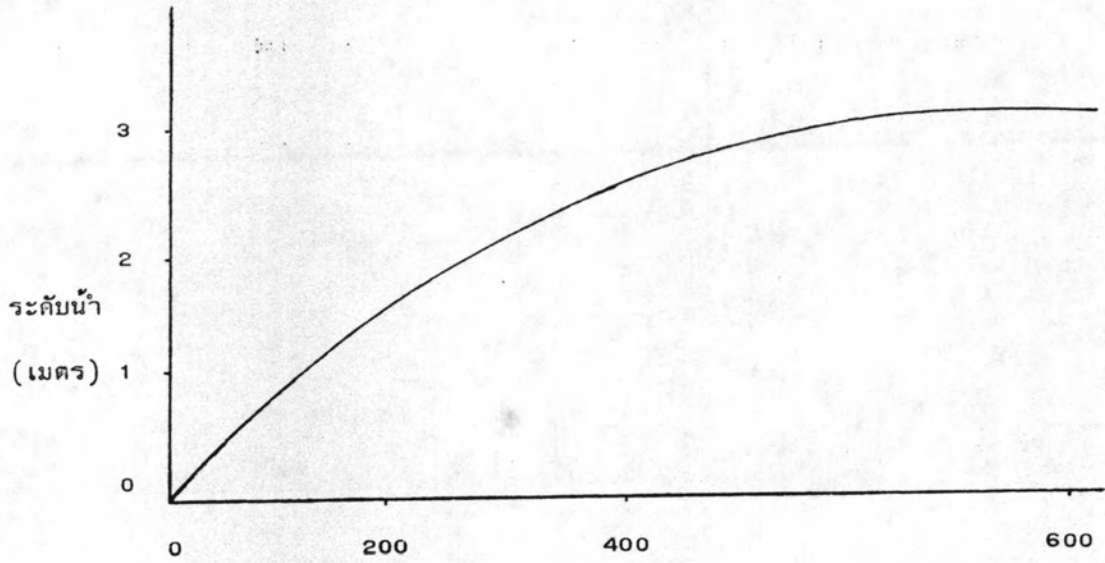




หลักการ ทฤษฎี และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แม่น้ำและลำธาร (River and Stream)

น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธารนั้นจัดเป็นน้ำผิวดินประเภทหนึ่ง และเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการเคลื่อนตัวของน้ำในโลกที่อยู่ในวัฏจักรน้ำ (hydrologic cycle) กล่าวคือ เป็นขบวนการไหลกลับคืนสู่ทะเลหรือแหล่งน้ำของฝนที่ตกลงมาสู่พื้นโลก สำหรับปริมาณน้ำในแม่น้ำและลำธารจะมีมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกนิยวิทยา อันได้แก่ ปริมาณน้ำฝน และชนิดของดิน เพราะจำนวนน้ำฝนที่มากเกินขีดความสามารถของดินในการดูดซึม จะทำให้เกิดน้ำไหลผ่านผิวดินในทิศทางที่ลาดชันและสะสมเป็นทางน้ำและลำธารเล็ก ๆ น้ำส่วนใหญ่ในลำธารจะมาจากความไม่สามารถซึมผ่านชั้นดิน (infiltrate) ของจำนวนน้ำฝนที่มากเกินไปได้ทันเวลา นอกจากนี้สภาพการใช้ที่ดินและขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำในแม่น้ำลำธาร เช่นกัน น้ำผิวดินชนิดนี้จัดเป็นทรัพยากรที่เปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมได้ (renewable resource) เนื่องจากมีช่วงเวลาของการกักตัว (detention period) สั้น เพราะมีการไหลออกและเติมเข้าของน้ำอย่างรวดเร็ว ข้อมูลปริมาณน้ำหรืออัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำมีความสำคัญในการศึกษาทางด้านอุทกวิทยา และการใช้ประโยชน์ของน้ำ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำในแม่น้ำในอันที่จะทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำดีขึ้นหรือเลวลงได้ด้วย เพราะถ้าน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำมีคุณภาพดีและมีปริมาณมากพอที่จะช่วยเจือจางมลสารในน้ำ ทำให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำดีขึ้น แต่ในทางกลับกัน ถ้าน้ำที่ไหลลงมามีคุณภาพไม่ดี แม้จะมีปริมาณน้อยก็อาจส่งผลให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำเลวลงได้เช่นกัน (WHO, 1978) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาในด้านคุณภาพน้ำจึงจำเป็นต้องทำการตรวจวัดปริมาณน้ำหรืออัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำด้วย ซึ่งการวัดดังกล่าวทำได้หลายวิธี และวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้มากคือ การใช้ไม้ระดับน้ำ (staff gage) โดยการวัดระดับน้ำแล้วเปลี่ยนค่ามาเป็นปริมาณน้ำต่อหน่วยเวลา โดยการใช้โค้งปริมาณน้ำ (rating curve) ซึ่งเป็นกราฟที่ได้จากการทำ calibration curve ของข้อมูลระดับน้ำและข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ โดยที่ข้อมูลดังกล่าวได้จากการวัดระดับน้ำและปริมาณการไหลของน้ำควบคู่กันไปหลาย ๆ ครั้ง ตั้งแต่ระดับน้ำสูงสุดจนถึงระดับน้ำต่ำสุด การวัดอัตราการไหลของน้ำอีกวิธีหนึ่ง คือการวัดความเร็วและพื้นที่หน้าตัด โดยมี



อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

รูปที่ 2.1 เส้นโค้งปริมาณน้ำ

ที่มา : หลักอุทกวิทยา, 2525

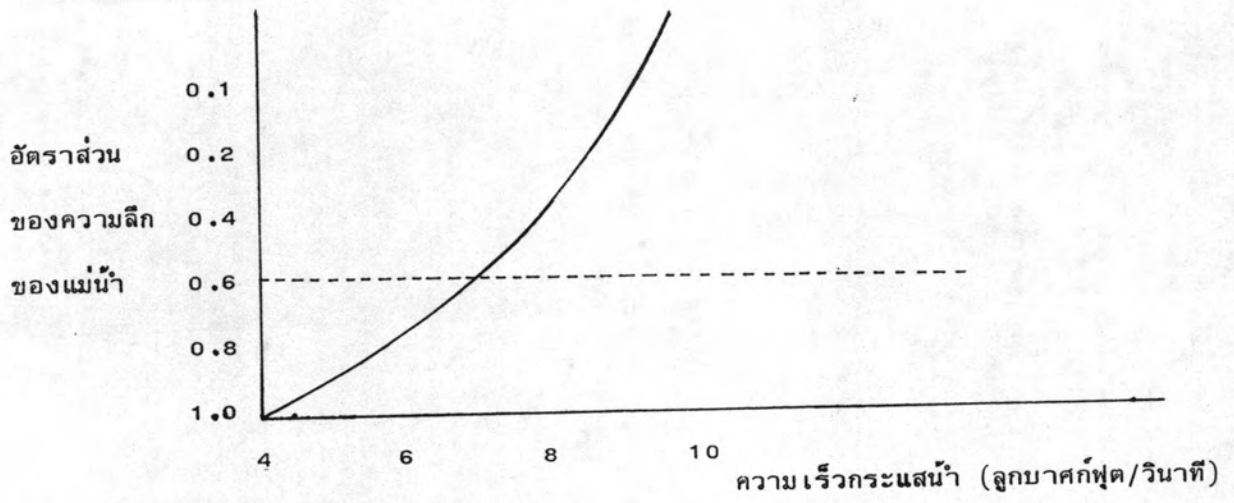
หลักการที่ว่า ปริมาณการไหลของน้ำเท่ากับผลคูณของความเร็วจลื่นของน้ำกับพื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน การวัดพื้นที่หน้าตัดทำได้โดยการวัดความกว้างของแม่น้ำก่อน จากนั้นแบ่งความกว้างออกเป็น ส่วน ๆ ซึ่งจะแบ่งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความกว้างของแม่น้ำ และความแตกต่างของความลึก การวัดความลึกของแม่น้ำอาจใช้ลูกตุ้มถ่วงในกรณีที่เป็นแม่น้ำขนาดเล็กและไม่ลึกนัก แต่ถ้าเป็นแม่น้ำขนาดใหญ่ก็จะใช้ sounding weight สำหรับความเร็วของกระแส น้ำ โดยทั่วไปวัดด้วย เครื่องวัดความเร็วกระแส น้ำ (current meter) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ ชนิดลูกถ้วยและชนิดใบพัด โดยจะวัดที่จุด 0.2 และ 0.8 ของความลึกจากผิวน้ำ เมื่อแม่น้ำนั้นมีความลึกมากกว่า 10 ฟุต ซึ่งจุดดังกล่าวเป็นจุดความเร็วเฉลี่ยของกระแส น้ำในแนวตั้ง (verticle) เมื่อได้ความเร็วของกระแส น้ำ ความกว้าง และความลึกของแม่น้ำแล้ว นำไปคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำ โดยวิธี mean section หรือวิธี mid section method

เขื่อนและอ่างเก็บน้ำ (Dam and Reservoir)

