

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

แพลงตอนพืช

แพลงตอนพืช (planktonic algae หรือ phytoplankton) คือ สาหร่าย ที่ล่องลอยอยู่อย่างอิสระในน้ำ ได้แก่ วงศ์ Desmidiaceae, Chlorophyceae, Zygnemataceae, Bacillariophyceae และ Cyanophyceae แพลงตอนพืชเหล่านี้เมื่อเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก (algal bloom) ก็อาจทำให้น้ำมีสีต่าง ๆ หรือมีผลทำให้เกิดน้ำเสียได้

ความหลากหลายของแพลงตอนพืช (Diversity of phytoplankton)

Palmer (1969) ได้สรุปกว้าง ๆ ว่า ในแหล่งน้ำสะอาดส่วนใหญ่มักจะพบแพลงตอนพืชสกุล *Lemanea*, *Micrasterias* (บาง species), *Staurastrum*, *Pinnularia*, *Meridion* และ *Suriella* ฯลฯ และในแหล่งน้ำที่มีมลภาวะมักพบแพลงตอนพืชสกุล *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Nitzschia* และ *Navicula* ฯลฯ Prescott (1951) พบว่าแพลงตอนพืชสกุล *Euglena*, *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Ankistrodesmus*, *Phacus*, *Synedra* และ *Trachelomonas* เป็นดัชนีชี้สภาพน้ำที่มีสารอินทรีย์สูง นอกจากนี้ Palmer (1977) (อ้างโดยถาวร, 2538) ยังได้สรุปว่าในน้ำสะอาดซึ่งเป็นน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายสูง ความโปร่งใสสูง สารประกอบอินทรีย์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณน้อยความเป็นด่าง (alkalinity) ของน้ำ 40 mg l^{-1} และ pH ต่ำกว่า 7.4 จะพบแพลงตอนพืช *Chadophora*, *Micrasterias*, *Amphora*, *Staurastrum*, *Cocconeis*, *Cymbella*, *Navicula*, *Suriella* และ *Synedra* ฯลฯ ในน้ำเสียพบแพลงตอนพืชสกุล *Actinastrum*, *Ankistrodesmus*, *Closterium*, *Eudorina*, *Micrasterias*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Nitzschia*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Euglena* และ *Phacus* ซึ่งจะเห็นว่าแพลงตอนพืชบางสกุลพบได้ทั้งในน้ำดีและน้ำเสีย และมีรายงานในทำนองเดียวกันว่าแหล่งน้ำจืดที่มีสภาพดีแพลงตอนพืชในแหล่งน้ำนั้นจะประกอบด้วยโคเคตอมเป็นส่วนใหญ่ อาจมีแพลงตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงินปนอยู่ได้โดยปริมาณแพลงตอนพืชแต่ละสกุลจะมีน้อยถ้าแหล่งน้ำมีแพลงตอนพืชสีเขียวโดยเฉพาะชนิดที่เป็นเส้นสายปนอยู่กับแพลงตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยมีจำนวนสกุลน้อยแต่ปริมาณของแต่ละสกุลมีมาก หรือเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (bloom) ด้วยแล้วแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นมีมลพิษ (ถาวร, 2538)

การประเมินคุณภาพของน้ำโดยใช้ diversity Index

ศิริเพ็ญ (2537) กล่าวว่า ค่า ดัชนีความหลากหลาย (Diversity Index) เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน species ที่พบในชุมชนกับจำนวนประชากรทั้งหมด ถ้าชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมจะมีค่าดัชนีความหลากหลายนี้ต่ำ ข้อมูลที่นำมาคำนวณค่า Diversity Index นี้ จะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น ซึ่งแตกต่างกับข้อมูลที่นำมาคำนวณค่า Biotic Index ซึ่งได้จากการกำหนดค่าระดับคะแนนที่จะนำมาคำนวณเป็นข้อมูลเชิงปริมาณต่อไป

ค่า Diversity Index สามารถคำนวณได้หลายวิธี คือ

1. Species Diversity Index
2. Shannon Index
3. Evenness Index
4. Community Diversity Index

ดัชนีความหลากหลายของชนิดของแพลงตอนพืช (species diversity index) เป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงสภาวะของชุมชน (community) แต่ไม่สามารถสะท้อนให้เห็นสภาวะแวดล้อมทั้งหมดได้ เนื่องจากค่าของดัชนีความหลากหลายของชนิดแพลงตอนพืช นอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาวะมลพิษของน้ำแล้วยังอาจจะขึ้นอยู่กับสาเหตุอื่น ๆ ได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น การมีค่าดัชนีต่ำอาจเกิดจากการที่น้ำมีมลพิษสูงหรือเกิดจากการไหลแรงของกระแสน้ำในบริเวณต้นน้ำลำธารซึ่งมีคุณภาพน้ำดีเยี่ยมก็ได้

สูตรสำหรับการคำนวณ ดัชนีความหลากหลายของชนิด (SDI) ที่ใช้กันมากที่สุดและคำนวณง่ายที่สุด คือ

$$SDI = \frac{\text{จำนวน species ทั้งหมด}}{\text{จำนวน individual ทั้งหมด}}$$

ถ้าสมมุติว่าในชุมชนนั้นมีเพียง 1 species สิ่งมีชีวิตที่พบในที่นั้นก็จะเป็น species เดียวกันทั้งหมด ถ้ามีสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเกิดขึ้นกับชุมชนนี้ ก็อาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตนี้ถูกกำจัดออกไปหมด ชุมชนนั้นก็จะสลายไปเพราะไม่มี species อื่น ๆ เจริญขึ้นมาแทนที่

ดัชนีความหลากหลาย (diversity index) ของกลุ่มแพลงตอนพืชเป็นค่าที่ช่วยในการบ่งชี้สภาพของชุมชนในเรื่องต่าง ๆ เช่น ผลผลิต สถานภาพของชุมชน และสภาพแวดล้อมของชุมชนนั้น (Pielou, 1975) แหล่งน้ำในสภาวะปกติซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำเสีย ค่าดัชนีความหลากหลายจะสูงและปริมาณแพลงตอนแต่ละชนิดจะน้อย (กุศยา, 2529) Ignatiades (1969) ได้ทำการศึกษาที่อ่าง Saronicos ในทะเล Aegean รายงานว่า เมื่อมีการแพร่พันธุ์ของแพลงตอนปรากฏว่าค่าดัชนีความหลากหลายจะต่ำ และแพลงตอนที่พบมากจะมีเพียง 1-3 ชนิดเท่านั้น De pauw and Roels (1988) แนะนำว่าในการประเมินคุณภาพน้ำควรใช้ทั้ง ปัจจัยทางชีวภาพและเคมีร่วมกัน

สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการแพร่กระจายของแพลงตอนพืช

สภาพแวดล้อมทางกายภาพ

แสง (Light) เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงตอนพืช โดยเฉพาะแพลงตอนพืชที่มีคลอโรฟิลล์เอ/บี และเอ/ซี (Plumley et al., 1993) เมื่อแสงผ่านลงน้ำ น้ำจะดูดรังสีของแสงได้บางส่วน และอีกส่วนหนึ่งของแพลงตอนพืชจะรับไว้เพื่อสังเคราะห์แสงจะแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณของแสงจะมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล และช่วงคลื่นของแสงจะแตกต่างกัน ในระดับความลึกที่ต่างกัน (นารี, 2529) โดยที่อัตราการสังเคราะห์แสงมากที่สุดใบบริเวณผิวน้ำ และจะลดลงไปตามลำดับเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (Moss, 1980) แพลงตอนพืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงในปริมาณที่ต่างกัน (Smith, 1950) แสงที่พอเหมาะที่สิ่งมีชีวิตต้องการคือ 10 % ของแสงที่ส่องมาบนพื้นผิวโลก ซึ่งเป็นปริมาณของแสงที่ส่องลงไปในน้ำลึกประมาณ 6 ฟุต และต้องไม่น้อยกว่า 5 % ของแสงที่ส่องมายังผิวโลกซึ่งแสงที่ส่องลงไปในน้ำจะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำและมีผลต่อออกซิเจนในน้ำด้วย นอกจากนี้ปริมาณของแสงยังมีผลต่อประชากรของแพลงตอนพืช ทำให้ในฤดูหนาวปริมาณแพลงตอนพืชจะมีน้อย เนื่องจากกลางวันสั้นปริมาณของแสงน้อย (นารี, 2529) เมื่อความเข้มของแสงพอเหมาะแพลงตอนพืชจะมีชุกชุมมาก แต่ถ้ามีความเข้มของแสงมากเกินไป แพลงตอนพืชจะเคลื่อนย้ายลงสู่ที่ลึก (กุศยา, 2529) ในช่วงฤดูร้อนจะมีปริมาณของแสงมากจะพบโคเคตอมบางชนิดที่เจริญได้ดี คือ *Nitzschia linearis*, *Meridion circulare*, *Fragilaria capucina*, *Achnanthes minutissima* และ *A. lanceolata* (Moore, 1977) นอกจากนี้ ความเข้มของแสงที่แพลงตอนพืชได้รับอาจเป็นผลเนื่องมาจากความขุ่นของน้ำก็ได้ เช่น *Macrocyctis* น้ำขุ่นจะอยู่ลึกเพียง 12-20 เมตร ถ้าเป็นน้ำใสจะอยู่ได้ลึกถึง 27.5-30 เมตร (จวจินต์, 2524)

อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ (วิจิตร และคณะ, 2533) โดยเป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตและการแพร่พันธุ์ของพืชและสัตว์ อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสง ถ้าปริมาณความเข้มของแสงมาก มีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแหล่งน้ำเกิดจากการที่แสงส่องผ่านลงไปในแม่น้ำ ซึ่งต่อมามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน ทำให้แหล่งน้ำมีอุณหภูมิแตกต่างกันตามระดับความลึก (เปี่ยมศักดิ์, 2525) สำหรับในแหล่งน้ำจืด อุณหภูมิของน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศมากและบริเวณหนึ่ง ๆ มีความผันแปรในรอบปีสูง กล่าวคือ อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกลางวันและกลางคืนแล้วแต่ปริมาณของแสงที่ได้รับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศมากกว่าน้ำที่อยู่ลึกลงไป (กุศยา, 2529) อุณหภูมิมีความสำคัญต่อการเพิ่มหรือการ

ลดลงของอัตราการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของแพลงตอนพืช อุณหภูมิยังมีผลต่อการกระจายของแพลงตอนพืชตามลักษณะภูมิศาสตร์ หรือ ณ ที่แห่งหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลสามารถไปมีผลทำให้แพลงตอนพืชที่ประกอบกันขึ้นเป็น community นั้นมีองค์ประกอบผิดไป (Smith, 1950) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมินำไปสู่การย้ายถิ่นที่อยู่ตามฤดูกาลและมีผลต่อความสามารถในการให้รุ่นลูก (fertility) เช่น Chordaceae ซึ่งเป็นแพลงตอนพืชสีน้ำตาล แกมมีโตไฟต์จะเจริญดีที่อุณหภูมิต่ำ และจะเป็นหมันเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 10-12 องศาเซลเซียส (จงจินต์, 2524) แพลงตอนพืชแต่ละชนิดจะมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุดช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน เช่น ที่อุณหภูมิ 20-28 องศาเซลเซียส จะมีการโตอะตอมมากที่สุด ที่ 30-35 องศาเซลเซียสจะมีแพลงตอนพืชสีเขียวมากที่สุด และที่ 35-45 องศาเซลเซียส จะมีแพลงตอนพืชสีเขียวกว่าเงินมากที่สุด (Welch, 1952) แต่แพลงตอนพืชน้ำจืดโดยทั่วไปเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (Boney, 1975) นอกจากนี้หากน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น การละลายของก๊าซจะลดลง เช่น น้ำทะเลมีคลอรีน 20 mg l^{-1} ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ได้ 4.71 mg l^{-1} พออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียสจะมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ได้ 4.32 mg l^{-1} (สุจินต์, 2524)

ความขุ่นของน้ำ (Turbidity) ความขุ่นของน้ำเกิดจากการที่มีสิ่งแขวนลอย (suspended matter) อยู่ในน้ำ เช่น ดินละเอียด อาจจะเป็นพวกอินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน (plankton) และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ (microscopic organisms) สารพวกนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจาย (scattered) และดูดกลืน (absorbed) ของแสงแทนที่จะปล่อยให้แสงผ่านไปเป็นเส้นตรง (กรรณิการ์, 2522) น้ำในแหล่งน้ำไหล เช่น แม่น้ำ ลำธาร จะมีความขุ่นมากกว่าในแหล่งน้ำนิ่ง (Hynes, 1970) การที่น้ำมีความขุ่นมาก ทำให้แสงผ่านไปได้น้อย มีผลทำให้แพลงตอนพืชเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ เพราะมีการสังเคราะห์แสงไม่ได้เต็มที่ ทำให้แพลงตอนพืชเจริญเติบโตจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณผิวน้ำเท่านั้น กุศยา (2529) กล่าวว่าในเขตร้อนปริมาณแพลงตอนพืชจะสูงสุดหลังฤดูฝนและหลังฤดูหนาว แต่จะมีปริมาณน้อยมากในฤดูฝนและฤดูหนาว เนื่องจากฝนตกชุกในฤดูฝน ทำให้น้ำมีความขุ่นมาก ซึ่งจะลดอัตราการส่องทะลุของแสงแดดสู่พื้นท้องน้ำ ความขุ่นของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่จะมีผลต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนของไดอะตอม กล่าวคือ จำนวนไดอะตอมจะลดลงเมื่อความขุ่นของน้ำเพิ่มขึ้น ถึงแม้ในแม่น้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้ามีความขุ่นมากจำนวนไดอะตอมก็จะน้อยลง

