ่งต่างจากน้ำทะเลที่มีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ -2 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นสูงสุดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งเล็กน้อย คุณสมบัติเรื่องความหนาแน่นของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของมวลน้ำในทะเล

9. ความหนืด (Viscosity) เป็นคุณสมบัติของของเหลวในการต้านการเคลื่อนที่ (การไหล) หรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายในโมเลกุล การที่น้ำมีความหนืดสูงมีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำ คือ เป็นตัวช่วยพยุงตัวและรักษารูปร่างของสัตว์น้ำ ซึ่งค่าความหนืดของน้ำจะลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น

10. ความตึงผิว (Surface tension) น้ำมีแรงตึงผิวมากกว่าของเหลวชนิดอื่น ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการดึงดูดระหว่างโมเลกุล ทำให้น้ำเกาะรวมตัวกันและไหลตามกันไปในพื้นที่ต่างๆ แรงตึงผิวของน้ำมีบทบาทในการควบคุมปรากฏการณ์ที่ผิวหน้าน้ำ

11. ดัชนีหักเห (Refractive index) เป็นสัดส่วนที่บอกความสามารถของสารที่หักเหลำแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เปลี่ยนไป ซึ่งค่าดัชนีหักเหของน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีแร่ธาตุละลายอยู่ในน้ำมากขึ้น จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้สามารถนำไปใช้ในการหาค่าความเค็ม (Salinity) ของน้ำได้

คุณลักษณะของแหล่งน้ำ (Water characteristics)

การตรวจสอบคุณภาพของน้ำเบื้องต้นมักใช้การสังเกตจากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งเป็นการคาดการณ์จากสิ่งที่เห็นหรือสัมผัสได้ โดยทั่วไปคนมักคิดว่าน้ำสะอาดต้องเป็นน้ำที่ใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่ในความเป็นจริงแล้ว น้ำตามธรรมชาติมักมีตะกอนแขวนลอย มีสีเหลืองอมน้ำตาลจากการย่อยสลายของเศษใบไม้ สารอินทรีย์ต่างๆ เมื่อสลายตัวจะให้สารพวกแทนนินซึ่งเป็นสารมีสีและมีกลิ่นเล็กน้อย แต่สิ่งที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้จัดว่าแหล่งน้ำนั้นเป็นน้ำเสียแต่อย่างใด ดังนั้นคุณภาพของน้ำไม่สามารถตัดสินจากลักษณะภายนอกเพียงอย่างเดียว ต้องมีการตรวจสอบลักษณะทางเคมีหรือชีวภาพร่วมด้วย ซึ่งอาจมีการใช้สารเคมีหรืออุปกรณ์หลายประเภทและมีพารามิเตอร์ที่สำคัญในตรวจสอบเพิ่มขึ้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ลักษณะทางกายภาพ (Physical characteristics) ได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ ความขุ่น ความโปร่งใส ปริมาณสารแขวนลอย การนำไฟฟ้า เป็นต้น

1.1 สี (Color)

การมองเห็นน้ำเป็นสีแตกต่างกันเกิดจากสารแขวนลอย สารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ แพลงก์ตอน การทับถมของซากพืชซากสัตว์ ไอออนของโลหะหนักต่างๆ น้ำที่มีความโปร่งแสงสูงสามารถดูดกลืนช่วงแสงสีแดงได้ดี และดูดกลืนช่วงแสงสีฟ้าได้น้อยจึงสะท้อนเข้าสู่ตาของผู้พบเห็น จึงเห็นน้ำเป็นสีฟ้า สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1.1 สีจริง (True color) เกิดจากการละลายของสารประกอบที่อยู่ในน้ำ ซึ่งสีที่แท้จริงตรวจสอบได้จากการกำจัดสารแขวนลอยออกโดยการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) แล้วนำน้ำนั้นมาเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานที่เตรียมขึ้น

1.1.2 สีปรากฏ (Apparent color) สังเกตได้จากการมองด้วยสายตา เกิดจากการสะท้อนของสารแขวนลอยในน้ำเช่น ตะกอนดิน แพลงก์ตอนพืช เป็นต้น

สีของน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์มักมีสีเหลืองอมน้ำตาล ไม่มีความเป็นพิษ แต่สีคล้ายน้ำปัสสาวะทำให้ไม่น่านำมาบริโภค นอกจากนี้การนำน้ำที่มีสีไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทต้องมีการกำจัดสีของน้ำออกก่อนจึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นในบางประเทศจึงต้องมีการกำหนดค่ามาตรฐานสีของน้ำไว้เป็นหน่วยสีต่างๆ

1.2 กลิ่น (Odor)

กลิ่นของน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ หากทิ้งไว้ไม่บำบัดโดยเร็วทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย เกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบต่างๆ แล้วได้ผลผลิตออกมาในรูปของก๊าซที่มีกลิ่นต่างๆ (ตารางที่ 2.1) เช่น การย่อยโปรตีนทำให้ไนโตรเจนและกำมะถันในโปรตีนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และก๊าซไข่เน่า (H_2S) ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและน้ำเสียมีสภาพเป็นกรด บางส่วนของไนโตรเจนกลายเป็นกลิ่นคาวจัด เช่น เอมีน บางส่วนของกำมะถันในน้ำเสียกลายเป็นกลิ่นเหม็นของเมอร์แคพแตน โรงงานที่มีน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก ได้แก่ โรงงานสุรา โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางเกษตร โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม รวมทั้งระบบน้ำเสียรวมในนิคมอุตสาหกรรม เมือง และเทศบาลต่างๆ นั้นมีกลิ่นเหม็น กลิ่นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นก๊าซไข่เน่า และอาจมีกรดไขมันอยู่บ้าง โรงงานที่มีน้ำเสียทางเคมี ต้องตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำเสียและที่มาของน้ำเสีย จึงจะสามารถระบุชนิดของสารเคมีที่ทำให้เกิดกลิ่นได้ (กรมควบคุมมลพิษ, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของกลิ่นที่เกิดขึ้นในน้ำ

สารประกอบ	สูตรเคมี	ลักษณะกลิ่น
เอมีน (Amines)	$CH_3(CH_2)_nNH_2$	กลิ่นคล้ายปลา
แอมโมเนีย (Ammonia)	NH_3	กลิ่นก๊าซแอมโมเนีย
ไดเอมีน (Diamines)	$NH_2(CH_2)_nNH_2$	กลิ่นคล้ายเนื้อเน่า
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogensulfide)	H_2S	กลิ่นคล้ายไข่เน่า
เมอร์แคพแตน (Mercaptans)	CH_3SH, $CH_3(CH_2)_nSH$	กลิ่นคล้ายสารจากตัวสกั๊งค์
ออร์แกนิคซัลไฟด์ (Organic sulfides)	$(CH_3)_2S$, CH_3SSCH_3	กลิ่นคล้ายกะหล่ำปลีเน่า
สแกตอล (Skatol)	$C_6H_5NHCH_3$	กลิ่นคล้ายอุจจาระ

ที่มา (Tchobanoglous and Schroeder, 1985)

1.3 อุณหภูมิ (Temperature)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณแสงและพลังงานความร้อนในรอบวัน ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อปฏิกิริยาต่างๆ ในน้ำ เช่น การละลายของออกซิเจน การผสมของชั้นน้ำเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน การหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น (Das et al., 2005) ส่งผลต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในสิ่งมีชีวิต รวมถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำซึ่งทำให้ค่าออกซิเจนในน้ำลดลงตามมา

1.4 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำเกิดจากปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ดินตะกอน สาหร่ายเซลล์เดียว แพลงก์ตอน เป็นต้น รวมถึงคอลลอยด์ที่ไม่ตกตะกอน (ขนาดอนุภาค 0.2-100 มิลลิไมครอน) และสารเคมีบางชนิด เช่น เหล็ก แมงกานีส ทำให้เกิดการกระเจิงของแสง การหักเหหรือการดูดกลืนของแสงในน้ำที่ส่องผ่านลงมา การขัดขวางทางเดินของแสงทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำลดลง สารแขวนลอยสามารถดูดซับแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำ เกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่พืชน้ำนำไปใช้ได้ยาก จึงทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ตะกอนดินอาจเข้าไปอุดตามซอกเหงือกของปลาหรือตกตะกอนไปปกคลุมไข่ปลา ทำให้ไข่ปลาขาดออกซิเจน จึงไม่สามารถฟักเป็นตัวได้ (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547)

1.5 ของแข็งทั้งหมด (Total solids)

ของแข็งในน้ำและน้ำเสียมีขนาดที่แตกต่างกัน มีทั้งที่เป็นสารแขวนลอย (Suspended solid) คอลลอยด์และสารที่ละลายน้ำ (ภาพที่ 2.3) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่า

ของแข็งทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0-500 มิลลิกรัมต่อลิตร (พูลสุข โพธิรักขิต-ปรัชญานุสรณ์, 2553) ซึ่งอาจแยกออกได้เป็น

1.5.1 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็ก ผ่านกระดาษกรองมาตรฐานขนาด 2 ไมโครเมตรได้ เป็นการวัดผลรวมของไอออนบวกและไอออนลบในน้ำ และคำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไป ค่าของแข็งละลายน้ำยังสามารถใช้บอกถึงคุณภาพน้ำดื่มโดยเฉพาะเกี่ยวกับรสชาติของน้ำได้ดังนี้

1.5.1.1 น้ำดื่มที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด น้อยกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสชาติดีเยี่ยม

1.5.1.2 น้ำดื่มที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 300 – 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสชาติดี

1.5.1.3 น้ำดื่มที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 600 – 900 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสชาติปานกลาง

1.5.1.4 น้ำดื่มที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด 900 – 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสชาติไม่ชวนดื่ม

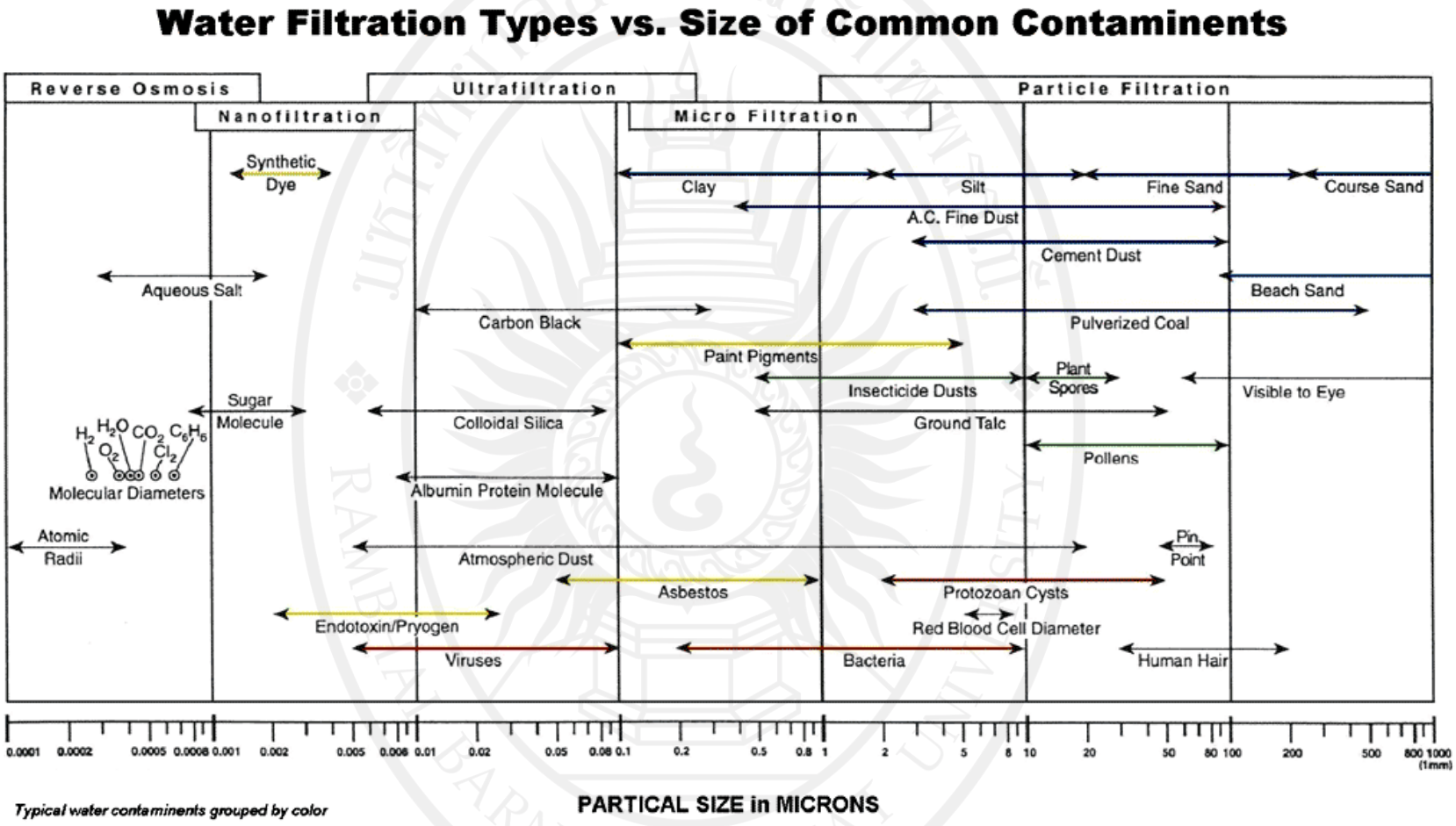
1.5.1.5 น้ำดื่มที่มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด มากกว่า 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นน้ำที่ไม่มีรสชาติ (Insipid taste) และไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้อุปโภคและบริโภค