เขื่อนเป็นสิ่งก่อสร้างที่อาจทำด้วยไม้ หิน ดิน หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ขวางกั้นลำน้ำหรือแม่น้ำเพื่อควบคุมอัตราการไหล หรือ เพื่อยกกระดับน้ำในแหล่งน้ำนั้นให้สูงขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วถ้ามีขนาดไม่ใหญ่โต และเมื่อขวางกั้นทางน้ำแล้วไม่ก่อให้เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำขึ้นแล้ว ก็มักจะเรียกว่า ฝาย หรือ ทำนบ และถ้ากล่าวถึงเขื่อนแล้วก็มักจะหมายความถึง สิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นปิดทางน้ำธรรมชาติ (แม่น้ำ) เพื่อประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเพื่อการอุปโภคประสงค้อันได้แก่ การชลประทานและการเกษตร หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เมื่อทางน้ำเดิมถูกปิดกั้นด้วยเขื่อนที่สร้างขึ้น ก็จะทำให้เกิดการท่วมล้นของลำน้ำเดิม เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะมีขนาดเล็กหรือกว้างใหญ่เพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของลุ่มน้ำและขนาดของเขื่อน การไหลของน้ำนั้นแต่เดิมไหลตามธรรมชาติ เมื่อสร้างเขื่อนแล้วก็สามารถควบคุมได้ โดยการปิดและเปิดประตูน้ำ (water gate)

คุณภาพน้ำและดัชนีคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำมีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ของน้ำ น้ำที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคต้องมีคุณภาพดีที่สุด ส่วนน้ำที่ใช้เพื่อการประมง เพื่อการเกษตร และการอุตสาหกรรม ก็จะมีคุณภาพต่ำรองลงมาตามลำดับ ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจืดของประเทศไทยโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ก็ถือหลักการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำเป็นแนวทาง ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางภาคผนวกท้ายเล่ม คุณภาพน้ำในแม่น้ำจะดีหรือ เลวเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับ



รูปที่ 2.2 กราฟความเร็วของน้ำที่จุดต่าง ๆ ในแนวตั้ง

ที่มา : หลักอุทกวิทยา, 2525

ถ้าระดับออกซิเจนละลายในน้ำต่ำ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำต่าง ๆ คือ ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้นในแหล่งน้ำ เกิดกลิ่นเหม็น และมีปัญหาทางด้านสุนทรียภาพของแหล่งน้ำและการใช้น้ำ พบว่าถ้าแหล่งน้ำมีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร สภาวะไร้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ง่าย ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายนี้แปรผันไปตามฤดูกาล อุณหภูมิและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (dissolved solid) ด้วย (Canter, L.W. & Hill, L.G., 1979)

ความสำคัญของออกซิเจนละลาย

1. ออกซิเจนละลายในน้ำเสีย เป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวภาพที่จะเกิดขึ้นว่าจะเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (aerobic organism) หรือจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic organism) โดยที่จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะออกซิไดซ์สารอินทรีย์และอนินทรีย์ เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตราย แต่จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น ซัลเฟต ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้น เมื่อตรวจพบว่าในน้ำเสียมียค่าออกซิเจนละลายต่ำ จึงจำเป็นต้องเติมอากาศ (ออกซิเจน) เพื่อรักษาสภาวะที่มีออกซิเจนของแหล่งน้ำไว้
2. ค่าออกซิเจนละลายมีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำต่าง ๆ คือต้องให้มีค่าออกซิเจนละลายไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร
3. ค่าออกซิเจนละลายเป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เพื่อหากำลังความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราการออกซิไดซ์ทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ
4. ค่าออกซิเจนละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกักความร้อนของ เหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปาและหม้อต้มน้ำ
5. ค่าออกซิเจนละลายช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในขบวนการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีการใช้ออกซิเจน (aerobic treatment process) เพื่อให้แน่ใจว่ามีปริมาณออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนไว้ได้ และป้องกันการใช้ออกซิเจนมากเกินไป

สำหรับในแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างแม่น้ำลำธาร จะมีการใช้ออกซิเจนและการเติมออกซิเจนเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เมื่ออัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่าอัตราการเติมออกซิเจน

ชนิดและปริมาณมลสาร (pollutant) ที่เจือปนอยู่ในน้ำเป็นสิ่งสำคัญ การพิจารณาคุณภาพน้ำนั้น จะต้องพิจารณาองค์ประกอบ 3 ประการ คือ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางชีวภาพ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการตรวจสอบ เฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีบางประการ เท่านั้น และเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจน และสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำเท่านั้น ได้แก่