ความดัน (Pressure) เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งเกี่ยวกับการละลายได้ของก๊าซ ซึ่งการละลายได้ของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่ม แต่ปริมาตรของก๊าซที่ละลายได้จะไม่เพิ่มขึ้นด้วย จะเพิ่มเฉพาะน้ำหนักเท่านั้น ทั้งนี้เพราะว่าปริมาตรของก๊าซเป็นปฏิภาคกลับกับความดัน (สุจินต์, 2524) โดยปกติความดันเป็นปัจจัยที่ไม่สำคัญมากนักสำหรับแพลงตอนพืช แต่มีผู้แสดงให้เห็นว่าแพลงตอนพืชพวกที่มีถุงลมจะอยู่ที่ความลึกจำกัดระดับหนึ่ง เพราะถ้าอยู่ลึกเกินไปแรงดันของน้ำจะไปดันให้ก๊าซออกมาจากถุง ในแพลงตอนพืช *Egregia* รูปร่างของถุงจะเปลี่ยนไปตามความลึก เช่น ในน้ำลึกจะเป็นรูปทรงกลม ในน้ำตื้นจะเป็นรูปลูกแพร์ (จงจินต์, 2524)

การไหลของน้ำ (Water movement) การไหลเวียนของน้ำเกิดขึ้นได้เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต รูปร่าง และการแพร่กระจายของแพลงตอนพืช แพลงตอนพืชที่มีอยู่ในน้ำที่ไหลแรงและเร็วจะมีลักษณะที่สำคัญ คือ โครงสร้างภายนอกของทลล์สมักจะแข็งแรงเพื่อป้องกันการกระแทกกระเทือนเมื่อเวลาแพลงตอนพืชไหลไปตามกระแสน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำทำให้แพลงตอนพืชบางชนิดมีการเจริญผิดปกติไป เช่น *Cladophora glomerata* จะเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่ไหลช้า (Whitton, 1975) ในน้ำไหลแรงจะพบไดอะตอมในสกุล *Navicula*, *Gomphonema*, *Cocconeis* (Smith, 1951) ในน้ำที่ไหลช้ามาก ๆ จะพบแพลงตอนพืช พวก *Hydrodictyon*, *Spirogyra*, *Oedogonium* และ *Rhizoclonium* (Chapman and Chapman, 1973) แพลงตอนพืชบางชนิดมีการสร้างเซลล์พิเศษเฉพาะที่เรียกว่า holdfast และสร้างเมือกเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับสิ่งต่าง ๆ ในน้ำ เช่น *Cladophora*, *Rhizoclonium*, *Gomphonema*, *Achnanthes* (ชาญณรงค์, 2532) กระแสน้ำนอกจากจะทำให้แพลงตอนพืชแพร่กระจายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้แล้ว ยังช่วยเพิ่มเติมก๊าซออกซิเจนและช่วยการหมุนเวียนของธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำทำให้เกิดการผสมของน้ำระหว่างชั้น epilimnion และ hypolimnion ซึ่งช่วยให้แพลงตอนพืชได้รับธาตุอาหารเป็นอย่างดี (Goldman and Horne, 1983)

สีของน้ำ เกิดจากการที่น้ำนั้นไหลผ่านอินทรีย์สารต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ซากสัตว์ ซึ่งมีลักษณะเป็นองค์ประกอบ เมื่อสลายตัวทำให้สารพวกแทนนิน ชีวมวล และกรดชีวมิติ ซึ่งเป็นสารที่มีสี นอกจากนั้นยังอาจเกิดจาก เหล็ก มังกานีส ในน้ำซึ่งอยู่ในรูปของเฟอริกฮิวเมต สีที่อยู่ในน้ำส่วนใหญ่เป็นพวกคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ สีของน้ำซึ่งเกิดจากสารห้อยแขวนเรียก Apparent color ซึ่งแตกต่างจากสีที่เกิดจากพวกผัก หญ้า และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นพวกคอลลอยด์และเรียกว่า true color (Greenberg et al., 1985 และกรรณิการ์, 2522)

สภาพแวดล้อมทางเคมี

ค่าพีเอช (pH)

Prescott (1951) แบ่งสภาพของแหล่งน้ำออกเป็น 2 ลักษณะตามสภาพของ pH คือ แหล่งน้ำอ่อน (soft water) เป็นแหล่งน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 และแหล่งน้ำกระด้าง (hard water) เป็นแหล่งน้ำที่มี pH 7.1-9.8 ค่า pH ของน้ำมีส่วนควบคุมกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5-9 (EPA, 1973) สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีในน้ำที่มีค่า pH 7-8.3 (Pinkayan, 1978) ส่วน WPCF ได้กำหนด pH ของน้ำที่พบในธรรมชาติให้อยู่ในช่วง 6.5-8.5 (อรัสสา, 2524) ถ้า pH ของน้ำน้อยกว่า 5 หรือมากกว่า 9 สิ่งมีชีวิตในน้ำจะได้รับอันตราย ดังนั้น pH ของน้ำจึงอาจใช้เป็นดัชนีชี้สภาพความน่าเสียของน้ำได้เช่นกัน (เกษม, 2530) ส่วนมาตรฐานน้ำเสียของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดค่า pH ระหว่าง 5-9 สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (National Environmental Board of Thailand) กำหนดค่า pH ของน้ำอยู่ในช่วง 6.5-8.5 แต่ไม่เกิน 9.2 และค่า pH ของแหล่งน้ำในต่างประเทศ เป็นดังนี้ คือ ทะเลสาบ Rupanco มีค่า pH 7.1-7.5 (Campos *et al.*, 1992) ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำใน Kenya มีค่า pH 6.3-11 (Lind, 1968) ทะเลสาบ Escondido มีค่า pH 6.8-7.25 ทะเลสาบของ Pokhara valley มีค่า pH 7-8 (Heckel, B., 1973) ส่วนแหล่งน้ำในภาคเหนือของไทยมีค่า pH 6.9-9.1 (Yano, *et al.*, 1984) แพลงตอนพืชส่วนใหญ่จะสามารถทนต่อ pH ในช่วง 6.8-9.6 (จงจิณต์, 2524) แต่แพลงตอนพืชต่างชนิดกันจะสามารถเจริญเติบโตสูงที่สุดในที่ซึ่งมีค่า pH สูงต่างกัน คือ 9-10 (Shirota, 1966) *Micrasterias denticulata* และ *M. thomasiana* เจริญได้ดีที่สุด ที่ pH 7.65-8.10 และ 7.70-7.75 ตามลำดับ (Brook, 1981) ส่วน Dinobryon พบในน้ำที่เป็นกรดมาก มีค่า pH 4-4.8 (Round, 1973) นอกจากนี้แพลงตอนพืชที่มีความสามารถทนต่อสภาวะของน้ำที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 3-5 คือ *Euglena* (Round, 1981)

การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

เป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิ สารประกอบอนินทรีย์ เช่น การมีเบสและเกลือ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะเมื่ออยู่ในน้ำจะแตกตัวให้อิออนที่นำไฟฟ้าได้ ตรงกันข้ามกับสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล sucrose, benzene สารเหล่านี้ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้า อย่างไรก็ตามค่า conductance ของน้ำไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่ว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่า conductance เพิ่มขึ้นก็แสดงว่าสารในน้ำเพิ่มขึ้น หรือถ้ามี conductance ลดลงก็แสดงว่าสารในน้ำลดลง (กรรณิการ์, 2522) ในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดี จะมีการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150-300 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ถ้ามีค่าสูงกว่า 300 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร แสดงว่าน้ำมีมลพิษมีผลต่อการอยู่รอดของพืชน้ำ (ชาญณรงค์, 2532)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen; DO)