1.5.1.6 น้ำที่มีองค์ประกอบของแคลเซียม (Ca^{2+}) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) มีผลทำให้น้ำมีสมบัติการกัดกร่อนและพบว่าระดับของแข็งละลายน้ำทั้งหมด มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดตะกรันในท่อน้ำ หม้อต้มน้ำ เป็นต้น

1.5.1.7 น้ำที่มีการรวมกันของแคลเซียม แมกนีเซียม รวมกับคาร์บอเนต จะมีผลต่อความกระด้างของน้ำ เกิดตะกรัน และน้ำค่อนข้างขม และหากมีการรวมกันของโซเดียม (Na^+) และโพแทสเซียม (K^+) รวมกับคลอไรด์ (Cl^-) เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ หรือ โซเดียมคลอไรด์ จะมีผลทำให้น้ำมีความเค็มและเพิ่มการกัดกร่อน

1.5.1.8 ความเข้มข้นของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ไม่ว่าจะมากหรือน้อยเกินไปจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ

1.5.1.9 ความเข้มข้นของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีค่ามาก จะไปลดความใสของน้ำ และองค์ประกอบทั้งหมดของค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดจะรวมกับสารมลพิษและโลหะหนัก เช่น Cu^{2+}, Pb^{2+} และ Hg^{2+} (นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์, 2555)



ภาพที่ 2.3 ขนาดของอนุภาคสารต่างๆ ในน้ำ

ที่มา (Particle size chart, n.d.)

1.5.2 ของแข็งไม่ละลายน้ำ (Insoluble solids) คือ ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแบ่งออกเป็น ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids: SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออกและของแข็งจมตัว (Settleable solids) คือ ส่วนที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักมาก สามารถจมตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้

1.5.3 ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นำน้ำหนักน้ำที่ชั่งหลังการกรองลบด้วยน้ำหนักหลังการเผา น้ำหนักที่ได้คือของแข็งส่วนที่ระเหยไป

น้ำที่มีของแข็งในปริมาณมาก ไม่เหมาะต่อการนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค ดังนั้น ในการผลิตน้ำประปาจึงต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการกำจัดของแข็งเหล่านี้ซึ่งการตกตะกอนเป็นอีกวิธีที่ทำให้น้ำมีความใสมากขึ้น บางครั้งการปล่อยให้ของแข็งแขวนลอยในน้ำตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยตัวเองอาจใช้เวลานาน การใช้สารช่วยเร่งการตกตะกอนจึงเป็นอีกวิธีที่สามารถลดเวลาในการตกตะกอนได้

1.6 การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

การนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำในการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิดของไอออนในน้ำและอุณหภูมิที่ทำการวัด กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านโดยอาศัยประจุของสารละลายในน้ำ แหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 0.1-5.0 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร (μmho/centrimeter) และน้ำบริสุทธิ์จะไม่มีการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ไอออนในน้ำที่นำไฟฟ้ามักเป็นพวกกรด เบสหรือเกลืออนินทรีย์ที่แตกตัวได้ เช่น HCl, NaCl เป็นต้น

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ซึ่งไม่ได้บอกชนิดของสารในน้ำแต่บอกถึงปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำที่สามารถแตกตัวได้ หรือเป็นการเพิ่มหรือลดปริมาณไอออนในน้ำ เท่านั้น เช่น ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูง แสดงว่าในน้ำมีสารที่สามารถแตกตัวได้มาก เป็นต้น ดังนั้นสามารถนำค่าการนำไฟฟ้าไปใช้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของน้ำได้เบื้องต้น ใช้ตรวจสอบการรั่วในท่อประปา ซึ่งหากมีการรั่วภายในท่อจะมีการนำไฟฟ้าในแต่ละจุดแตกต่างกัน และสามารถใช้ในการควบคุมความกระด้างของน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้

2. ลักษณะทางเคมี (Chemical characteristics) ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี เป็นต้น

2.1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาจากบรรยากาศและการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายและแพลงก์ตอนพืชในน้ำ ซึ่งปริมาณออกซิเจนมีความสำคัญต่อคุณภาพของแหล่งน้ำมาก เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในน้ำ การหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการย่อยสลาย

ของสารอินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์มีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ดังนั้น น้ำสะอาดจะมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่สูง ซึ่งในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไปจะมีค่าออกซิเจนประมาณ 5-8 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L เท่ากับ part per million: ppm) และแหล่งน้ำที่จัดเป็นน้ำเสียจะมีค่าออกซิเจนในน้ำอยู่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามปริมาณออกซิเจนในน้ำยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณเกลือแร่ในน้ำ และความดันบรรยากาศด้วย

2.2 ค่าบีโอดี (Biological oxygen demand, BOD)

ค่าบีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนในน้ำที่แบคทีเรียใช้ไปสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนเกิดเป็นเซลล์ใหม่ น้ำและพลังงาน

$$\text{Organic compound} + O_2 + \text{nutrient} \xrightarrow{\text{Microorganisms}} CO_2 + H_2O + \text{new cell} + \text{Nutrients} + \text{energy}$$

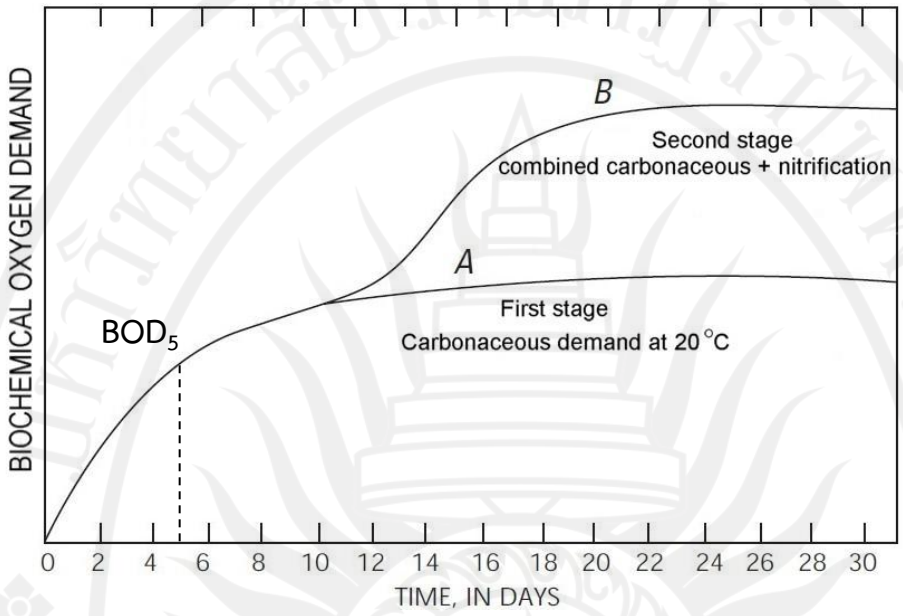
การย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในน้ำเสียเกิดขึ้น 2 ระยะ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545) คือ

ระยะที่ 1 แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารประกอบพวกคาร์บอน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 5-10 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ระยะที่ 2 แบคทีเรียในกลุ่มที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจน (Nitrifying bacteria) จะเริ่มย่อยสลายสารประกอบพวกไนโตรเจนอนินทรีย์ (Inorganic nitrogen compounds) ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) จนถึงระยะคงที่ (Stable state) ใช้เวลาประมาณ 20 วัน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะใช้เวลารวมทั้งหมด 20 วันเพื่อให้เกิดการย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ (ร้อยละ 95-99) ซึ่งในสถานการณ์จริงถ้าการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใช้เวลาถึง 20 วัน จะทำให้เกิดความล่าช้าและแก้ปัญหาไม่ทันการณ์หากผลกระทบของแหล่งน้ำนั้นรุนแรงมาก ดังนั้น การหาค่าบีโอดีในน้ำเสียมักใช้เวลาการวิเคราะห์แค่ 5 วัน (นิยมเขียนว่า BOD_5) และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในที่มืด เนื่องจากระยะเวลา 5 วัน สารอินทรีย์ในน้ำมีการย่อยสลายไปร้อยละ 70-80 ของค่าบีโอดีทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้แสดงถึงปริมาณออกซิเจนที่ต้องการทั้งหมดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ใน 5 วัน นอกจากนี้หากใช้เวลาเกิน 5 วัน การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเริ่มเกิดการย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนขึ้นมาแทนที่การย่อยสลายสารประกอบคาร์บอน เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มที่ย่อยสลายสารประกอบไนโตรเจนจะมีปริมาณมากพอที่จะใช้ออกซิเจน

ในการออกซิไดซ์สารแอมโมเนีย ทำให้ค่าออกซิเจนที่ถูกใช้ไปไม่ได้บ่งบอกถึงการย่อยสลายสารประกอบคาร์บอนเพียงอย่างเดียว ค่าบีโอดีที่ได้จึงมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD curve)
ที่มา (ดัดแปลงจาก กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544)

ค่าบีโอดีถูกนำมาใช้ในการประเมินความสกปรกของน้ำเสีย ส่วนใหญ่ใช้ประเมินน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือชุมชน ส่วนน้ำเสียที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีสารที่ไปยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียในน้ำและทำให้ค่าบีโอดีจากการทดลองผิดพลาดได้ในหลายประเทศได้นำค่าบีโอดีมาใช้ในการแบ่งคุณภาพของน้ำออกเป็น 5 ระดับ (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547) คือ

ระดับที่ 1	คุณภาพน้ำดีเยี่ยม	ค่าบีโอดีประมาณ	0-1.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ระดับที่ 2	คุณภาพน้ำดีมาก	ค่าบีโอดีประมาณ	1.5-3.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ระดับที่ 3	คุณภาพน้ำดี	ค่าบีโอดีประมาณ	3.0-6.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ระดับที่ 4	คุณภาพน้ำพอใช้	ค่าบีโอดีประมาณ	6.0-12.0	มิลลิกรัมต่อลิตร
ระดับที่ 5	คุณภาพน้ำแย่	ค่าบีโอดีประมาณ	>12.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand)

ค่าซีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ โดยใช้สารออกซิไดซ์ที่แรงมาก (Strong oxidizing agent) เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate: $K_2Cr_2O_7$) หรือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate: $KMnO_4$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

ค่าซีโอดีมีความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี โดยส่วนใหญ่ค่าซีโอดีมักสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอ เนื่องจากค่าซีโอดีเป็นการย่อยสลายโดยใช้สารเคมีซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ การหาค่าซีโอดีใช้เวลาในการวิเคราะห์เพียงแค่ 2 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งสะดวกและให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ทำให้อาจนำค่าซีโอดีที่หาได้มาใช้ในการประมาณค่าบีโอดีเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียได้ คือ ค่าบีโอดีจะมีค่าประมาณ 60% ของค่าซีโอดี (ตารางที่ 2.2) (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2544)

ตารางที่ 2.2 ค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

ประเภทโรงงาน	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
ผลิตสีทาบ้านและสีทั่วไป	650	140
ผลิตซอสปรุงรส	25,600	15,971
ผลิตเอทิลแอลกอฮอล์	141,616	49,386
ผลิตสุรา	90,000	35,059
ผลิตน้ำมันปลาและน้ำมันรำข้าว	95,136	53,808
ผลิตเบียร์	4,160	2,565
ฆ่าไก่	2,575	1,219
ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว	1,670	1,112

ที่มา (พงศ์ศิริ อยู่สบาย และวรวุฒิ วรชิน, 2542)

2.4 ความกระด้าง (Hardness)

น้ำที่มีความกระด้างเกิดจากการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมตัวกับไอน้ำหรือน้ำฝนในบรรยากาศกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (กรดอ่อน) แล้วซึมผ่านดินหรือหินปูนที่มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) จึงเกิดการละลายของหินปูนดังกล่าวทำให้น้ำมีปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมเจือปนมากขึ้นส่งผลให้น้ำมีความกระด้าง ซึ่งจะไม่สามารถเกิดฟองกับสบู่ได้ ทำให้สบู่เกิดการตกตะกอนและเกิดตะกรันภายในภาชนะต้มน้ำ ซึ่งมีทั้งตะกรันสนิม (เกิดจากการตกตะกอนของไอออนจำพวกเหล็ก (Fe^{2+})) และตะกรันหินปูน (เกิดจากการตกตะกอนของไอออนแคลเซียม (Ca^{2+}) หรือแมกนีเซียม (Mg^{2+}))