ก. คุณสมบัติทางกายภาพ

- อุณหภูมิของน้ำ
- อุณหภูมิของอากาศ

ข. คุณสมบัติทางเคมี

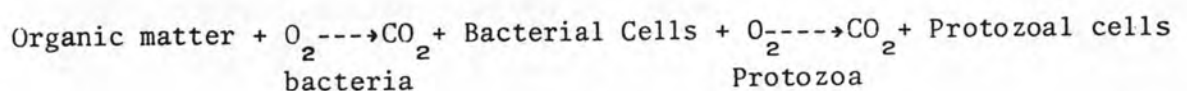
ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen ; DO) ปริมาณออกซิเจนในน้ำเป็นคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของน้ำ และเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เพราะออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช เพื่อนำไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ ก่อให้เกิดพลังงาน นอกจากนี้ ค่าออกซิเจนละลายยังบอกให้ทราบถึงแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่า จะเป็นแบบ aerobic หรือ anaerobic ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมาก ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility) ของออกซิเจนอยู่ในช่วง 14.6 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 0°ซ และ 7.1 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ 35°ซ ที่ระดับบรรยากาศ โดยที่ปริมาณการละลายจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความดันบรรยากาศ ถ้าความดันบรรยากาศสูง ออกซิเจนจะละลายน้ำได้มาก
- เป็นปฏิภาคกลับกับอุณหภูมิของน้ำ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูง ออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย
- เป็นปฏิภาคกลับกับความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่สูง ออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อย

ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำจะลดลง และหากเป็นไปในทางตรงกันข้ามความเข้มข้นออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้น ในลำน้ำที่กระแสน้ำไหลในทิศทางเดียว ที่จุดต้นน้ำความเข้มข้นของออกซิเจนละลายซึ่งอิมตัวจะลดลงได้จุดที่ระบายสิ่งปฏิกูลหรือน้ำเสียลงไป เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ไปโดยแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งปฏิกูลและน้ำเสีย เมื่อความต้องการในการใช้ออกซิเจนในน้ำลดลง หรือปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำลดลง ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำสูงกว่าอัตราการใช้ออกซิเจน กราฟเส้นโค้งที่แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนละลายกับระยะทางตามลำน้ำหรือกับระยะเวลาในการไหลเรียกว่า Dissolved Oxygen Sag Curve ซึ่งกราฟนี้มีความสำคัญมากสำหรับการวางแผน การควบคุม และการจัดการสุขภาพแหล่งน้ำ

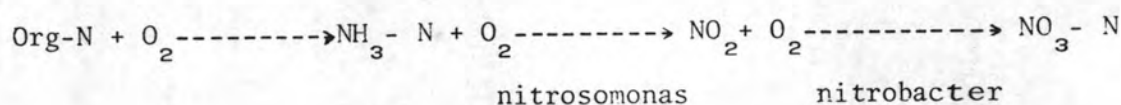
บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) เป็นดัชนีคุณภาพน้ำที่มีความสำคัญมากในการตรวจสอบความสกปรกของน้ำทั้งจากชุมชน และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ค่าบีโอดีคือปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จากขบวนการนี้แบคทีเรียจะได้พลังงานเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการแบ่งตัว ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิโดซ์สารอาหารเหล่านี้ อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ หรือแอมโมเนียขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร

การหาค่าบีโอดีมาตรฐาน จะใช้ incubate น้ำที่อุณหภูมิ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 วัน โดยที่ $\text{BOD}_5 = \text{DO}_0 - \text{DO}_5$ แล้วนำมาคำนวณค่าตาม Standard method เหตุที่ใช้อุณหภูมิ 20°C เพราะเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับน้ำทั่วไป และ nitrifying bacteria เจริญเติบโตได้ช้าที่อุณหภูมินี้ และการที่เลือกใช้เวลาเพียง 5 วัน ก็เพราะว่าถ้าเวลาน้อยกว่านี้ ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะน้อยมาก และเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ออกซิเจนในการออกซิโดซ์ของแอมโมเนียในโครเจน



สมการข้างต้นแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 5 วันแรกของการ incubate ที่อุณหภูมิ 20°C ซึ่งในช่วงนี้สารอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบคาร์บอนจะถูกย่อยสลายไป เรียกช่วงนี้ว่าเป็นการย่อยสลายระยะที่ 1 และเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการย่อยสลายในระยะที่ 2 เป็นการย่อยสลายสารประกอบแอมโมเนียให้เป็นสารประกอบไนโตรเจนในเดรท โดยจุลินทรีย์พวก