ออกซิเจนมีความสำคัญต่อแหล่งน้ำมากโดยเป็นตัวควบคุมกระบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ (เปี่ยมศักดิ์, 2534) และเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ อุณหภูมิ ความเค็ม ความดันบรรยากาศ การหมุนเวียนของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ (มนูวดี, 2532 และ Maitland, 1978) การสังเคราะห์แสงและการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำทำให้ธรรมชาติสามารถรักษาสมดุลย์ของออกซิเจนอยู่ได้ และในทางกลับกันถ้าการหายใจและการสังเคราะห์แสงเสียสมดุลย์ไปจะมีผลรบกวน ซึ่งสภาวะนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวและทางเคมีที่เรียกว่า pollution (มนูวดี, 2532 และเปี่ยมศักดิ์, 2534) เช่น แหล่งน้ำใดก็ตามเมื่อเกิดการสังเคราะห์แสงมากกว่าการหายใจจะเกิดการเจริญเติบโตของแพลงตอนพืชมากขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้น้ำมีสารอินทรีย์มากเกินไป เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อในน้ำมีธาตุอาหารมากและเมื่อแพลงตอนพืชเหล่านั้นตายลงก็จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์จำนวนมากโดยแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) และเมื่อออกซิเจนถูกใช้จนหมดไปจะทำให้ไนเตรท ชัลเฟต และคาร์บอนไดออกไซด์ถูก reduce เป็น N_2 , NH_4^+ , H_2S , S^{2-} , CH_4 และเกิดสภาวะน้ำเสียขึ้น ในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีมักมีออกซิเจน $5-7 \text{ mg l}^{-1}$ (วิจิตรและคณะ, 2533) แต่แหล่งน้ำเฉลี่ยของประเทศไทยมีออกซิเจน $4-6 \text{ mg l}^{-1}$ (ณรงค์, 2525) Yano, et al (1984) ศึกษาคุณภาพของแหล่งน้ำในภาคเหนือของประเทศไทย พบว่า ออกซิเจนมีค่าอยู่ในช่วง $7.1-12.0 \text{ mg l}^{-1}$ และจากการตรวจเอกสารจากต่างประเทศ พบว่าในแหล่งน้ำมีออกซิเจนเฉลี่ยต่างกันดังนี้

- DO เฉลี่ย $6.2-11.5 \text{ mg l}^{-1}$ (Campos et al., 1990)
- DO เฉลี่ย $6.5-13.0 \text{ mg l}^{-1}$ (Campos et al., 1992)
- DO เฉลี่ย $7.95-11.90 \text{ mg l}^{-1}$ (Diaz, and Pedrozo, 1993)

แพลงตอนพืชบางชนิดเช่น *Achnanthes minutissima* ต้องการออกซิเจนสูงในการดำรงชีวิต แต่บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น *Navicula seminulum* และ *Nitzschia amphibia* ส่วนในน้ำที่มีมลพิษสูงมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมากจนไม่อาจวัดค่าได้ หรือมีค่าเป็นศูนย์จะไม่พบแพลงตอนพืชเลย ยกเว้นไดอะตอม เช่น *Nitzschia* และ *Pleurosigma* ซึ่งจะสร้างเมือกหุ้มตัวไว้ (ชาญณรงค์, 2532)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากขบวนการนี้แบคทีเรียจะได้รับพลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลผลิตสุดท้ายของการออกซิไดส์สารอาหารเหล่านี้อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ แอมโมเนียขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร (กรรณิการ์, 2522) ถ้ามีสิ่งโสโครกที่เป็นอินทรีย์สารมากก็ จะทำให้มีการย่อยสลายมากขึ้น และออกซิเจนก็จะลดปริมาณลงไปมากด้วย Biochemical Oxygen Demand หรือ BOD คือ หน่วยที่วัดปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ (เปี่ยมศักดิ์, 2534) การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียในการย่อยสลายอินทรีย์แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 เป็นการออกซิไดส์ของสารประกอบคาร์บอน ระยะที่ 2 เป็นการออกซิไดส์ของ NH_3 , NO_2^- , NO_3^- ตามลำดับโดยพวกแบคทีเรียที่สังเคราะห์อาหารเองได้ (autotrophic bacteria) ซึ่งมีชื่อว่า nitrifying bacteria ซึ่งมีอยู่น้อยใน raw sewage การแบ่งตัวของมันเกิดน้อยมากที่ 20°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการหาค่า BOD น้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงระยะเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่า BOD จึงน้อยมาก หลังจาก 10 วัน แบคทีเรียเหล่านี้จะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดส์ NH_3 ซึ่งจะสังเกตได้จากปริมาณ NO_3^- ในตัวอย่างซึ่งจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก (กรรณิการ์, 2522) การหาค่า BOD นั้น ในน้ำธรรมชาติทั่วไปจะหาได้โดยการวัดปริมาณของ dissolved oxygen (DO) ที่มีอยู่ในน้ำนั้น และวัดปริมาณของ DO ที่สิ่งมีชีวิตใช้ไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่นหาค่า BOD ในเวลา 5 วัน เรียกว่า BOD_5 ถ้าน้ำที่จะหา BOD เป็นน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือน้ำโสโครกจากบ้านเรือน การหาค่า BOD จะมีวิธีที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้น เช่น อาจต้องมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไปช่วยย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์หรือการทำน้ำที่จะวัด BOD นั้นให้เจือจางก่อน (ศิริเพ็ญ, 2530) ค่า BOD มีความสำคัญในการควบคุมความสกปรกของน้ำในแม่น้ำ ลำธาร วัดความสามารถของแหล่งน้ำในการทำจัดการความสกปรกตามธรรมชาติ ใ้หาประสิทธิภาพของโรงงานกำจัดน้ำเสีย และปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ (วิจิตรและคณะ, 2533) ดังจะเห็นได้จากการศึกษาคุณภาพน้ำในประเทศไทยหลายแห่ง สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2528) พบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีค่า BOD 3 mg l^{-1} แม่น้ำท่าจีนมีค่า BOD 4.38 mg l^{-1} แม่น้ำแม่กลองตอนบน มีค่า BOD 4.2 mg l^{-1} วชิราภรณ์และสังวาล (2533) ศึกษาคุณภาพน้ำผิวดินในบริเวณใกล้เคียงกับที่กำจัดขยะแม่เหียะพบว่ามีค่า BOD $0.68-48 \text{ mg l}^{-1}$ การเน่าเสียของแหล่งน้ำในบริเวณเทศบาลเมืองเชียงใหม่มีค่าความสกปรกหรือ BOD 90 mg l^{-1} (วันชัย, 2534) ผลกระทบจากการขยายชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่อสภาพแวดล้อมทางน้ำในจังหวัดสงขลามีค่า BOD $0.1-19.15 \text{ mg l}^{-1}$ (นุกูล, 2535) คุณภาพน้ำของแม่น้ำปิง ปี 2536 พบว่ามีค่า BOD $2.6-4.7 \text{ mg l}^{-1}$ (สุวารี, 2536) ค่า BOD ของน้ำในคูเมืองเชียงใหม่ ปี 2536 $0.42-2.28 \text{ mg l}^{-1}$ (จิราภรณ์, 2536) และระหว่างเดือนเมษายน 2535-มีนาคม 2536 มีค่า BOD $1.5-31.2 \text{ mg l}^{-1}$ (ถาวร, 2538)