ความกระด้างของน้ำส่วนใหญ่เกิดจากไอออน Ca^{2+} และ Mg^{2+} แต่อาจมีบางส่วนเกิดจากไอออนบวกของ Al^{3+}, Fe^{2+}, Sr^{2+} และ Mn^{2+} หรือไอออนลบของ SO_4^{2-}, HCO_3^-, Cl^- และ NO_3^- ที่เจือปนอยู่ในน้ำ ความกระด้างของน้ำจะรายงานในรูปมิลลิกรัมต่อลิตรของแคลเซียมคาร์บอเนต (mg/L $CaCO_3$) โดยแบ่งความกระด้างของน้ำเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.4.1. ความกระด้างชั่วคราวเป็นสารประกอบไบคาร์บอเนตของแคลเซียมหรือแมกนีเซียม ซึ่งสามารถตกตะกอนได้เมื่อได้รับความร้อน เกิดเป็นตะกรันเกาะตามผิวของภาชนะ การป้องกันการเกิดตะกรันของไบคาร์บอเนตอาจใช้วิธีการเติมกรดกำมะถันลงไปเพื่อเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้กลายเป็นแคลเซียมซัลเฟต ซึ่งละลายน้ำได้ดีทำให้การตกตะกอนลดลง หรือการเติมสารฟอสเฟตเพื่อให้เกิดเป็นตะกอนเหลวขึ้นแทนที่ตะกอนแข็ง และกำจัดออกโดยปล่อยตะกอนเหลวออกจากภาชนะ

2.4.2. ความกระด้างถาวรเป็นสารประกอบซัลเฟต (SO_4^{2-}) หรือคลอไรด์ (Cl^-) ซึ่งไม่ตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อน จะกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้โดยใช้วิธีทางเคมีเช่น การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) การเติมสารส้ม (อะลูมิเนียมซัลเฟต: $Al_2(SO_4)_3$) ปูนขาว หรือโซดาแอช (Na_2CO_3)

น้ำประปาไม่ควรมีความกระด้างเกิน 80 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งหลายคนเข้าใจว่าการบริโภคน้ำที่มีความกระด้างเป็นสาเหตุของการเกิดโรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะหรือในไต แต่ในความเป็นจริงแล้วอุณหภูมิในร่างกายที่ 37 องศาเซลเซียส ยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดตะกอนสะสมในร่างกายได้ สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดโรคนิ่ว เกิดจากการดื่มน้ำน้อยทำให้ปริมาณเกลือแร่ในร่างกายมีความเข้มข้นสูงแล้วเกิดการตกผลึก เช่น เกลือฟอสเฟต เกลือคาร์บอเนตของแคลเซียม แคลเซียมออกซาเลต กรดยูริค เป็นต้น นอกจากนี้การบริโภคอาหารที่มียูริคหรือสารออกซาเลตสูง เช่น ผักโขม หน่อไม้ เครื่องในสัตว์ สัตว์ปีก เป็นต้น อาจเพิ่มโอกาสเสี่ยงของการเกิดโรคนิ่วได้เช่นกัน (จุไรรัตน์ มหาเทียน, 2553) โดยสามารถแบ่งระดับความกระด้างของน้ำได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ระดับความกระด้างของน้ำ

ลักษณะของน้ำ	ระดับความกระด้าง ($mg/L\ CaCO_3$)	ลักษณะของน้ำ	ระดับความกระด้าง ($mg/L\ CaCO_3$)
น้ำอ่อนมาก	0-10	น้ำกระด้างปานกลาง	100-200
น้ำอ่อน	10-75	น้ำกระด้าง	200-300
น้ำค่อนข้างกระด้าง	75-100	น้ำกระด้างมาก	>300

ที่มา (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545)

3. ลักษณะทางชีวภาพ (Biological characteristics)

ชนิด จำนวนและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำและรอบๆ บริเวณแหล่งน้ำ เช่น สัตว์หน้าดิน แมลง แพลงก์ตอน สาหร่าย เป็นต้น สามารถนำมาใช้เป็น

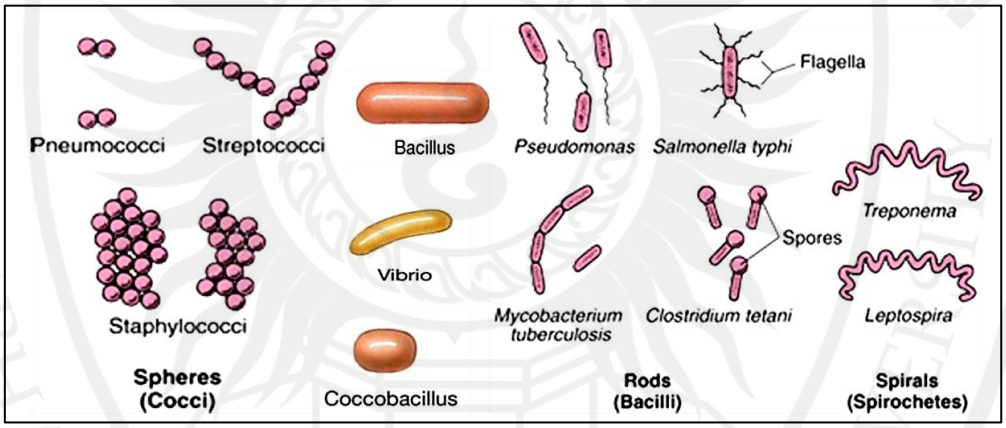
ตัวบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำได้อีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความสามารถในการดำรงชีวิตในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจน เป็นต้น สิ่งมีชีวิตบางชนิดอาจมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีทำให้สามารถอยู่รอดได้ในสภาวะต่างๆ แต่บางชนิดไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทำให้อัตราการรอดลดลง ซึ่งการจำแนกสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอาจแบ่งออกเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ ซึ่งแบ่งย่อยออกได้ดังนี้

3.1 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวอยู่ในอาณาจักรโปรติสตา (Kingdom Protista) ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 0.0003-0.05 มิลลิเมตร สามารถจำแนกกลุ่มของแบคทีเรียได้หลายรูปแบบ ดังนี้

3.1.1 ตามลักษณะรูปร่างของแบคทีเรีย (ภาพที่ 2.5)

3.1.1.1 Bacilli หรือ Bacillus เป็นแบคทีเรียรูปท่อนหรือเป็นแท่ง (Rod shape) มีขนาด1.5-3.0 ไมครอน มีทั้งที่อยู่เดี่ยวและประกอบกันเป็นสาย เช่น *Escherichia coli*



ภาพที่ 2.5 รูปร่างของแบคทีเรียชนิดต่างๆ
ที่มา (ดัดแปลงจาก Robert, 2009)

3.1.1.2 Cocci หรือ Coccus เป็นแบคทีเรียรูปร่างกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-11.0 ไมครอน อาจอยู่เดี่ยวๆ หรือรวมกันเป็นกลุ่ม เช่น *Streptococcus aureus*

3.1.1.3 Spirilla หรือ Spirillum เป็นแบคทีเรียรูปร่างเป็นเกลียว (Spiral) เช่น *Spirogyra* sp.

3.1.1.4 Vibrios เป็นแบคทีเรียรูปแท่งและโค้ง เช่น *Vibrio cholerae*

3.1.2 ตามอุณหภูมิการดำรงชีวิตของแบคทีเรีย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

3.1.2.1 Psycholiphic คือ แบคทีเรียกลุ่มที่ดำรงชีวิตอยู่ในอุณหภูมิต่ำ มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 12-18 องศาเซลเซียส

3.1.2.2 Mesophilic คือ แบคทีเรียกลุ่มที่ดำรงชีวิตอยู่ในอุณหภูมิปานกลาง มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 25-40 องศาเซลเซียส

3.1.2.3 Thermophilic คือ แบคทีเรียกลุ่มที่ดำรงชีวิตอยู่ในอุณหภูมิสูง มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 55-65 องศาเซลเซียส แต่แบคทีเรียบางชนิดสามารถทนอุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ได้

3.1.3 ตามประเภทของแหล่งพลังงาน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

3.1.3.1 Autotrophic bacteria เป็นแบคทีเรียชนิดที่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญสารอนินทรีย์เพื่อให้ได้เป็นพลังงาน และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างสารอินทรีย์แล้วนำมาเป็นสารตั้งต้นในการสร้างเซลล์ใหม่ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.1.3.1.1 Chemolitotrophic bacteria คือ แบคทีเรียที่ได้พลังงานจากการเผาผลาญสารอนินทรีย์เพื่อนำมาใช้สร้างสารอินทรีย์

3.1.3.1.2 Photosynthetic bacteria คือ แบคทีเรียกลุ่มที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์และคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้สร้างเป็นสารอินทรีย์

3.1.3.2 Heterotrophic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนหรือเป็นแหล่งพลังงานในการสร้างเซลล์ใหม่ แบคทีเรียกลุ่มนี้มีความสำคัญมากในระบบบำบัดน้ำเสีย แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

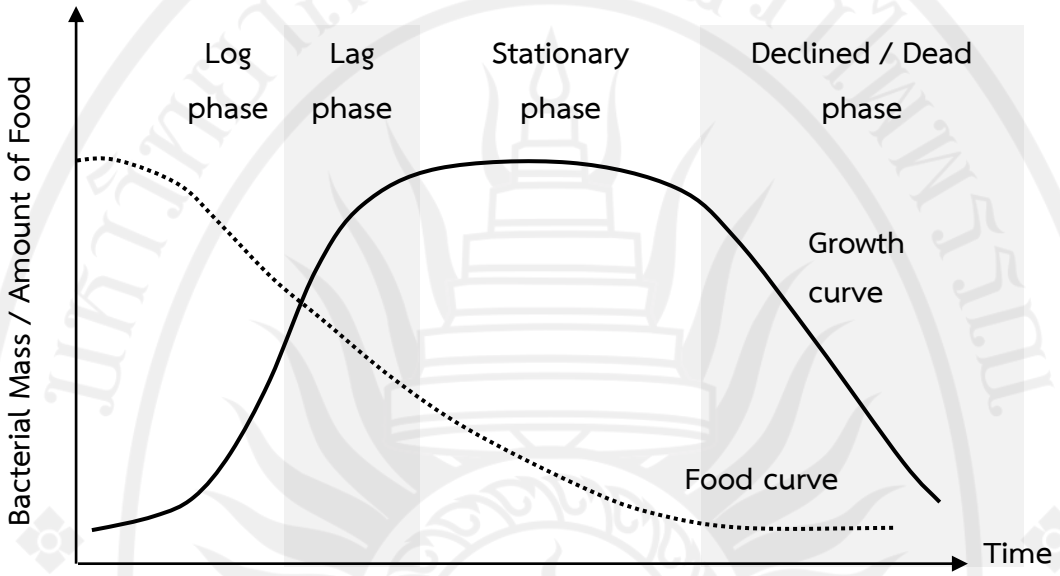
3.1.3.2.1 Aerobic bacteria คือ แบคทีเรียประเภทที่ใช้ออกซิเจนอิสระในการดำรงชีวิต

3.1.3.2.2 Anaerobic bacteria คือ แบคทีเรียประเภทที่ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระในการเผาผลาญสารอินทรีย์ แต่ใช้ออกซิเจนจากสารประกอบอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์อื่น เช่น ไนเตรท (NO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นต้น ในการสันดาปกับสารอินทรีย์ให้เกิดพลังงาน

3.1.3.2.3 Facultative bacteria คือ แบคทีเรียที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถถูกพบได้ในทุกหนทุกแห่ง ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียประเภทที่ไม่มีอันตรายมากนัก มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถก่อโรคได้ การดำรงชีวิตของแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะสร้างสปอร์ (Spore) ที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง

สภาพแวดล้อมได้เป็นเวลานาน และเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมสามารถกลับมาเจริญเติบโตต่อไปได้ โดยอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดยแปรผันตรงกับปริมาณอาหาร และมีความสัมพันธ์กับเวลา ซึ่งสามารถแบ่งระยะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดังนี้ (ภาพที่ 2.6)



ภาพที่ 2.6 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Growth curve)
ที่มา (ดัดแปลงจาก EBS, n.d.)