Nitrifying bacteria เรียกขบวนการย่อยสลายนี้ว่า nitrification



Hammer (1977) ได้รายงานว่ามีวิธีมาตรฐานใดที่จะป้องกันไม่ให้เกิดขบวนการ nitrification ได้ แต่สามารถยับยั้งการเกิดได้โดยการใช้สารเคมีชื่อ Thiourea หรือ 2-chloro-6-trichloromethyl-pyridine

ค่า BOD ที่ได้จะแปรผันตามเวลา ซึ่งได้จากสมการ

$$y = L (1 - 10^{-kt})$$

$$y = \text{BOD ที่เวลาใด ๆ (mg/l)}$$

$$L = \text{ปริมาณ BOD ทั้งหมด (mg/l)}$$

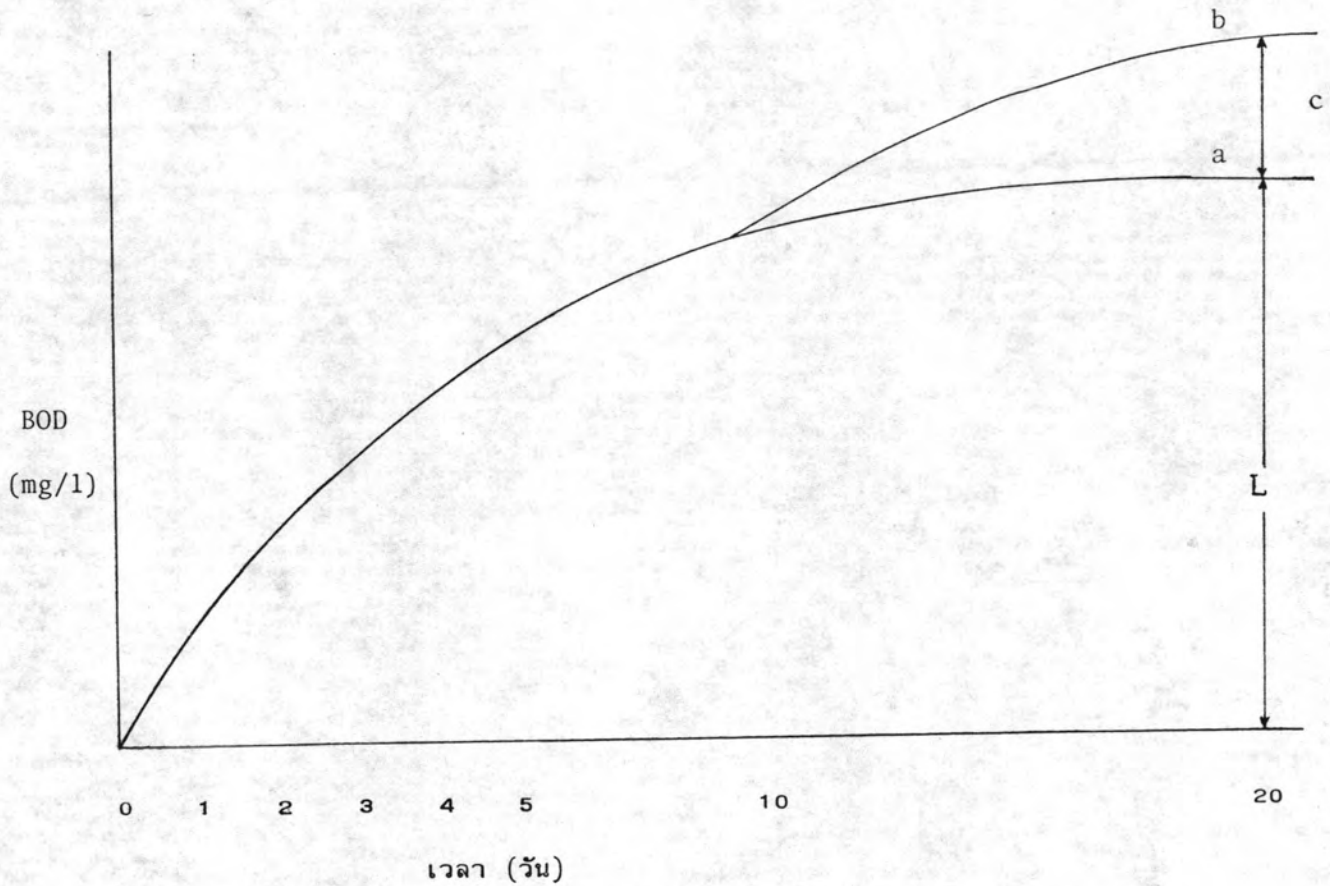
$$k = \text{ค่าคงที่จะแปรผันตามอุณหภูมิของน้ำ ชนิดของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ในน้ำ โดยปกติค่า k ที่ได้จากชุมชนจะมีค่า k = 0.1 ต่อวัน}$$

$$t = \text{เวลา}$$

จากสมการข้างต้นสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD กับเวลาที่ใช้ (วัน) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3