ในหลายประเทศได้จัดแบ่งคุณภาพของแหล่งน้ำ (แม่น้ำลำธาร) โดยมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) ตามปริมาณ BOD ออกเป็น 5 ระดับ (ณรงค์, 2525) คือ

ชั้นที่ 1 คุณภาพชั้นดีเยี่ยม	BOD	0.5-1.5 mg l^{-1}
ชั้นที่ 2 คุณภาพชั้นดีมาก	BOD	1.5-3.0 mg l^{-1}
ชั้นที่ 3 คุณภาพชั้นดี	BOD	3.0-6.0 mg l^{-1}
ชั้นที่ 4 คุณภาพชั้นพอใช้	BOD	6.0-12.0 mg l^{-1}
ชั้นที่ 5 คุณภาพชั้นเลว	BOD	12.0 mg l^{-1} ขึ้นไป

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2528) กำหนดคุณภาพน้ำผิวดินควรมีค่า BOD ไม่เกิน 4 mg l^{-1} มาตรฐานแหล่งน้ำขององค์การอนามัยโลกกำหนดให้มีค่า BOD ไม่เกิน 6 mg l^{-1} ในแหล่งน้ำ (ตารางที่ 1) (ณรงค์, 2525)

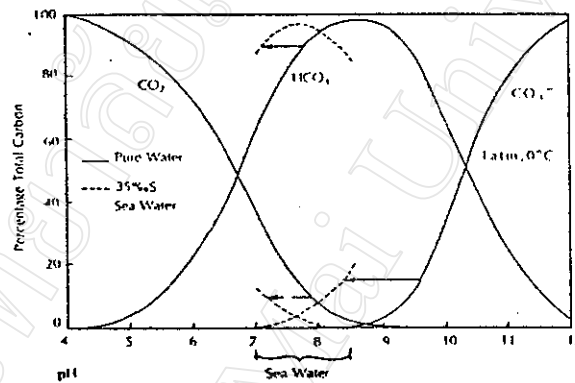
ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐาน DO และ BOD

ลักษณะน้ำ	ปริมาณ DO (mg l^{-1})	ปริมาณ BOD (mg l^{-1})	อ้างอิง
แหล่งน้ำประเภทที่ 2	ไม่ต่ำกว่า 6	ไม่เกิน 1.5	สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม
แหล่งน้ำประเภทที่ 3	ไม่ต่ำกว่า 4	ไม่เกิน 2	แห่งชาติ (2538)
แหล่งน้ำประเภทที่ 4	ไม่ต่ำกว่า 2	ไม่เกิน 4	วิทยา (2525)
น้ำเสีย	-	20-60	(WHO Consultant)
น้ำทิ้ง	-	40	ณรงค์ (2525)
น้ำทิ้ง	-	20	ณรงค์ (2525)
แหล่งน้ำทั่วไป	ไม่ต่ำกว่า 4	ไม่เกิน 6	ณรงค์ (2525)

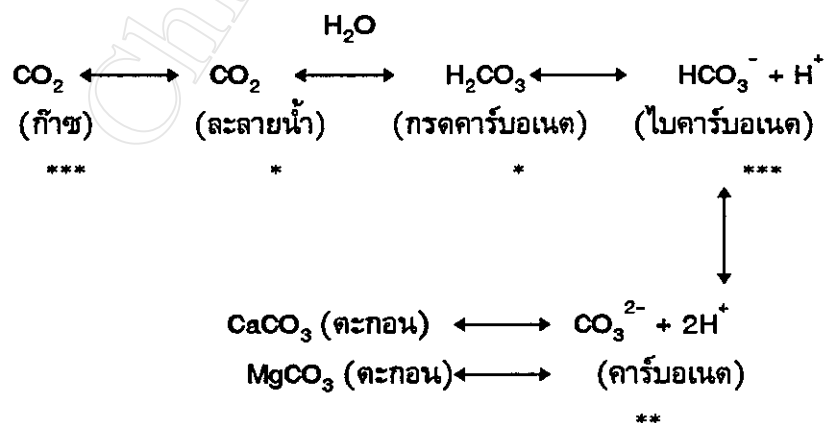
ความเป็นด่างของน้ำ (Water alkalinity)

เป็นความสามารถของน้ำที่จะรับ proton หรือ hydrogen ion (H^+) (เปี่ยมศักดิ์, 2534) ค่านี้จะเกี่ยวกับปริมาณและชนิดของสารประกอบที่ละลายน้ำ ซึ่งจะทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจากกลางสู่ด่าง เบส คุณสมบัติของความเป็นเบสในน้ำเป็นผลของไบคาร์บอเนต, คาร์บอเนตและ ไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ สำหรับบอเร็ต ซิลิเกต และฟอสเฟตเป็นส่วนน้อย เพราะว่า CO_2 มีอยู่เป็นจำนวนมากในรูปของก๊าซ และรูปที่ละลายน้ำ ส่วนไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตเป็นไอออนที่พบมากในน้ำ และเป็นตัวที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ในน้ำ (นันทนา, 2536) ความจำเป็นที่ต้องวัดปริมาณนั้นเพราะว่า เมื่อ pH สูงกว่า 10 จะพบว่ากรดคาร์บอนิกชนิดที่ละลายน้ำจะแตกตัวให้อิออนของคาร์บอเนตแล้วจะรวมกับแคลเซียมที่เป็นตะกอนหินปูน ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะทำให้น้ำขุ่นขาวและมีผลต่อการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้นความเป็นด่างยังมีอิทธิพลต่อการละลายของธาตุบางตัว เช่น เหล็ก (ศิริเพ็ญ, 2530) หรือน้ำที่มี pH สูงประมาณ 9-10 อยู่ในหม้อต้มน้ำเมื่อต้มไบคาร์บอเนตซึ่งมีปนอยู่ในน้ำจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฮดรอกไซด์กับคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกขับออกไปเมื่อน้ำเดือด เหลือแต่ไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นด่างแก่ฉะนั้นในบางสภาพจะมี pH สูงถึง 11 ได้ (กรรณิการ์, 2522) โดยทั่วไปแล้วความเป็นด่างของน้ำจะมีความสัมพันธ์กับ pH ของน้ำ ในช่วงที่มีการสังเคราะห์แสงสูงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำจะลดลง แต่ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของน้ำสูงขึ้น ตรงกันข้ามถ้าอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำจะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมากและค่า pH ต่ำลง เมื่อพืชสังเคราะห์แสง ไบคาร์บอเนตในน้ำถูกดึงไปใช้ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำเพิ่มได้กรดคาร์บอนิกและสลายต่อได้ไบคาร์บอเนตเป็นการปรับปริมาณของไบคาร์บอเนตให้สมดุลอยู่ตลอดเวลาในแหล่งน้ำจึงไม่มีปัญหาเรื่องปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปไบคาร์บอเนตซึ่งพืชใช้สังเคราะห์แสง pH จะควบคุมระบบคาร์บอนไดออกไซด์คาร์บอเนต