1. Lag phase เป็นระยะที่แบคทีเรียเริ่มมีการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ มีการนำสารอาหารมาใช้ในการดำรงชีวิตแต่ยังไม่มีการแบ่งเซลล์ทำให้อัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ

2. Log phase เป็นระยะที่แบคทีเรียสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี เกิดการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ จึงมีอัตราการเจริญเติบโตในระยะนี้สูงสุด

3. Stationary phase เป็นระยะที่ปริมาณอาหารลดลงและมีของเสียจากแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงมีจำกัด เริ่มมีการตายของแบคทีเรีย ทำให้ปริมาณของแบคทีเรียเริ่มคงที่

4. Declined phase หรือ Dead phase เป็นระยะที่อาหารเหลือน้อยลง พวกที่ดำรงชีวิตอยู่ได้จะอาศัยอาหารสะสมภายในเซลล์ อัตราการตายเพิ่มสูงขึ้น

3.2 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราเป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์อยู่ในกลุ่มของยูคาริโอต (Eukaryote) มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสชัดเจน ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเส้นสาย (Hyphae) เชื้อราแทบทุกสายพันธุ์มีความทนทานต่อความแห้งแล้งและสภาวะที่ไม่เหมาะสมของสภาพอากาศได้ดี (สุบัณฑิต นิ่มรัตน์, 2552) ส่วนใหญ่มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ จัดเป็นพวกผู้ย่อยสลายและได้รับอาหารด้วยการสังเคราะห์ทางเคมีจากสารอินทรีย์ที่ตายแล้ว (Saprophytes) เชื้อราแบ่งออกได้เป็น 5 ชั้น (Class) (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547) ได้แก่

3.2.1 Myxomycetes เป็นเชื้อราที่ไม่มีผนังห่อหุ้ม มีการเคลื่อนที่แบบอมีบา (Amoeboid movement) ได้แก่ ราเมือก (Slime mold)

3.2.2 Phycomycetes จัดเป็นราชั้นต่ำ เส้นใยไม่มีผนังกั้น ได้แก่ ราน้ำ

3.2.3 Ascomycetes หรือ Sac fungi เป็นเชื้อราที่เส้นใยมีผนังกั้น มีการสืบพันธ์แบบไม่อาศัยเพศโดยการสร้างสปอร์ และแบบอาศัยเพศโดยผสมระหว่างเส้นใยที่มีเพศต่างกันเกิดเป็น Ascospore

3.2.4 Basidiomycetes มีลักษณะคล้ายกับกลุ่ม Ascomycetes แต่การสืบพันธ์แบบอาศัยเพศจะได้สปอร์ที่เรียกว่า Basidiospore ได้แก่ เห็ดชนิดต่างๆ

3.2.5 Fungi imperfecti หรือ ราอื่นๆ เป็นเชื้อราที่เส้นใยมีผนังกั้น เป็นกลุ่มชั่วคราวเนื่องจากในภาวะปกติจะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ แต่หากพบว่าเชื้อรากลุ่มนี้มีการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศจะย้ายกลุ่มไปอยู่ในชั้น Ascomycetes หรือ Basidiomycetes

เชื้อราสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง หากระบบบำบัดน้ำเสียมีเชื้อราจะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาจมตัวได้ไม่ดี และยังเป็นสาเหตุให้เกิดรสและกลิ่นในน้ำอีกด้วย

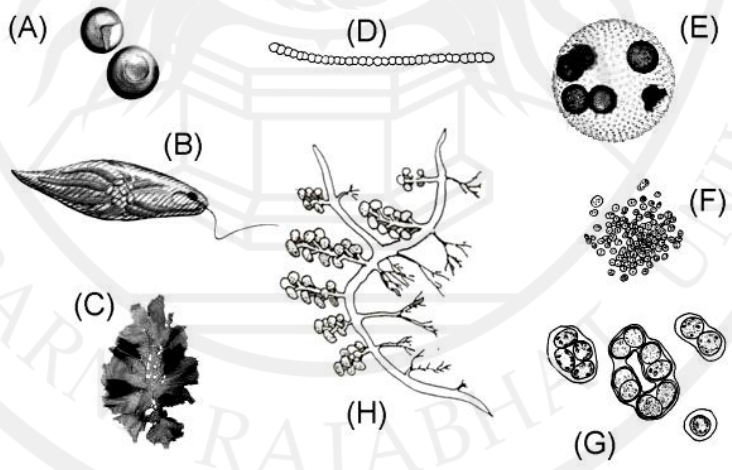
3.3 สาหร่าย (Algae)

สาหร่าย เป็นสิ่งมีชีวิตในกลุ่มของพืชน้ำ พบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม สามารถนำพลังงานจากแสงมาใช้สร้างอาหารและเก็บไว้ในรูปของสารอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต (Photosynthesis) สาหร่ายมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กที่ต้องส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาดใหญ่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีทั้งที่สามารถเคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ ดำรงชีวิตอยู่เป็นเซลล์เดี่ยวหรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม มีรูปร่างเป็นเส้นสาย เป็นแผ่น เป็นหลอดหรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง (ตารางที่ 2.4 และภาพที่ 2.7)

ตารางที่ 2.4 รูปร่างลักษณะของสาหร่ายแบบต่างๆ

รูปร่างลักษณะ		ตัวอย่าง
เซลล์เดี่ยว	เคลื่อนที่ได้	*Euglena*, *Phacus*, *Chlamydomonas*, *Ceratium*, *Peridinium*
	เคลื่อนที่ไม่ได้	*Chlorella*, *Cosmarium*, *Euastrum*, *Closterium*, *Cystodinium*, *Micrasterias*, *Navicula*
อยู่เป็นกลุ่ม	เคลื่อนที่ได้	*Volvox*, *Synura*, *Gonium*, *Chrysosphaerella*
	เคลื่อนที่ไม่ได้	*Scenodesmus*, *Pediastrum*, *Hydrodictyon*, *Microcystis*, *Merismopedia*
เป็นเส้นสาย	สายแตกแขนง	*Cladophora*, *Pithophora*, *Chaetophora*
	สายไม่แตกแขนง	*Spirogyra*, *Oedogonium*, *Zygnema*, *Oscillatoria*
เป็นแผ่น		*Ulva*, *Schizomeris*, *Sagussum*
เป็นหลอด		*Vaucheria*, *Dichotomosiphon*, *Hamilida*, *Caulerpa*, *Bryopsis*, *Dictyota*
คล้ายพืชชั้นสูง		สาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายสีเขียวบางชนิด สาหร่ายไฟ เช่น *Chara*, *Nitella*

ที่มา (มัณฑนา นวลเจริญ, 2547 และยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)



ภาพที่ 2.7 รูปร่างลักษณะของสาหร่าย (A = *Chlorella*, B = *Euglena*, C = *Ulva*, D = *Anabaena*, E = *Volvox*, F = *Mycrocystis*, G = *Oocystis*, H = *Caulerpa*)
ที่มา (ดัดแปลงจาก Palmer, 1900 และยุวดี พีรพรพิศาล, 2549)

การจัดจำแนกสาหร่ายถูกแบ่งออกเป็น 9 ดิวิชั่น (Division) ตามชนิดของรงควัตถุหรือสารสี (Pigments) อาหารสะสมและการสืบพันธุ์ (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) คือ

1. ดิวิชั่นไซยาโนไฟตา (Division Cyanophyta) คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.8)

2. ดิวิชั่นคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) คือ สาหร่ายสีเขียว พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีหลายรูปแบบทั้งที่เคลื่อนที่ได้โดยมีแฟลกเจลลา 1 เส้นหรือมากกว่า (ภาพที่ 2.9) ไม่เป็นเส้นสาย (ภาพที่ 2.10) แบบที่เป็นเส้นสาย (ภาพที่ 2.11) หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (ภาพที่ 2.12)

3. ดิวิชั่นคาโรไฟตา (Division Charophyta) คือ สาหร่ายไฟ พบในน้ำจืด (ภาพที่ 2.13)

4. ดิวิชั่นยูกลีโนไฟตา (Division Euglenophyta) คือ สาหร่ายยูกลีนอยด์ พบในน้ำจืด (ภาพที่ 2.14)

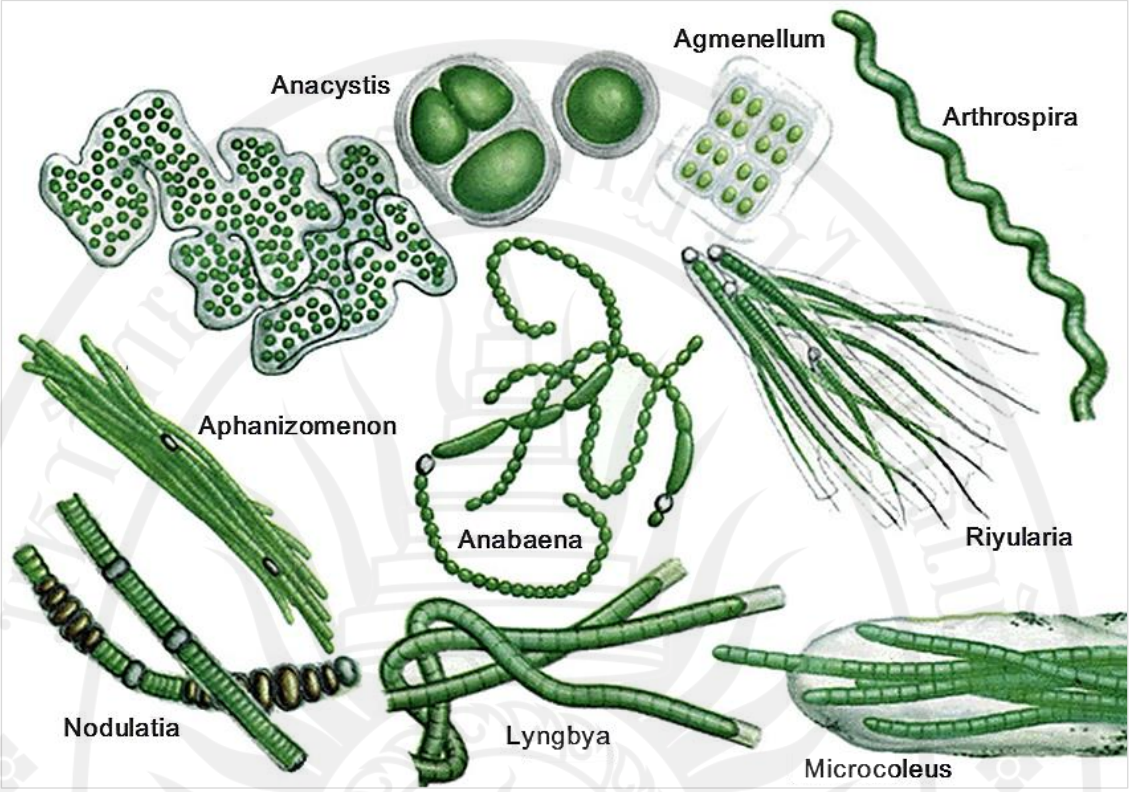
5. ดิวิชั่นฟีโอไฟตา (Division Phaeophyta) คือ สาหร่ายสีน้ำตาล พบในน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.15)

6. ดิวิชั่นคริโซไฟตา (Division Chrysophyta) คือ สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง และไดอะตอม พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.16)

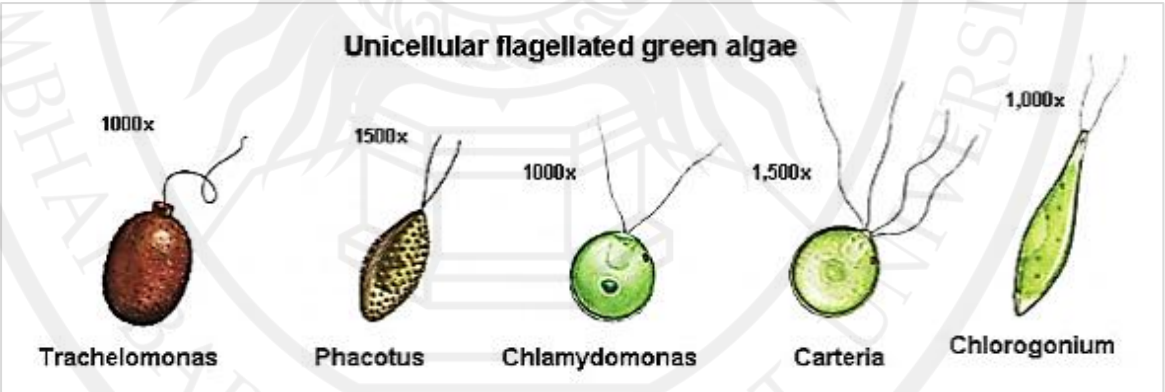
7. ดิวิชั่นไพโรไฟตา (Division Pyrrophyta) คือ ไดโนแฟลกเจลเลต พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.17)

8. ดิวิชั่นคริฟโตไฟตา (Division Cryptophyta) คือ สาหร่ายคริพโตโมแนดส์ พบในน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.18)