ประโยชน์ของค่าบีโอดี

1. ค่าบีโอดีที่วิเคราะห์ได้ สามารถบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียในรูปความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์
2. ใช้หาปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้รู้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำได้ เพื่อนำไปหาอัตราการย่อยสลายที่เกิดหรือหาอัตราที่มีโอดีจะถูกใช้ไป
3. ใช้ในการควบคุมความสกปรกของลำธาร แม่น้ำ ว่าควรกำจัดสารอินทรีย์ที่ทิ้งลงน้ำแค่ไหน เพื่อที่จะให้มีระดับออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่ตามต้องการ
4. ใช้วัดความสกปรกของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกโดยธรรมชาติ
5. ใช้ตรวจคุณภาพของน้ำทิ้งที่จะปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำ
6. ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย และประเมินประสิทธิภาพของ



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขบวนการเกิด BOD จากสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนที่สัมพันธ์กับเวลา

- a = ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ขั้นแรก
- b = ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ขั้นที่สอง
- L = carbonaceous oxygen demand
- c = nitrogenous oxygen demand

ที่มา : Hammer, M.J. (1977), Water and Wastewater Technology

ระบบบำบัดน้ำเสียได้

Pescod (1978) ศึกษาพบว่าดัชนีคุณภาพดังกล่าวมาแล้ว สามารถนำมาบ่งชี้และอธิบายถึงคุณภาพของแหล่งน้ำ โดยอาศัยภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับความเข้มข้นของปริมาณมลสารดังกล่าวในน้ำ ทำให้ทราบถึงสภาพการณ์ในขณะนั้นได้ ดังรูปที่ 2.4 กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นของมลสารซึ่งเป็นดัชนีคุณภาพมีในแหล่งน้ำมากจนเกินขีดจำกัดความสามารถของแม่น้ำ ในการที่จะย่อยสารอินทรีย์ได้ จนถึงจุดที่เรียกว่า Threshold pollution จะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดปัญหามลภาวะทางน้ำขึ้น

ปริมาณออกซิเจนละลาย และค่า BOD ในแหล่งน้ำ นับว่าเป็นดัชนีที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ทั้งนี้เพราะถ้ามีปริมาณมลสารระบายนกลงสู่แหล่งน้ำ ก็จะเกิดการย่อยสลายและเกิดการใช้ออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำนั้น ๆ ซึ่งถ้ามีปริมาณมลสารในแหล่งน้ำมาก ก็จะเกิดการขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำได้ และจะมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก คุณภาพน้ำและปริมาณมลสารในแหล่งน้ำสามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ โดยใช้สมการที่เกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

$$dC/dT = -K_1 L_t \dots\dots\dots (1)$$

$$dC/dT = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลายเมื่อเวลาผ่านไป}$$

$$K_1 = \text{สัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำต่อวัน}$$

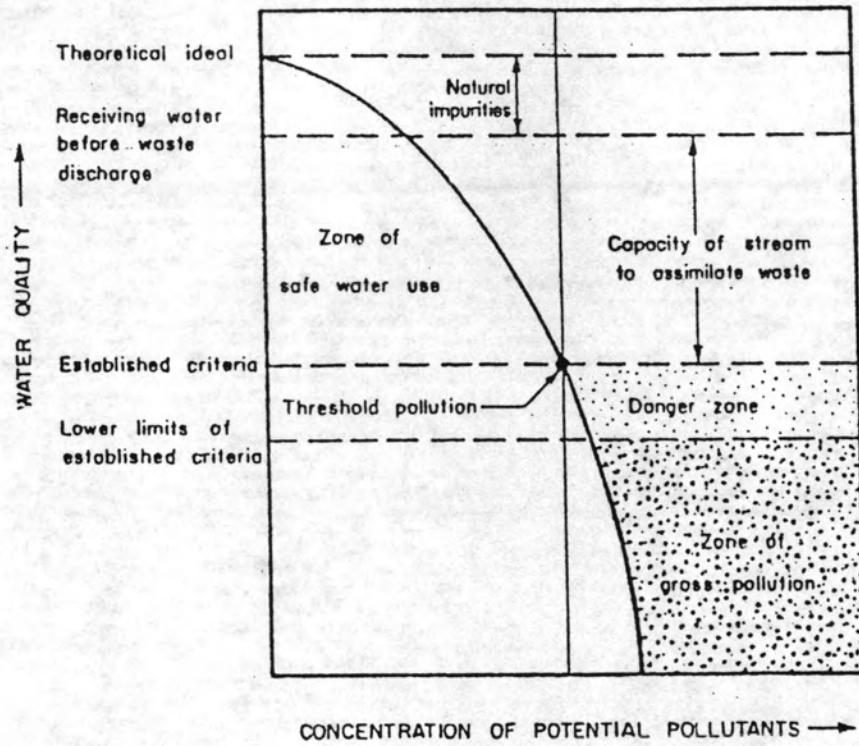
$$L_t = \text{ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป BOD ที่เวลา t ใด ๆ}$$