-ไบคาร์บอเนต (ภาพที่ 1) กล่าวคือที่ pH ต่ำ (pH = 4-6) จะพบคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ในรูปของกรดคาร์บอนิกมาก เมื่อเพิ่ม pH (7-10) กรดคาร์บอนิกจะแตกตัวให้ไบคาร์บอเนตมากขึ้น และถ้า pH สูงมากกว่า 10 จะพบคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปคาร์บอเนตเท่านั้น ซึ่งทำให้เกิดตะกอนของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ซึ่งจะทำให้น้ำขุ่น (ศิริเพ็ญ, 2537) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมี alkalinity น้อยกว่า $1,000 \text{ mg l}^{-1}$ (ศิริเพ็ญ, 2530) ค่า alkalinity เฉลี่ยของแหล่งน้ำในประเทศไทย 80-100 mg l^{-1} (ณรงค์, 2525) ส่วนน้ำที่เหมาะสมที่จะทำน้ำปลาควรจะมีค่าความเป็นด่างระหว่าง 30-500 mg l^{-1} (กรรณิการ์, 2522)



ภาพที่ 1 อิทธิพลของ pH ที่มีต่อ carbondioxide-carbonate-bicarbonate system ในน้ำบริสุทธิ์และน้ำทะเล
(ที่มา : ศิริเพ็ญ , 2537)



โดยกำหนดให้ * = น้อย, ** = ปานกลาง, *** = มาก

มีรายงานว่าน้ำในทะเลสาบ Todos Los Santos ประเทศชิลี พบค่าไบคาร์บอเนตเพิ่มสูงขึ้นในช่วงฤดูร้อนประมาณเดือนธันวาคมและเมษายนและจะลดปริมาณไบคาร์บอเนตในเดือนพฤษภาคม (Campos et al. 1990) ส่วน alkalinity ในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำใน Kenya อยู่ในช่วง 0.3-1,440 meq l⁻¹ (Lind, 1968) พบค่า alkalinity ในรูปของไบคาร์บอเนต 0.5 meq l⁻¹ ในทะเลสาบ Rupanco ประเทศชิลี (Campos et al. 1992) ในทะเลสาบ Escondido ประเทศอาร์เจนตินา ช่วงฤดูหนาวถึงฤดูร้อน มีค่า alkalinity อยู่ในช่วง 0.33-0.62 meq l⁻¹ (Diaz and Pedrozo, 1993)

ความกระด้างของน้ำ (Water hardness)

เป็นสภาพน้ำที่ไม่เกิดฟองกับสบู่และทำให้เกิดตะกอนเมื่อนำไปต้ม ความกระด้างของน้ำเกิดจากตะกอนแคลเซียมของโลหะแคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะวัดออกมาเป็นปริมาณ Calcium carbonate (CaCO_3) (ศิริเพ็ญ, 2530 และ วิจิตรและคณะ, 2533) รวมถึงโลหะบางชนิดที่มีประจุบวก เช่น Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} แอนไอออนที่เกี่ยวข้องกับความกระด้างของน้ำได้แก่ HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- และ SiO_3^{2-} (กรรณิการ์, 2522) ความกระด้างของน้ำมีผลเสียต่อสุขภาพและมีข้อเสียในแง่เศรษฐกิจ คือ ในการซักผ้าต้องใช้ปริมาณสบู่มากขึ้นจึงจะเกิดฟองและทำให้เกิดตะกอนในหม้อน้ำซึ่งจะทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น (วิจิตรและคณะ, 2533) ค่าความกระด้างของตัวมันเองไม่ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำ แต่ความกระด้างของน้ำมักจะมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นด่าง (alkalinity) และพีเอชของน้ำ (pH) ความกระด้างของน้ำช่วยลดมลพิษหลายชนิด เช่น พวกโลหะหนักต่าง ๆ ได้แก่ ปปรอท ตะกั่ว แคดเมียม ดังนั้นน้ำที่มีความกระด้างปานกลางหรือสูงมีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งควรจะอยู่ในช่วง 50-250 mg l⁻¹ น้ำอ่อนโดยเฉพาะน้ำฝนไม่เหมาะต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ประเทือง, 2534) สำหรับน้ำที่จะนำมาทำน้ำปลาควรจะมีค่าความกระด้างประมาณ 50-80 mg l⁻¹ เพราะถ้าความกระด้างน้อยกว่านี้จะเกิดการกักกร่อนสูงเนื่องจากน้ำอ่อน (กรรณิการ์, 2522) มาตรฐานน้ำดื่มของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดความกระด้างของน้ำไม่เกิน 315 mg l⁻¹ มาตรฐานของน้ำสะอาดได้กำหนดความกระด้างทั้งหมดไม่เกิน 300 mg l⁻¹ (ณรงค์, 2525) โดยทั่วไปทะเลสาบที่มี Total hardness สูง จะมีค่า conductivity, dissolved solids, total alkalinity, total soluble carbon, calcium และ magnesium สูงตามไปด้วย แต่ไม่ได้หมายความว่าต้องมีปริมาณของฟอสฟอรัส, ไนโตรเจนและเหล็กสูงตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างของทะเลสาบ 49 แห่งในสหรัฐอเมริกา พบว่า total hardness ของทะเลสาบ 12 แห่ง ซึ่งมีค่าผลผลิตเบื้องต้นต่ำ (oligotrophy) มีค่าระหว่าง 5-191 mg l⁻¹ ขณะที่ทะเลสาบอีก 20 แห่ง ที่มีความสมบูรณ์ในระดับปานกลาง (mesotrophy) มีค่า total hardness ระหว่าง 17.0-24.9 mg l⁻¹ และทะเลสาบอีก 11 แห่ง มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างสูง (meso-eutrophy) มีค่า total hardness

ระหว่าง 15-368 mg l^{-1} และทะเลสาบอีก 6 แห่ง ซึ่งมีผลผลิตเบื้องต้นสูงมาก (highly eutrophy) มีค่า total hardness ระหว่าง 13-365 mg l^{-1} จะเห็นได้ว่าค่าความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำไม่ได้แปรไปตามโดยตรงกับค่า total hardness (ศิริเพ็ญ, 2530) น้ำในทะเลสาบ Todos Los Santos เป็นน้ำอ่อนมากแต่ค่า Total hardness จะเพิ่มขึ้นในฤดูใบไม้ผลิและฤดูหนาว (Campos et al. 1992) และในทะเลสาบ Rupanco มีค่า hardness 0.2 meq l^{-1} (Campos et al. 1992) total hardness ของแหล่งน้ำในภาคเหนือของไทยอยู่ในช่วง 2-142 mg l^{-1} (Yano et al. 1984)

ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำมาก เพราะเป็นส่วนประกอบของอินทรีย์สารหลายชนิดที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของพืชและสัตว์ เช่น เป็นส่วนประกอบของโปรตีนและไขมันบางชนิด ฉะนั้นสารประกอบไนโตรเจนจึงเป็นสิ่งจำกัอย่างหนึ่งของความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ไนโตรเจนเข้าสู่แหล่งน้ำทางอากาศและจากนั้นก็จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบหลายรูป การเปลี่ยนแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจนนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องกับพวกพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำ ไม่มากก็น้อย (เปี่ยมศักดิ์, 2534 และนารี 2529) สารประกอบไนโตรเจนที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับในเรื่องน้ำดื่มและน้ำโสโครก อาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจน เช่น NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- สารพวกนี้อาจอยู่ในรูปปุ๋ย เกลือในยูรีน ส่วนอีกชนิดหนึ่งคือสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก สารพวกนี้เป็นส่วนประกอบของร่างกายพืช สัตว์ ใน feces ในปุ๋ยคอก สาเหตุที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำ เพราะการที่มันเปลี่ยนจากรูปสารอินทรีย์ไปเป็นสารอินทรีย์โดยขบวนการที่เรียกว่า mineralization ซึ่งแบคทีเรียเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ นอกจากนี้สารอินทรีย์ในรูปต่าง ๆ ก็อาจเปลี่ยนกลับไปมากันได้ โดยแบคทีเรียเช่นกัน ขบวนการในการเกิดมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น ammonification, nitrification และ denitrification ความสำคัญของขบวนการ mineralization คือ การเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ (กรรณิการ์, 2522) น้ำธรรมชาติที่มีปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนที่สูงมาก แต่มีไนโตรทและไนเตรทไนโตรเจนในปริมาณน้อยจักเป็นน้ำที่มีคุณภาพไม่ดี ไม่ปลอดภัยต่อการอุปโภคบริโภคเพราะว่าน้ำนั้นเกิดมลพิษมาก่อนแต่ถ้าน้ำนั้นมีไนโตรทไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยและไม่มีไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียไนโตรเจนเลยจัดเป็นน้ำที่มีคุณภาพดี เพราะได้เกิด nitrification มาแล้ว (วิจิตร และคณะ, 2533) แอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูป NH_4^+ หรือในรูป NH_3 ซึ่งสมดุลกัน (กรรณิการ์, 2522) โดยปกติ $\text{NH}_3\text{-N}$ นี้จะอยู่ในน้ำธรรมชาติในปริมาณน้อยกว่า 1 mg l^{-1} ในน้ำเสียความเข้มข้นของ $\text{NH}_3\text{-N}$ จะเพิ่มมากขึ้นและมีความเข้มข้นมากกว่า 1 mg l^{-1} ในบางครั้งถ้ามีความเสียมากความเข้มข้นของแอมโมเนียอาจมีมากถึง 10 mg l^{-1} หรือมากกว่านี้ (เปี่ยมศักดิ์, 2534) ส่วนไนเตรทเป็นสารประกอบของไนโตรเจนที่พบได้มากที่สุดในการธรรมชาติและทะเลสาบ เนื่องจากไนเตรทเป็นสารประกอบที่สามารถถูกชะล้างไปได้ง่าย เมื่อมีการไหลผ่าน

ของน้ำไปบนพื้นดิน ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้แตกต่างจากฟอสเฟตและแอมโมเนียมไอออนซึ่งจะติดอยู่กับอนุภาคของดิน ดังนั้นปริมาณไนเตรทจะไหลลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้น เมื่อมีการพังทลายของดินมาก (ศิริเพ็ญ, 2530) โดยปรกติจะสามารถพบความเข้มข้นของไนเตรทในโตรเจนไม่เกิน 10 mg l^{-1} และบ่อยครั้งที่น้อยกว่า 1 mg l^{-1} ในระหว่างช่วงเวลาที่พืชผลผลิตเบื่องตันสูง (นันทนา, 2536) มาตรฐานน้ำดื่มของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดปริมาณไนเตรทไว้ไม่เกิน 4 mg l^{-1} องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดมาตรฐานแหล่งน้ำให้มีปริมาณไนเตรทไม่เกิน 1 mg l^{-1} และแอมโมเนียไม่เกิน 0.5 mg l^{-1} ส่วนมาตรฐานและคุณลักษณะของน้ำดิบที่ปลาและสัตว์น้ำมีชีวิตอยู่ได้ต้องมีแอมโมเนียน้อยกว่า 1 mg l^{-1} ในน้ำสะอาดกำหนดให้มีแอมโมเนียไม่เกิน 0.1 mg l^{-1} และไนเตรทไม่เกิน 4 mg l^{-1} ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยของแหล่งน้ำในประเทศไทยอยู่ในช่วง $0.2-0.8 \text{ mg l}^{-1}$ (ณรงค์, 2525) ปริมาณของไนเตรทและแอมโมเนียในแหล่งน้ำจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตเบื่องตันของแหล่งน้ำ จากการศึกษาในทะเลสาบหลายแห่ง พบว่า ปริมาณไนเตรทจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณจะสูงในฤดูฝนและต่ำลงในฤดูแล้ง ขณะเดียวกันผลผลิตเบื่องตันมีค่าแปรไปตามปริมาณของไนเตรทในโตรเจน ปริมาณของไนเตรทในโตรเจนของทะเลสาบ Laguna Buhi และ Katugday ในประเทศสาธารณรัฐฟิลิปปินส์มีค่าระหว่าง $0.026-0.176$, $0.5-0.71$ และ $0.07-0.25 \text{ mg l}^{-1}$ และในทะเลสาบ Onondaga ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าอยู่ระหว่าง $0.42-0.60 \text{ mg l}^{-1}$ (ศิริเพ็ญ, 2530) N:P ratio ที่พบใน Azibo-Portugal reservoir ประเทศโปตุเกส ส่วนมากจะน้อยกว่า 10:1 และการเพิ่มจำนวนเป็น dominance ของแพลงตอนพืชขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตของ แพลงตอนพืชไม่บ่อยนัก เช่น บริเวณ tropical coastal lagoons ใน Mexico พบว่า nitrogen เป็น limiting factor ที่รุนแรงโดยมีค่า N:P ratio 3.7:1 ใน 12 lagoons และมีค่า N:P ratio 1.7:1 ใน 17 lagoons (Contreras and Kirekes, 1993) ทะเลสาบ Kinneoret ในอิสราเอล พบไนเตรทในโตรเจนมีค่า $0.091-0.66 \text{ mg l}^{-1}$ แอมโมเนียในโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.195 mg l^{-1} (Gophen et al. 1990) Faafeng and Hossen, 1993) กล่าวว่าไนโตรเจนจะเป็น limiting nutrient สำหรับการเจริญเติบโตของ แพลงตอนพืชไม่บ่อยนัก เช่น บริเวณ tropical coastal lagoons ใน Mexico พบว่า nitrogen เป็น limiting factor ที่รุนแรงโดยมีค่า N:P ratio 3.7:1 ใน 12 lagoons และมีค่า N:P ratio 1.7:1 ใน 17 lagoons (Contreras and Kirekes, 1993) ทะเลสาบ Kinneoret ในอิสราเอล พบไนเตรทในโตรเจนมีค่า $0.091-0.66 \text{ mg l}^{-1}$ แอมโมเนียในโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 0.195 mg l^{-1} (Gophen et al. 1990) ปริมาณไนเตรทในทะเลสาบ Rupanco มีค่าไม่แตกต่างกันมากในต่างฤดูกาลมีค่า $2-56 \text{ } \mu\text{g l}^{-1}$ (Campos et al., 1992) Diaz and Pedrozo, (1993) ศึกษา nutrient limitation ในแม่น้ำและทะเลสาบของ Andean Patagonian ประเทศอาร์เจนตินา พบว่าไนโตรเจนเป็น limiting factor ในธรรมชาติบรรดาธาตุอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะไนเตรท แอมโมเนีย ฟอสเฟต มีความสำคัญมากที่สุดต่อการเติบโตของแพลงตอนพืช (Talling, 1962) แพลงตอนพืชจะใช้ไนโตรเจนได้หลายรูปแบบ เช่น ไนไตรท์ ไนเตรท แอมโมเนีย ยูเรีย และกรดอมิโน เป็นต้น (Alexpoulos และ Bold, 1967) แอมโมเนียเป็นไนโตรเจนตัวแรกที่แพลงตอนพืชจะเลือกใช้ก่อนไนโตรเจนตัวอื่นๆ เพราะมันเอาแอมโมเนียไปสร้างกรดอมิโนได้โดยตรง แต่ถ้าใช้ไนเตรทหรือ