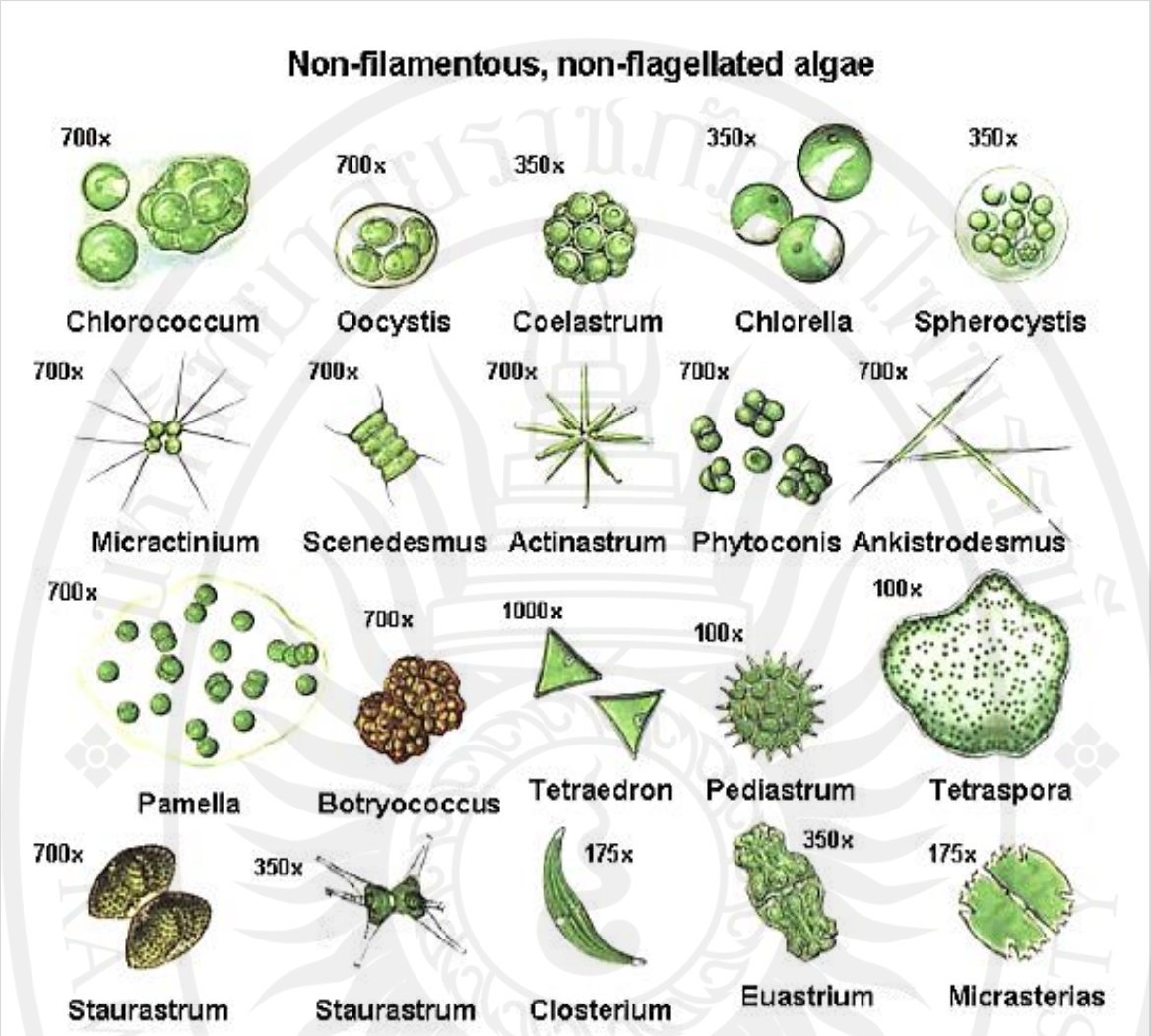
9. ดิวิชั่นโรโดไฟตา (Division Rhodophyta) คือ สาหร่ายสีแดง พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม (ภาพที่ 2.19)



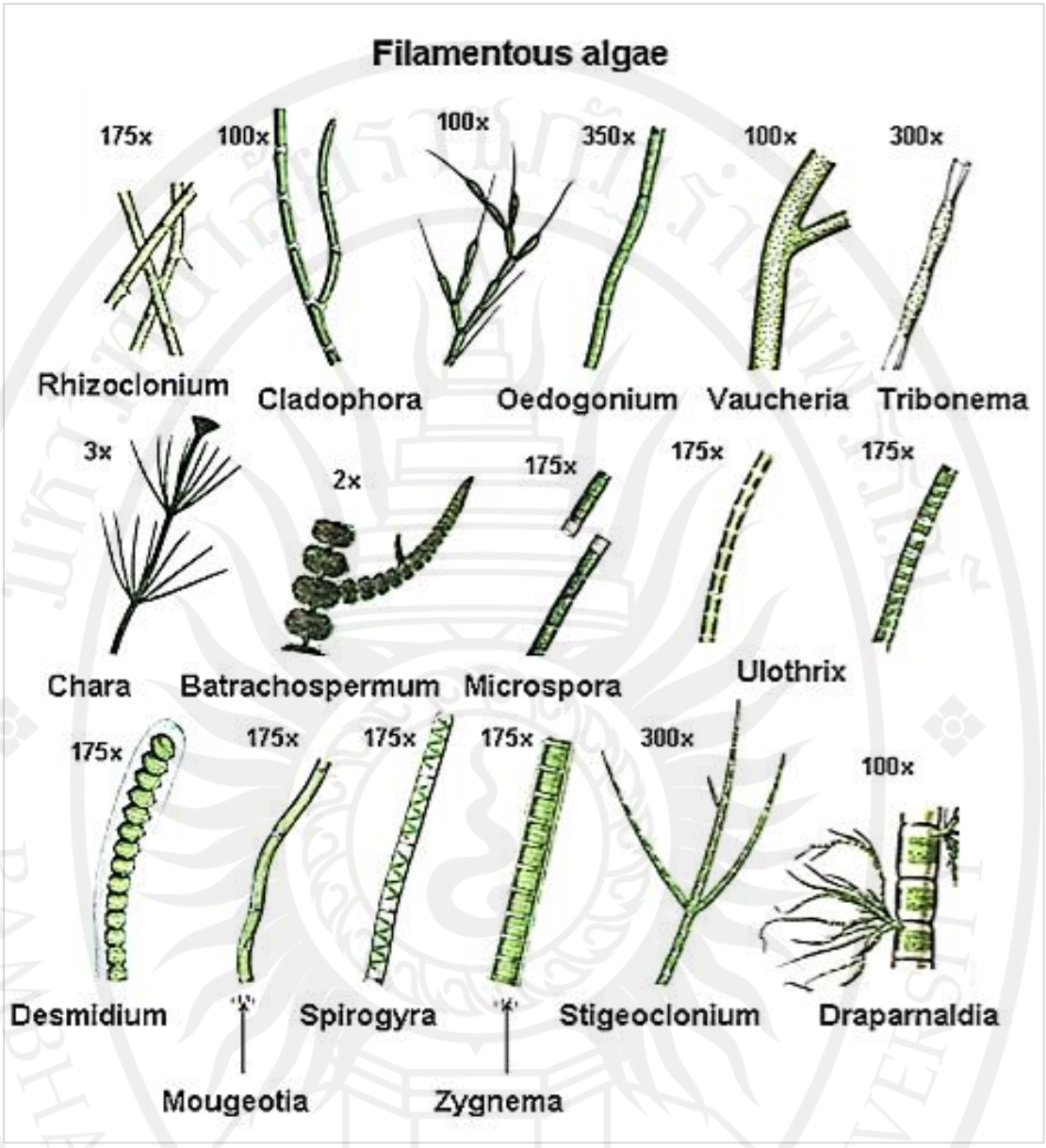
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
ที่มา (Cyanophytes, n.d.)



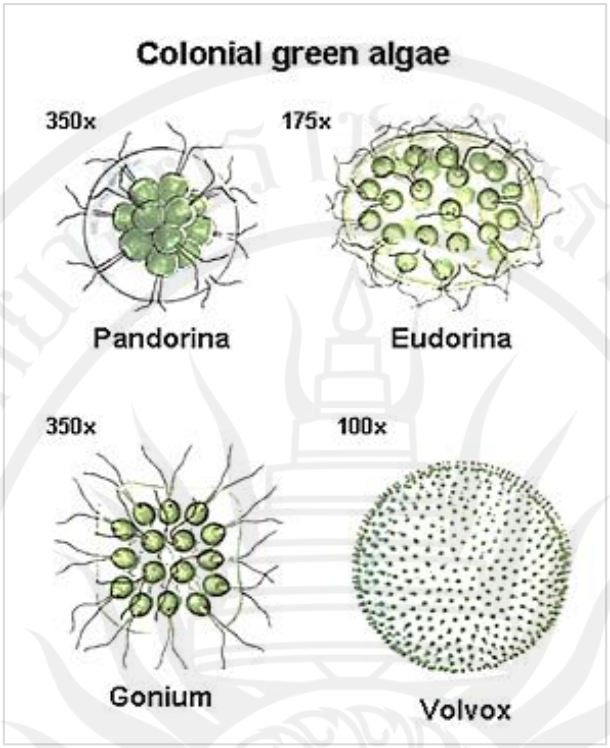
ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้
ที่มา (Algae, n.d.)



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่เป็นเซลล์เดี่ยว ไม่เป็นเส้นสาย
ที่มา (Algae, n.d.)

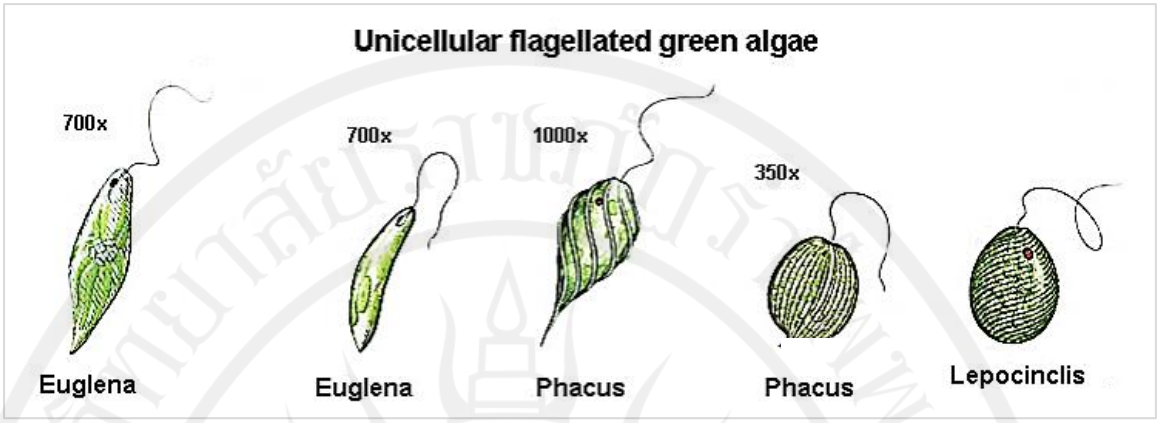


ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย
ที่มา (Algae, n.d.)



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
ที่มา (Algae, n.d.)

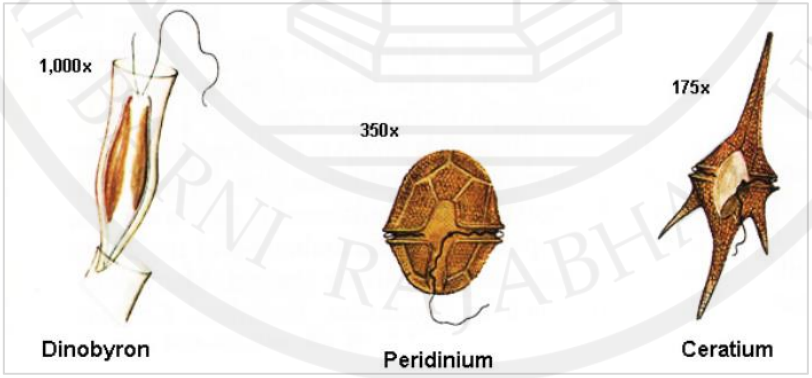
ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างสาหร่ายไฟ (ซ้าย) และอวัยวะสืบพันธุ์ (ขวา)
ที่มา (Morphological note on Chara, n.d.)



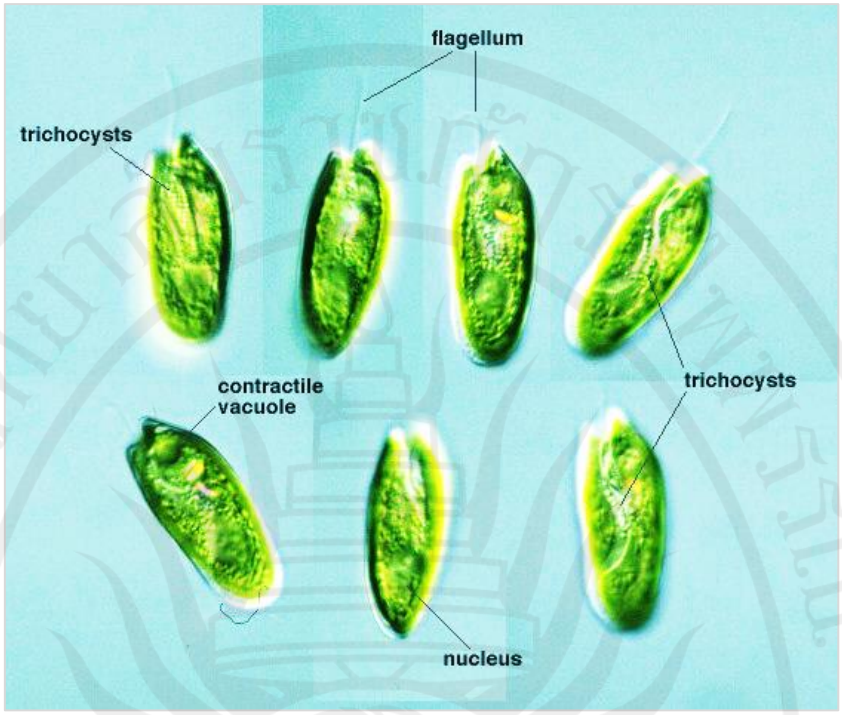
ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างสาหร่ายยูกลีนอยด์
ที่มา (Algae, n.d.)

ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างสาหร่ายสีน้ำตาล
ที่มา (TutorVista.com, n.d.)

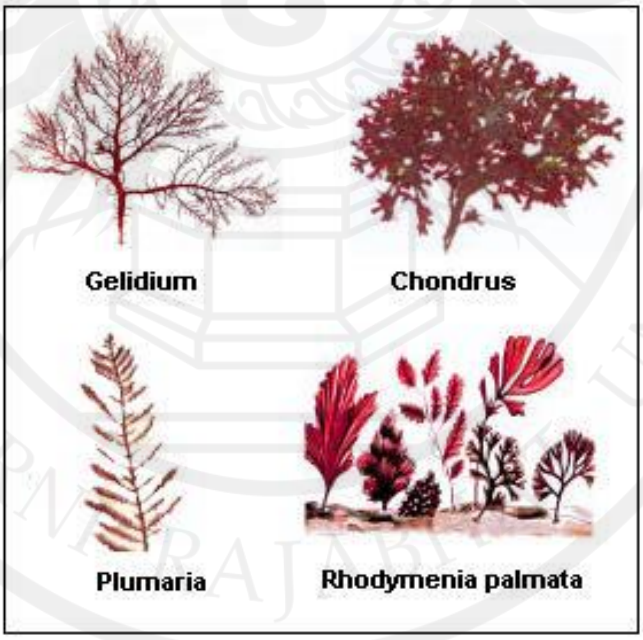
ภาพที่ 2.16 ตัวอย่างสาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง
ที่มา (Algae, n.d.)



ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างของไดโนแฟลกเจลเลต
ที่มา (Algae, n.d.)



ภาพที่ 2.18 ตัวอย่างสาหร่ายในกลุ่มคริพโตโมแนดส์
ที่มา (Cryptomonas, n.d.)



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างสาหร่ายสีแดง
ที่มา (TutorVista.com, n.d.)

รงควัตถุของสาหร่ายจะดูดซึมพลังงานแสงที่ช่วงคลื่นต่างกันเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช รงควัตถุมีทั้งสีเขียว สีแดง สีน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งรงควัตถุที่พบในสาหร่ายแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (มัณฑนา นวลเจริญ, 2547; ยุวดี พีรพรพิศาล, 2549) ดังนี้

1. คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เอ ให้สีเขียวแก่ พบในพืชชั้นสูงและสาหร่ายทุกชนิด

คลอโรฟิลล์บี ให้สีเขียวอ่อน พบในพืชชั้นสูงทุกชนิดและสาหร่ายสีเขียว

คลอโรฟิลล์ซี ให้สีน้ำตาล พบในสาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม

คลอโรฟิลล์ดี ให้สีแดง พบในสาหร่ายสีแดง

2. แคโรทีนอยด์ (Carotenoid)

เบต้าแคโรทีน ให้สีส้ม พบในพืชชั้นสูงและสาหร่ายส่วนใหญ่

แอลฟาแคโรทีน ให้สีส้มแดง พบในพืชส่วนใหญ่และสาหร่ายบางชนิด

แซนโทฟิลล์ ให้สีเหลืองน้ำตาล พบในสาหร่ายสีน้ำตาลและไดอะตอม

3. ไฟโคบิลินโปรตีน (Phycobilin protein)

อาร์ไฟโคไซยานิน และซีไฟโคไซยานิน ให้สีน้ำเงินพบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีแดงบางชนิด

อาร์ไฟโคอิริธริน และซีไฟโคอิริธริน ให้สีแดงพบในสาหร่ายสีแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด

รงควัตถุในเซลล์ของสาหร่ายทำให้เห็นสาหร่ายเป็นสีแตกต่างกัน ดังนั้นการเจริญของสาหร่ายแต่ละชนิดในแหล่งน้ำทำให้เห็นน้ำเป็นสีต่างกัน (ตารางที่ 2.5) บางชนิดอาจทำให้เกิดกลิ่นและรสของน้ำเปลี่ยนไป (ภาพที่ 2.20) รวมถึงก่อให้เกิดพิษและส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตด้วย (ตารางที่ 2.6)

นอกจากนี้ผลกระทบที่เกิดจากการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของสาหร่าย เรียกว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) หรือปรากฏการณ์ขี้ปลาวาฬ หรือการเกิดแพลงก์ตอนบลูม เป็นการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายชนิดต่างๆ เนื่องจากได้รับสารอาหารจากการชะล้างเอาแร่ธาตุจากหน้าดินบนพื้นที่ชายฝั่งไหลลงสู่แหล่งน้ำ รวมถึงน้ำทิ้งจากบ้านเรือนที่มีปริมาณธาตุอาหารจำนวนมาก เช่น ฟอสเฟต ไนเตรท เป็นต้น จึงยิ่งเหมือนเป็นการเติมปุ๋ยให้กับพืชในแหล่งน้ำ เมื่ออุณหภูมิ ความเค็มและปริมาณแสงแดดอยู่ในช่วงพอเหมาะจะทำให้แพลงก์ตอนเกิดการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วปกคลุมผิวหน้าน้ำ ทำให้เห็นแหล่งน้ำเป็นสีของสาหร่ายชนิดนั้นๆ ซึ่งหากมีการเพิ่มจำนวนของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืชมากจนปกคลุมผิวน้ำจะทำให้ออกซิเจนละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ยากและแสงส่องลงไปยังชั้นน้ำด้านล่างน้อยลงจึงเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลง และในช่วงเวลากลางคืน พืชน้ำ สาหร่ายและสัตว์น้ำยังนำ

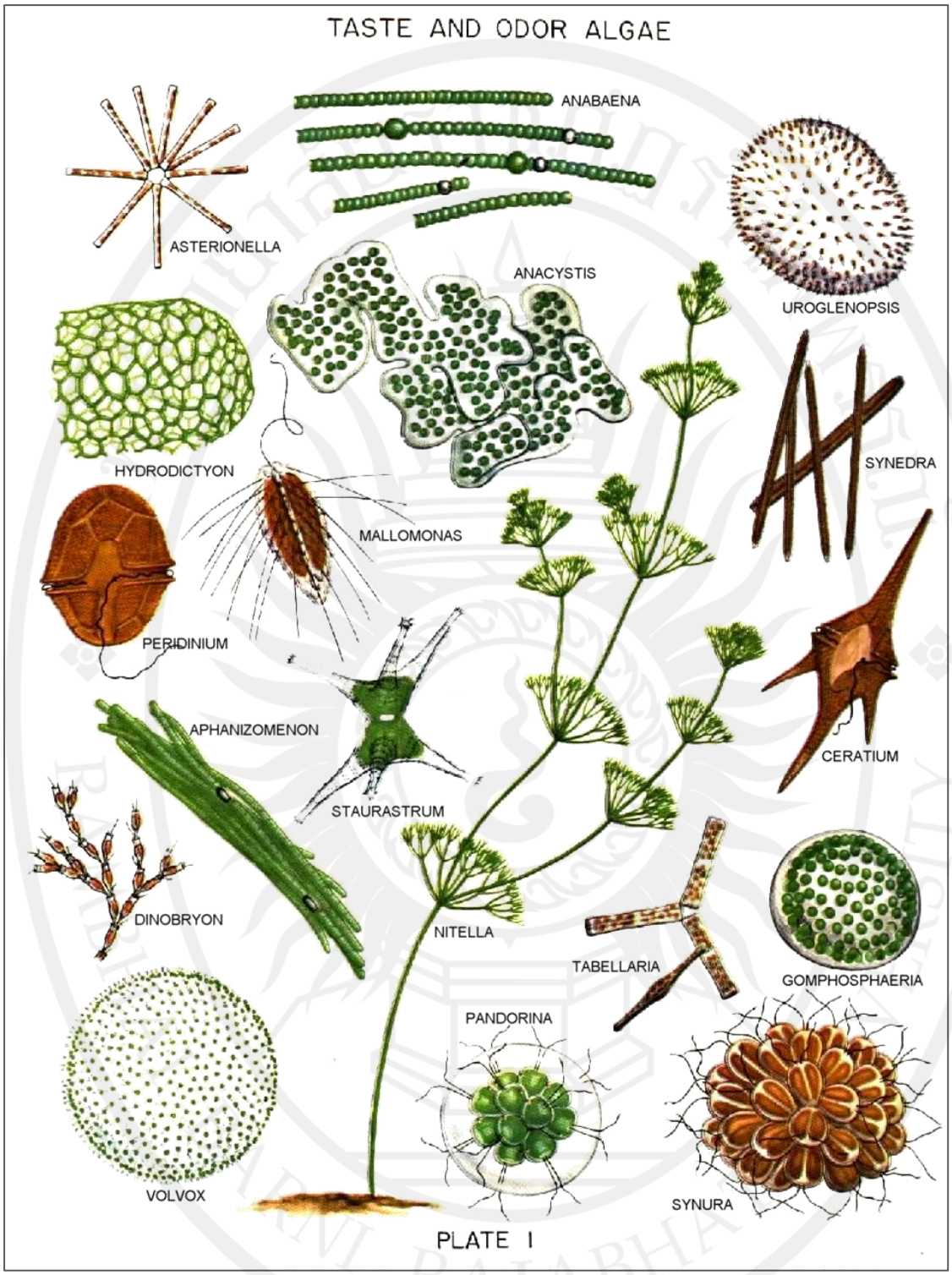
ออกซิเจนไปใช้ในการหายใจ เป็นผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน เกิดการตายของสิ่งมีชีวิตในน้ำ จุลินทรีย์จะนำออกซิเจนในน้ำมาใช้ย่อยสลายพืชและสัตว์ที่ตายทำให้ออกซิเจนในน้ำยิ่งลดลงมากขึ้น นอกจากนี้สาหร่ายบางส่วนอาจเข้าไปติดตามเหงือกของปลาและรบกวนระบบการหายใจของสัตว์น้ำ ซึ่งในช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์นี้มักพบเห็นสัตว์น้ำลอยตายเป็นจำนวนมาก เกิดการเน่าเหม็นของแหล่งน้ำ เป็นปัญหามลพิษตามมา

สาหร่ายที่มักเกิดการบลูมในแหล่งน้ำ ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena* เป็นต้น ซึ่งสาหร่ายบางชนิดเป็นสาหร่ายมีพิษ อาจส่งผลให้สัตว์น้ำบางชนิดตายจากการกินสาหร่ายมีพิษเข้าไป แต่สัตว์จำพวกหอย เช่น หอยแมลงภู่ หอยนางรม สามารถสะสมพิษจากสาหร่ายโดยการกรองกินสาหร่ายมีพิษเหล่านี้ได้โดยที่ไม่เป็นอันตราย สารพิษจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารส่งต่อไปยังผู้บริโภคซึ่งสารพิษบางชนิดมีความรุนแรงต่อผู้บริโภคถึงขึ้นทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นการที่มีประชาชนไปจับสัตว์น้ำที่ลอยตายในช่วงเวลาดังกล่าวอาจเกิดความไม่ปลอดภัยได้ จึงควรให้มีการตรวจสอบกลุ่มของสาหร่ายที่เกิดการบลูมในแหล่งน้ำให้แน่ชัดก่อนว่าไม่เป็นกลุ่มของสาหร่ายมีพิษ

ตารางที่ 2.5 ชนิดของแพลงก์ตอนที่ส่งผลต่อสีของน้ำในบ่อกุ้ง

สีของน้ำในบ่อกุ้ง	ชนิดของแพลงก์ตอนในน้ำ
น้ำตาลอ่อน	Dinoflagellate
น้ำตาลเข้ม	*Peridium, Ceratium, Gymnodinium, Noctiluca*
น้ำตาลเหลือง	*Oscillatoria, Coscinodiscus*
น้ำตาลแดง	*Chaetoceros, Skeletonema,* Diatom, Dinoflagellate
เขียวอ่อน	Diatom, Dinoflagellate
เขียวเข้ม	*Oscillatoria, Microcystis, Anabaena, Oocystis*
เขียวเหลือง	*Oscillatoria, Nitzschia*

ที่มา (ชลอ ลิ้มสุวรรณ, 2543)



ภาพที่ 2.20 สาหร่ายที่ทำให้น้ำมีกลิ่นและรส
ที่มา (Palmer, 1900)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างชนิดของสาหร่ายที่ก่อให้เกิดผลกระทบในน้ำและสิ่งมีชีวิต