แหล่งน้ำสามารถได้ออกซิเจนกลับคืนมาจากบรรยากาศและจากการสังเคราะห์แสงของพืชสีเขียวโดยเฉพาะสาหร่าย ซึ่งจากการศึกษาของ Streeter & Phelps (1924) พบว่าอัตราการละลายออกซิเจนในบรรยากาศลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นดังสมการ

$$dD/dT = -K_2 D \dots\dots\dots (2)$$

$$dD/dT = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย}$$

$$D = \text{การขาดแคลนออกซิเจน เป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำ กับค่าออกซิเจนอิ่มตัว}$$



รูปที่ 2.4 แสดงระดับมลสารที่ทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำ

ที่มา : Pescod (1978), Surface Water Quality Criteria for Tropical Developing Countries

K_2 = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ

เมื่อนำสมการ (1) และ (2) มา integrate จะได้สมการใหม่ซึ่งเป็นไปตามหลักการของ Streeter & Phelps ดังนี้

$$Dt = \frac{k_1 La}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + Da \times 10^{-k_2 t}$$

$$k_1 = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{La}{Lb}$$

$$k_2 = k_1 \frac{\bar{L}}{\bar{D}} - \frac{\Delta D}{2.3 \Delta t \bar{D}}$$

โดยที่ Dt = ปริมาณออกซิเจนที่ลดลงที่จุดท้ายน้ำเมื่อเวลา = t , (mg/l)

k_1 = สัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำ, (day^{-1})

La = ultimate BOD ของจุดต้นน้ำ

Lb = ultimate BOD ของจุดท้ายน้ำ

k_2 = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ, (day^{-1})

\bar{L} = ค่าเฉลี่ยของปริมาณ ultimate BOD ในช่วงหนึ่งของลำน้ำ, (mg/l)

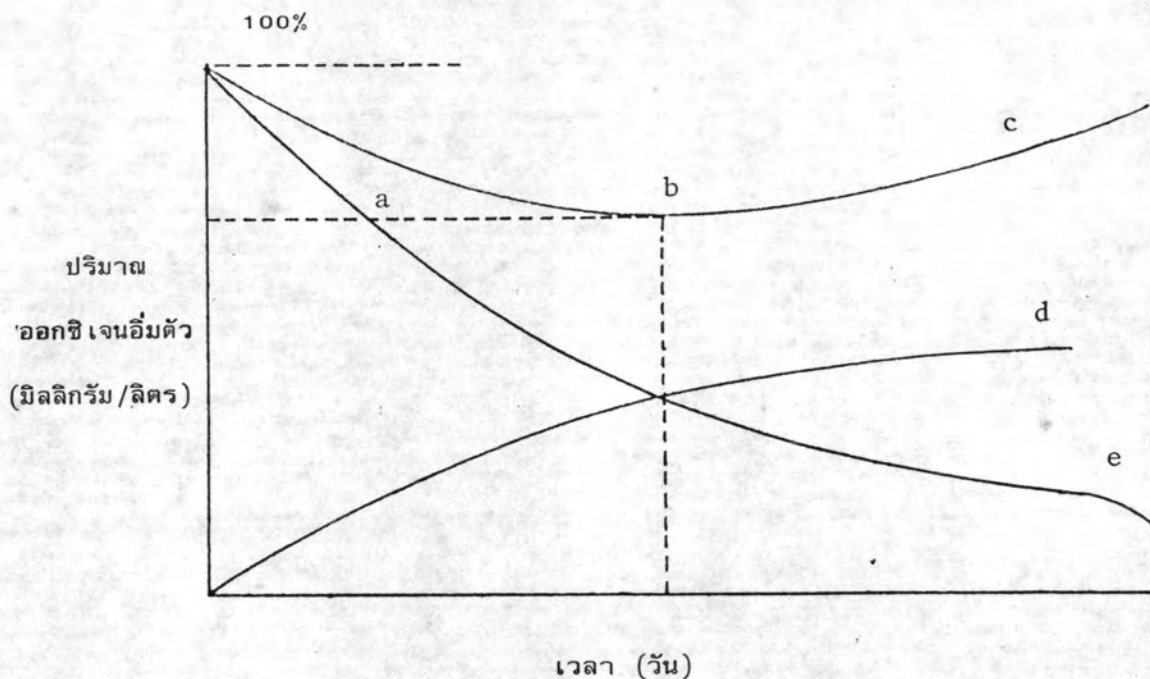
\bar{D} = ค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนที่ลดลงในช่วงหนึ่งของลำน้ำ, (mg/l)