ไนโตรเจนมันต้อง reduce ไนเตรทและไนโตรที่เสียก่อนเซลล์จึงจะนำไปใช้ได้ ซึ่งการ reduce ไนโตรที่ ต้องอาศัยแสงสว่างโดยใช้ ferredoxin ที่ถูก reduce โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงแล้วไป reduce ไนโตรที่ไปเป็นแอมโมเนียอีกทีหนึ่ง ส่วนไนเตรทถูก reduce โดยอาศัยเอนไซม์ nitrate reductase ซึ่งไม่ ขึ้นกับแสงสว่างแต่โดยมากแล้วแพลงตอนพืชจะใช้แอมโมเนียและไนเตรทมากกว่ารูปอื่น (Keeney, 1970) แพลงตอนพืชสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิด เช่น *Trichodesmium* spp., *Nostoc* sp. และ *Anabaena* sp. สามารถจับก๊าซ N_2 แล้วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบแอมโมเนียเรียกกระบวนการนี้ว่า Nitrogen fixation โดยนำไปใช้แทน ไนเตรท, ไนโตรที่ และแอมโมเนีย (Dugdale and Goering, 1964) สำหรับในแหล่งน้ำจืดที่มีธาตุไนโตรเจนและคาร์บอนสูงกว่าปกติจะพบแพลงตอนพืช *Tabellaria fenestrata*, *Synedra acus* และไดอะตอมเจริญเป็นจำนวนมาก (Sze, 1975)

ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสในน้ำธรรมชาติและในน้ำโสโครกอยู่ในรูปต่าง ๆ กันของฟอสเฟต เช่น ออร์โธ ฟอสเฟต อินทรีย์ฟอสเฟต ฟอสเฟตเหล่านี้อาจอยู่ในรูปที่ละลายน้ำหรือในรูปของซากพืชสัตว์ ฟอสเฟตรูปต่าง ๆ เข้ามาปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำโสโครกได้หลายทาง เช่น มาจากน้ำที่ใช้ในการ ชักฟอกหรือล้างขาม ซึ่งใช้ผงซักฟอก (ในรูปฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟต) จากปุ๋ยซึ่งใช้ในการเกษตร (ในรูปออร์โธฟอสเฟต) ซึ่งถูกชะล้างมาในน้ำฝน ฟอสเฟตในน้ำที่พบมีอยู่หลายรูป เช่น HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , $H_2PO_4^-$ และ polyphosphate ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ และมักจะพบว่าเป็น growth-limiting nutrient ของแหล่งน้ำอยู่เนื่อง ๆ (กรรณิการ์, 2522) แต่ถ้ามี ฟอสเฟตมากเกินไปก็จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า eutrophication (over fertilization) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีปริมาณไนเตรทมากในน้ำซึ่งจะทำให้พวกพืชน้ำเติบโตอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่ง พวกแพลงตอนพืช สามารถดึงเอา ออร์โธฟอสเฟตออกไปจากน้ำนำไปใช้ได้โดยตรง (Riley and Chester, 1971) โดยมีจุลินทรีย์เป็นผู้ย่อยสลายซึ่งโดยทั่วไปแล้วในแหล่งน้ำจะมีอัตราเฉลี่ยของธาตุ อาหารที่สำคัญ 3 ชนิด คือ 40C:7N:1P ค่อน้ำหนักแห้ง 100 ซึ่งอัตรานี้เป็นอัตราที่เหมาะสม สำหรับพืชน้ำขนาดใหญ่ และแพลงตอนพืช (นันทนา, 2536) ถ้าในแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัส น้อยกว่า $10 \mu g l^{-1}$ จะมีผลทำให้การแบ่งเซลล์ถูกจำกัดโดยเซลล์ที่สร้างใหม่จะขาดฟอสฟอรัสแล้วใน ที่สุดการสังเคราะห์แสงจะหยุดลง โดยปกติจะนิยมวัดความเข้มข้นของฟอสเฟตทั้งหมด (total phosphate) หรือ ออร์โธฟอสเฟต ซึ่งก็จะมีมาตรฐานในการบอกถึงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ไม่ได้รับ อิทธิพลเนื่องจากมลพิษ เช่น ฟอสเฟตทั้งหมด $0.1 mg l^{-1}$ ออร์โธฟอสเฟต $0.01 mg l^{-1}$ (นันทนา, 2536) เบียมัคคี (2534) พบว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีฟอสฟอรัสละลายอยู่ในน้ำ $0.01-0.03 mg l^{-1}$ คุณภาพเฉลี่ยของแหล่งน้ำในประเทศไทยมีฟอสเฟตอยู่ในช่วง $0.1-0.5 mg l^{-1}$ (ณรงค์, 2525) จากการศึกษาคุณภาพน้ำของทะเลสาบ Rupanco ประเทศชิลี (Campos et al., 1992) Andean Patagonian ประเทศอาร์เจนตินา Escondido ประเทศอาร์เจนตินา (Diaz and Pedrozo,

1993) Azibo-Portugal reservior ประเทศโปรตุเกส (Vasconcelos, 1991) พบว่าทะเลสาบเหล่านี้มีคุณภาพน้ำแบบ oligotrophic มี ฟอสฟอรัส เป็น limiting nutrient ตัวแรกสำหรับการเจริญของพวกแพลงตอนพืช Sawyer (1966) รายงานว่า แหล่งน้ำจืดที่มีปรากฏการณ์ eutrophication เกิดขึ้นจะพบแพลงตอนพืช *Oscillatoria rubescens*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides* และ *Microcystis aeruginosa*