ชนิดของสาหร่าย	ลักษณะผลกระทบ
Gymnodinium, Nodularia, Trichodesmium, Noctiluca	น้ำทะเลเปลี่ยนสี
Dinobryon, Uroglenopsis, Peridinium, Asterionella, Tabellaria	น้ำมีกลิ่นคาวปลา
Synedra	น้ำมีกลิ่นอับ
Anabaena, Anacystis, Aphanizomenon	น้ำมีกลิ่นมูลสุกร
Gomphosphaeria, Cylindrospermum, Rivularia	น้ำมีกลิ่นหญ้า
Chlamydomonas, Cryptomonas, Euglena	น้ำมีรสหวาน
Nitella, Synura	น้ำมีรสขม
Dinophysis fortii, D. acuta	เกิดพิษท้องร่วง
Gymnodinium, Pyridinium, Alexandrium	เกิดพิษอัมพาต
Gymnodinium breve	เกิดพิษต่อระบบประสาท

ที่มา (อาภารัตน์ มหาขันธ์, 2551)

3.4 โปรโตซัว (Protozoa)

โปรโตซัวเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ไม่มีผนังเซลล์ สืบพันธุ์โดยการแบ่งตัวจากหนึ่งเป็นสอง (Binary fission) ส่วนใหญ่ดำรงชีวิตเป็นอิสระโดยกินแบคทีเรียที่แขวนลอยในน้ำเป็นอาหาร จึงทำให้น้ำใสขึ้น มีทั้งที่ดำรงชีวิตโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic heterotroph) มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (Facultative heterotroph) และเป็นสภาพที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic) มักพบในแหล่งน้ำที่มีความสกปรกไม่สูงนัก ดังนั้นจึงมักใช้โปรโตซัวเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำได้ โปรโตซัวสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม (ภาพที่ 2.21) (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547; สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) ดังนี้

3.4.1 ซีเลียตา (Ciliata) ใช้ขนเล็กๆ (Cilia) ในการเคลื่อนที่และโบกพัดอาหาร มีทั้งที่ว่ายน้ำอิสระ เช่น *Paramecium* spp. หรือเป็นก้าน เช่น *Vorticella* spp.

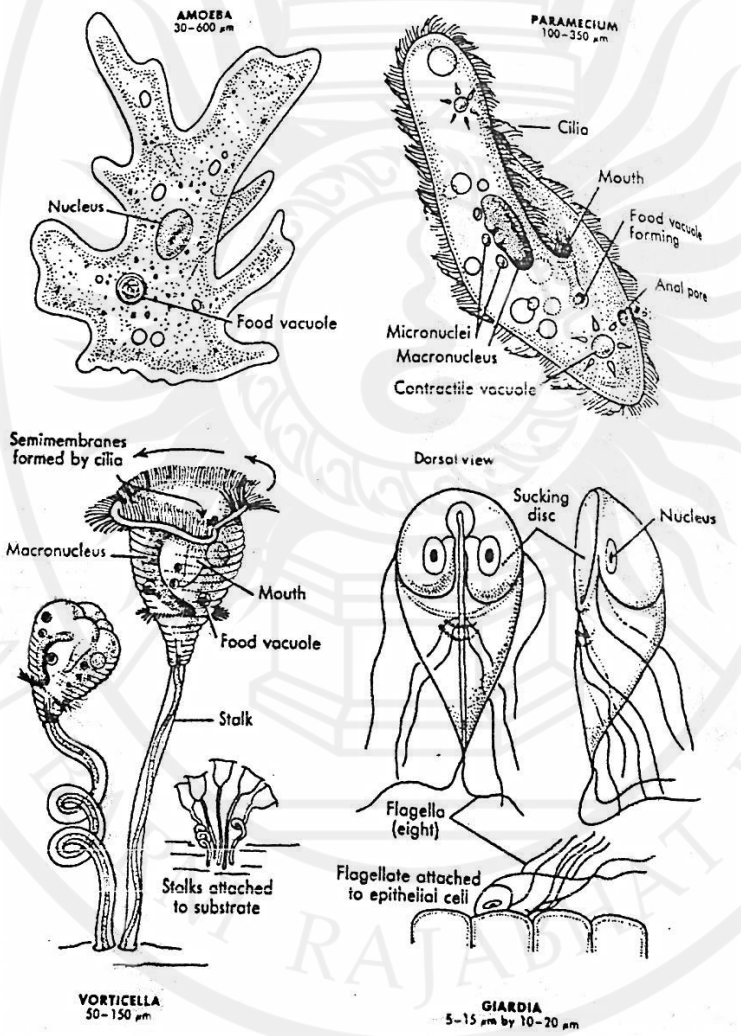
3.4.2 มาสติโกฟอรา (Mastigophora) ใช้แส้ (Flagella) ในการเคลื่อนที่เช่น *Paranema* spp. และ *Gonium* spp.

3.4.3 ซาร์โคดินา (Sarcodina) ใช้เท้าเทียม (Pseudopodium) ในการเคลื่อนที่ ลักษณะเซลล์มีความยืดหยุ่นคล้ายอะมีบา (Amoeba) อาศัยในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น *Entamoeba histolytica*

อย่างไรก็ตามยังมีโปรโตซัวที่ดำรงชีวิตแบบปรสิต เช่น *Giardia lamblia* ซึ่งเจริญในลำไส้เล็กส่วนบนของคน ทำให้เกิดโรคลำไส้ที่เรียกว่า Giardiasis ซึ่งจะแสดงอาการท้องร่วง อาหารไม่ย่อย ท้องอืด ท้องเฟ้อ กล้ามเนื้อล้า เบื่ออาหาร น้ำหนักลด เป็นต้น เกิดโดยการบริโภคน้ำที่มีการปนเปื้อนโปรโตซัวชนิดนี้ (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547)

3.5 หนอน หรือ พยาธิ (Worms)

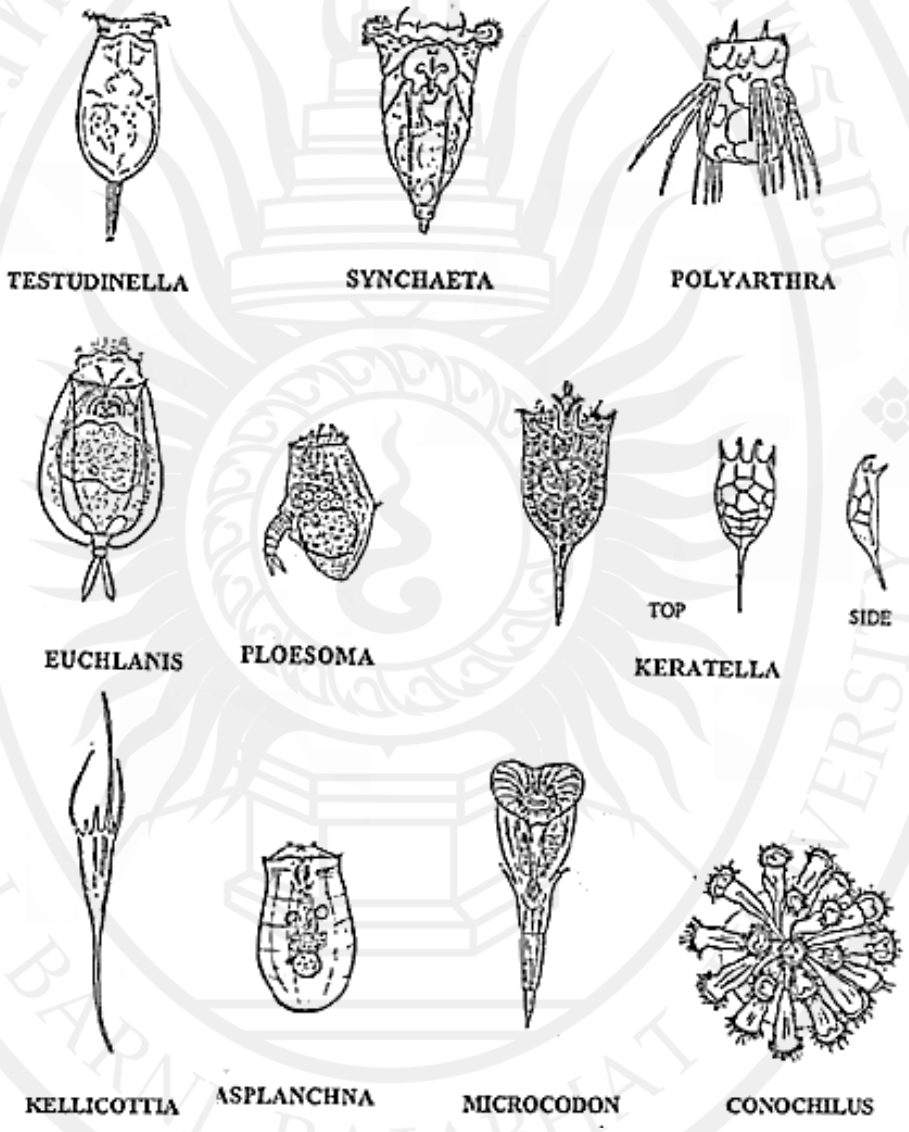
หนอนหรือพยาธิมีทั้งว่ายน้ำอย่างอิสระในน้ำ เช่น พลานาเรีย (Planaria) และเป็นปรสิต เช่น พยาธิต่างๆ พยาธิใบไม้ (Flukes) พยาธิตัวตืด (Tapeworms) พยาธิปากขอ (Necator) พยาธิตัวกลม (Ascaris) เป็นต้นหนอนและพยาธิสามารถช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนที่ย่อยได้ยาก อาจพบอยู่ตามพื้นท้องน้ำและลำธารที่น้ำนิ่ง



ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างโปรโตซัวที่พบในน้ำจืดและน้ำเค็ม
ที่มา (Tchobanoglous and Schroeder, 1985)

3.6 โรติเฟอร์ (Rotifers) หรือหนอนจักร

โรติเฟอร์เป็นสัตว์หลายเซลล์ เจริญในพื้นที่ที่มีออกซิเจน ที่มาของชื่อมาจากบริเวณส่วนหัวมีขนเส้นเล็กๆ หมุนเคลื่อนที่คล้ายกงจักรเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่และการพัดโบกจับแบคทีเรียเป็นอาหาร สามารถยืดหดตัวได้ แต่มักยึดติดอยู่กับที่ มักพบในน้ำที่มีคุณภาพดี เช่น ตามผนังของบ่อเติมอากาศ (สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540) (ภาพที่ 2.22)



ภาพที่ 2.22 โรติเฟอร์หรือหนอนจักร
ที่มา (Rotifer, 2011)

3.7 ไวรัส (Virus)

ไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมากที่ไม่จัดเป็นเซลล์เนื่องจากไม่มีเยื่อหุ้มเซลล์ ประกอบด้วยโปรตีนที่มีสารพันธุกรรมชนิด Deoxyribonucleotide acid (DNA) หรือ Ribonucleotide acid (RNA) ไวรัสไม่สามารถเจริญได้ถ้าอยู่นอกตัวสิ่งมีชีวิต มีการดำรงชีวิตแบบปรสิตโดยบุกรุกและอาศัยเซลล์ที่มีชีวิตโดยเพิ่มจำนวนในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นจนมีปริมาณมากพอแล้วเซลล์ที่ไวรัสอาศัยอยู่จะแตกออกแล้วปล่อยไวรัสออกจากเซลล์เพื่อกระจายไปยังเซลล์อื่นต่อไป ไวรัสเป็นสาเหตุของการเกิดโรคในพืช สัตว์และมนุษย์ และสามารถถ่ายทอดผ่านทางน้ำได้โดยมักพบในน้ำเสียจากชุมชน ซึ่งการบำบัดน้ำไม่สามารถกำจัดเชื้อไวรัสออกไปได้ (กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์, 2547; สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

3.8 สัตว์หน้าดิน (Benthos) (ทรงพล โต้ชารี, 2555)

สัตว์หน้าดินหรือสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมักเป็นอาหารของสัตว์ชนิดอื่น เช่น ปลา กบ นก เป็นต้น ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพเนื่องจากเป็นสัตว์ที่มีความหลายหลายของชนิดพันธุ์และแพร่กระจายเป็นจำนวนมาก เคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้ได้รับผลกระทบโดยตรง เป็นกลุ่มสัตว์ที่ค่อนข้างไวต่อการรบกวนจากมลพิษ (นฤมล แสงประดับ, 2542) สัตว์หน้าดินบางกลุ่มสามารถทนทานต่อการสัมผัสสารมลพิษได้มาก แต่สัตว์หน้าดินบางกลุ่มทนทานต่อสารมลพิษได้น้อย จึงสามารถแบ่งกลุ่มสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมาใช้บ่งชี้คุณภาพแหล่งน้ำได้ดังนี้ (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.1 สัตว์ที่พบในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีมาก

3.8.1.1 ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน (Stonefly nymphs) เป็นแมลงในอันดับพลีคอปเทอรา (Order Plecoptera) ชื่อท้องถิ่นคือ แมงมอ แมงป่องน้ำ มีลักษณะเด่น คือ ปลายสุดลำตัวมีแพนหาง 2 เส้น มีปล้องอก 3 ปล้องเห็นชัดเจน ถ้ามีเหงือกจะอยู่บริเวณคอหรือบริเวณโคนขา (ภาพที่ 2.23)

ภาพที่ 2.23 ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.1.2 ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (Mayfly nymphs) อยู่ในอันดับอีฟีเมอรอปเทอรา (Order Ephemeroptera) มีชื่อท้องถิ่น คือ แมงมอ มีลักษณะเด่น คือ มีแพนหาง 3 เส้น บางชนิดอาจมี 2 เส้น มีแผ่นเหงือกอยู่บนลำตัวหรือด้านข้างลำตัวที่บริเวณส่วนท้อง (ภาพที่ 2.24)

ภาพที่ 2.24 ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

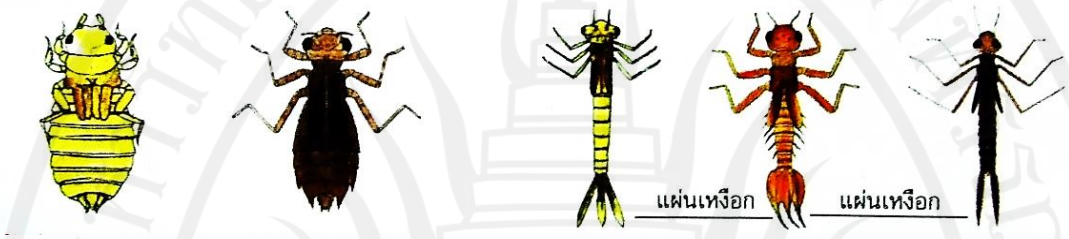
3.8.2 สัตว์ที่พบในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี

3.8.2.1 ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ (Caddishfly larvae) อยู่ในอันดับไตรคอปเทอรา (Order Trichoptera) ชื่อท้องถิ่น แมงบุ้งน้ำ แมงโบ้งน้ำ ผีจ่อมเบ็ด หนอนน้ำ มีลักษณะเด่น คือ ลำตัวคล้ายหนอน ปลายสุดของส่วนท้องมีตะขอ 1 คู่ กลุ่มที่มีปลอกจะอาศัยอยู่ในปลอกที่สร้างขึ้นเอง กลุ่มที่ไม่สร้างปลอกมักสร้างที่กำบังยึดติดกับพื้นอาศัย (ภาพที่ 2.25)

ภาพที่ 2.25 ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำแบบมีปลอก (ด้านซ้าย) และตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำแบบไม่มีปลอก (ด้านขวา)
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.3 สัตว์ที่พบในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพปานกลาง

3.8.3.1 ตัวอ่อนแมลงปอ (Dragonfly nymphs และ Damselfly nymphs) อยู่ในอันดับโอดอนนาตา (Order Odonata) มีชื่อท้องถิ่น อีเน้า แมงขาหย่าง แมงละงำ แมงเหนี่ยว มีลักษณะเด่น คือ ริมฝีปากล่างมีขนาดใหญ่ยื่นออกมาคล้ายช้อน ปลายสุดของลำตัวปกติหรืออาจมีแผ่นเหงือก 2-3 แผ่น (ภาพที่ 2.26)



ภาพที่ 2.26 ตัวอ่อนแมลงปอ
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.3.2 กุ้งน้ำจืดหรือกุ้งฝอย (Freshwater prawns) อยู่ในอันดับเดคาโพดา (Order Decapoda) มีลักษณะเด่น คือ แผ่นเปลือกคลุมส่วนหัวมีขนาดใหญ่ มักมีกรียาว ลำตัวยาวเป็นปล้องมีเปลือกหุ้ม มีขา 10 ขา คู่แรกมักเป็นก้ามหนีบ (ภาพที่ 2.27)

3.8.3.3 ปูน้ำจืด (Fresh crabs) อยู่ในอันดับเดคาโพดา (Order Decapoda) มีลักษณะเด่น คือ กระดองแข็ง มีขา 10 ขา คู่แรกเป็นก้ามหนีบ (ภาพที่ 2.27)

ภาพที่ 2.27 กุ้งน้ำจืด และปูน้ำจืด
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.4 สัตว์ที่พบในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี

3.8.4.1 หนอนแดง (Chironomids) อยู่ในอันดับดิปเทอรา (Order Diptera) ชื่อท้องถิ่น คือ แมงง่องแง่ง หนอนน้ำ แมงบุ้งน้ำ มีลักษณะเด่น คือ ลำตัวยาวเรียวมีสีแดงหรือสีขาวขุ่น มีเฉพาะขาเทียม (ภาพที่ 2.28)

ภาพที่ 2.28 หนอนแดง
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

3.8.4.2 ไส้เดือนน้ำจืด (Oligochaets) อยู่ในอันดับโอลิโกคีตา (Order Oligocheta) ชื่อท้องถิ่นคือ ขี้เดือน ขี้คู้ มีลักษณะเด่น คือ ลำตัวเป็นปล้องยาวคล้ายเส้นด้าย (ภาพที่ 2.29)

ภาพที่ 2.29 ไส้เดือนน้ำจืด
ที่มา (บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ, 2547)

สรุป

น้ำเกิดจากอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม จับกับอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม ด้วยพันธะโควาเลนต์ มีสูตรทางเคมีคือ H_2O แต่ละโมเลกุลของน้ำสามารถเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าพันธะโควาเลนต์ ทำให้เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของน้ำสามารถส่งผลต่อการแยกตัวของโมเลกุลของน้ำได้และเกิดเป็นสถานะต่างๆ ของน้ำ เช่น ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ น้ำจัดเป็นของเหลวที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่าง เช่น การละลาย

จุดเดือด จุดหลอมเหลว จุดเยือกแข็ง ความร้อนแฝง ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืด ความตึงผิว ดัชนีหักเห เป็นต้น ซึ่งแต่ละคุณสมบัติส่งผลให้น้ำมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากสารอื่น

การศึกษาลักษณะของแหล่งน้ำสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ การศึกษาลักษณะของน้ำทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ซึ่งการศึกษาแต่ละลักษณะเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งนั้นเป็นการบ่งบอกคุณภาพของน้ำได้เบื้องต้นเท่านั้น หากต้องการทราบคุณภาพของน้ำที่แท้จริงต้องศึกษาลักษณะต่างๆ ทั้ง 3 แบบควบคู่กันไปด้วย ซึ่งการศึกษาลักษณะของน้ำทางกายภาพสามารถสังเกตได้จาก สี กลิ่น อุณหภูมิ ความขุ่น ของแข็งในน้ำ การนำไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนการศึกษาลักษณะของน้ำทางเคมี คือ ต้องอาศัยสารเคมีหรือการทำปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม เช่น การหาค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี หรือความกระด้าง เป็นต้น และสำหรับการศึกษาลักษณะของแหล่งน้ำทางชีวภาพ คือ การศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในน้ำ สามารถศึกษาได้ทั้งสาหร่าย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย โปรโตซัว เชื้อรา สัตว์หน้าดิน เป็นต้น เนื่องจากสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำได้แตกต่างกัน จึงมีการรวบรวมชนิดของสิ่งมีชีวิตในน้ำมากำหนดลักษณะคุณภาพของแหล่งน้ำได้เช่นกัน

แบบฝึกหัดบทที่ 2

<u>คำชี้แจง</u> จงตอบคำถามต่อไปนี้มาพอเข้าใจ

1. ให้นักศึกษาอธิบายกลไกการเปลี่ยนสถานะของน้ำมาพอเข้าใจ
2. ความหนาแน่นของน้ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนที่ของมวลน้ำอย่างไร
3. เพราะเหตุใดจิงโจ้น้ำจึงสามารถเดินบนผิวน้ำได้
4. ค่าดัชนีหักเหของน้ำส่งผลอย่างไรต่อลักษณะของแหล่งน้ำ
5. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพสามารถศึกษาพารามิเตอร์ใดได้บ้าง
6. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมีสามารถศึกษาพารามิเตอร์ใดได้บ้าง
7. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพสามารถศึกษาพารามิเตอร์ใดได้บ้าง
8. ให้นักศึกษาอธิบายการเกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ
9. เพราะเหตุใดการวัดค่าบีโอดี ต้องทำที่ 20 องศาเซลเซียส และเก็บในที่มืด
10. เพราะเหตุใดค่าซีโอดีจึงสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอ

เอกสารอ้างอิง

กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2544). **เคมีของน้ำ: น้ำโสโครกและการวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

กรมควบคุมมลพิษ (ม.ป.ป.). ความรู้เบื้องต้นเรื่องกลิ่น. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/P1.htm. เมื่อวันที่ 20 มกราคม 2556.

กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์ (2547). **มลพิษทางน้ำ (Water pollution)**. นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์.

จุไรรัตน์ มหาเทียน (2553). **ความกระด้างของน้ำ.** นนทบุรี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ (2543). **สีน้ำกับแพลงก์ตอนในบ่อกุ้ง**. สงขลา: สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.

นฤมล แสงประดับ (2542). นาฬิกาสัตว์หน้าดิน: ทางเลือกของการเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำโดยชุมชนท้องถิ่น. **วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 4: 279-287.

นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุรักษ์ (2555). **หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญเสฐียร บุญสูง และนฤมล แสงประดับ (2547). **คู่มือตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยสัตว์หน้าดิน**. กรุงเทพฯ: โครงการพัฒนาองค์ความรู้และศึกษานโยบาย การจัดการทรัพยากรชีวภาพในประเทศไทย.

พูลสุข โพธิรักขิต-ปรัชญานุสรณ์. (2553). **เคมีสิ่งแวดล้อม ดิน น้ำ ลม ไฟ.** กรุงเทพฯ: เอ-บุ๊ค ดิสทริบิวชั่น.

พงศ์ศิริ อยู่สบาย และวรวุฒิ วรชิน (2542). **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีกับค่าบีโอดีของน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์จากโรงงานต่างๆ**. โครงการวิจัยทางเคมีระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏรำไพพรรณี.

มัณฑนา นวลเจริญ (2547). **สาหร่าย: สิ่งมหัศจรรย์ในแหล่งน้ำ.** ภูเก็ต: มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

ยุวดี พีรพรพิศาล (2549). **สาหร่ายวิทยา (Phycology)**. เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2540). **คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ (2552). **จุลชีววิทยาและการจัดการมลภาวะทางน้ำและดิน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ (2549). **ระบบบำบัดน้ำเสีย การเลือกใช้ การออกแบบ การควบคุมและการแก้ปัญหา**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ (2545). **คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**: คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ประจำปี 2545-2546 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

อาภารัตน์ มหาขันธ์ (2551). **สาหร่ายกับโลกร้อน.** ปทุมธานี: กองพัฒนาธุรกิจและการตลาด สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).

Algae (n.d.). Retrieved September 3, 2013 from http://classroom.sdmesa.edu/eschmid/Lecture11-Microbio.htm.

Cryptomonas (n.d.). Retrieved September 3, 2013 from http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/mastigophora/Cryptomonas/platyuris_3.jpg.

Cyanophytes (n.d.). Retrieved September 3, 2013 from http://www.botany.hawaii.edu/BOT201/Algae/Cyanophyta%20lecture%20notes.htm.

Das T., Pal, A.K., Chakraborty, S.K., Manush, S.M., Sahu, N.P. and Mukherjee, S. (2005). Thermal tolerance, growth and oxygen consumption of Labeo rohita fry (Hamilton, 1822) acclimated to four temperatures. **Journal of Thermal Biology**, 30: 378-383.

EBS. (n.d.). Biological Growth Curve in Aerated Stabilization Basins. Retrieved December 23, 2013 from http://www.ebsbiowizard.com/2010/11/biological-growth-curve-in-aerated-stabilization-basins.

Morphological note on Chara (n.d.). Retrieved September 3, 2013 from http://my-innovations-in-botany.blogspot.com/p/lectures-semester-1.html.

Palmer C.M. (1900). **Algae in water supplies: an illustrated manual on the identification, significance, and control of algae in water supplies**. Ohio: Cincinnati.

Particle size chart (n.d.). Retrieved March 2, 2013 from http://www.advancedwaterfilters.com/faq.php?q_id=12.

Robert S.P. (2009). **The Merck Manual-Home Health Handbook**. Newjersy: Merck Research Laboratories, Division of Merck & Co., Inc. 1151.

Rotifer (2011). Retrieved June 2, 2013 from http://jenningsanimalwiki2011.wikispaces.com/rotifer.

Tchobanoglous G. and Schroeder E.D. (1985). **Water Quality: Characteristics, Modelling, Modification**. Singapore: Addison-Wesley Publishing Company. 43-209.

TutorVista.com (n.d.). **Algae**. Retrieved June 2, 2013 from http://www.tutorvista.com/content/biology/biology-iii/kingdoms-living-world/algae.php