ΔD = ผลต่างของปริมาณออกซิเจนที่จุดต้นน้ำและจุดท้ายน้ำ, (mg/l)

Da = ปริมาณออกซิเจนที่ลดลงที่จุดต้นน้ำ, (mg/l)

Δt = เวลาที่ใช้ในการไหลของน้ำจากจุดต้นน้ำมายังจุดท้ายน้ำ, (days)

จากสมการข้างต้นสามารถแสดงออกมาในรูป DO Sag Curve ได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการใช้ ออกซิเจนละลาย การเติมออกซิเจน และ DO Sag Curve

- a = ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปมากที่สุด
- b = จุดวิกฤต
- c = Sag Curve เป็นผลรวมของการใช้และการเติมออกซิเจน
- d = อัตราการเติมออกซิเจน
- e = อัตราการใช้หรือการขาดออกซิเจน

ที่มา : Nemerow, N.L. (1974), Scientific Stream Pollution

Analysis

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าในการประเมินค่าของออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำนั้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ 2 ค่า คือ สัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจน และ สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งค่า ultimate BOD ในแหล่งน้ำและสัมประสิทธิ์ทั้งสองค่านี้ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะบ่งชี้ว่าออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด

สัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Deoxygenation Coefficient)

โดยทั่วไปแล้วแหล่งน้ำที่มีการระบายน้ำทั้งจากบ้านเรือนหรือชุมชนลงไป พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจน (k_1) ในช่วงกลางวันจะมีค่าเท่ากับ 0.1 ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 20 °C ถ้าอัตราสูงกว่านี้จะมีผลทำให้ในแหล่งน้ำนั้นเกิดการขาดแคลนออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันถ้าอัตราต่ำกว่า 0.1 ต่อวัน ก็จะทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนอย่างช้า ๆ เนื่องจากมีการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างช้า ๆ ซึ่งในกรณีหลังนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาแก่ผู้ใช้ น้ำที่อยู่ตอนท้ายน้ำ คือจะต้องบำบัดน้ำก่อนการนำน้ำนั้นมาใช้

ค่า k_1 เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับเวลา อุณหภูมิ แล้วยังผันแปรกับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ สภาพทางชีวภาพ เคมี และกายภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เหล่านั้นด้วย

ในปัจจุบันนี้มีวิธีการคำนวณหาค่า k_1 อยู่ 4 วิธี ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป คือ

1. Least-square method
2. Slope method
3. Moment method
4. Logarithmic method

นอกจากนี้แล้วก็ยังมีอีก 2 วิธี ที่พอจะคำนวณหาค่า k_1 ได้เช่นกันคือ General laboratory และ Rhame's two-point method

Theriault (อ้างโดย Nemerow, 1974) ได้ปรับปรุงประยุกต์วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจน (k_1) ขึ้น โดยการใช้ข้อมูล BOD และ ultimate BOD (L) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า Least-square technique

$$\sum \log (L-Y) = m \sum x + nb$$

$$\sum x \log (L-Y) = m \sum x^2 + b \sum x$$

โดยที่

L = ultimate BOD

Y = BOD ที่เวลา x (วัน) ไต ๆ

x = เวลา (วัน)

แล้วจะทำให้ $b = \log L$

และ $k = -m$

Thomas (อ้างโดย Nemerow, 1974) ได้ใช้วิธีการที่คล้ายกับของ Theriault ซึ่งให้ผลที่ตรงกันและแม่นยำ โดยได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผลิต BOD กับ ค่า ultimate BOD ให้เป็นสมการเส้นตรง ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายกับวิธีแรก เรียกว่าวิธีการดังกล่าวนี้ว่า Slope method

$$na + b\sum y - \sum Y' = 0$$

$$a\sum y + b\sum y^2 - \sum Y'y = 0$$

โดยที่ $y = \text{BOD ที่เวลา } t \text{ (วัน) ใน } \eta$

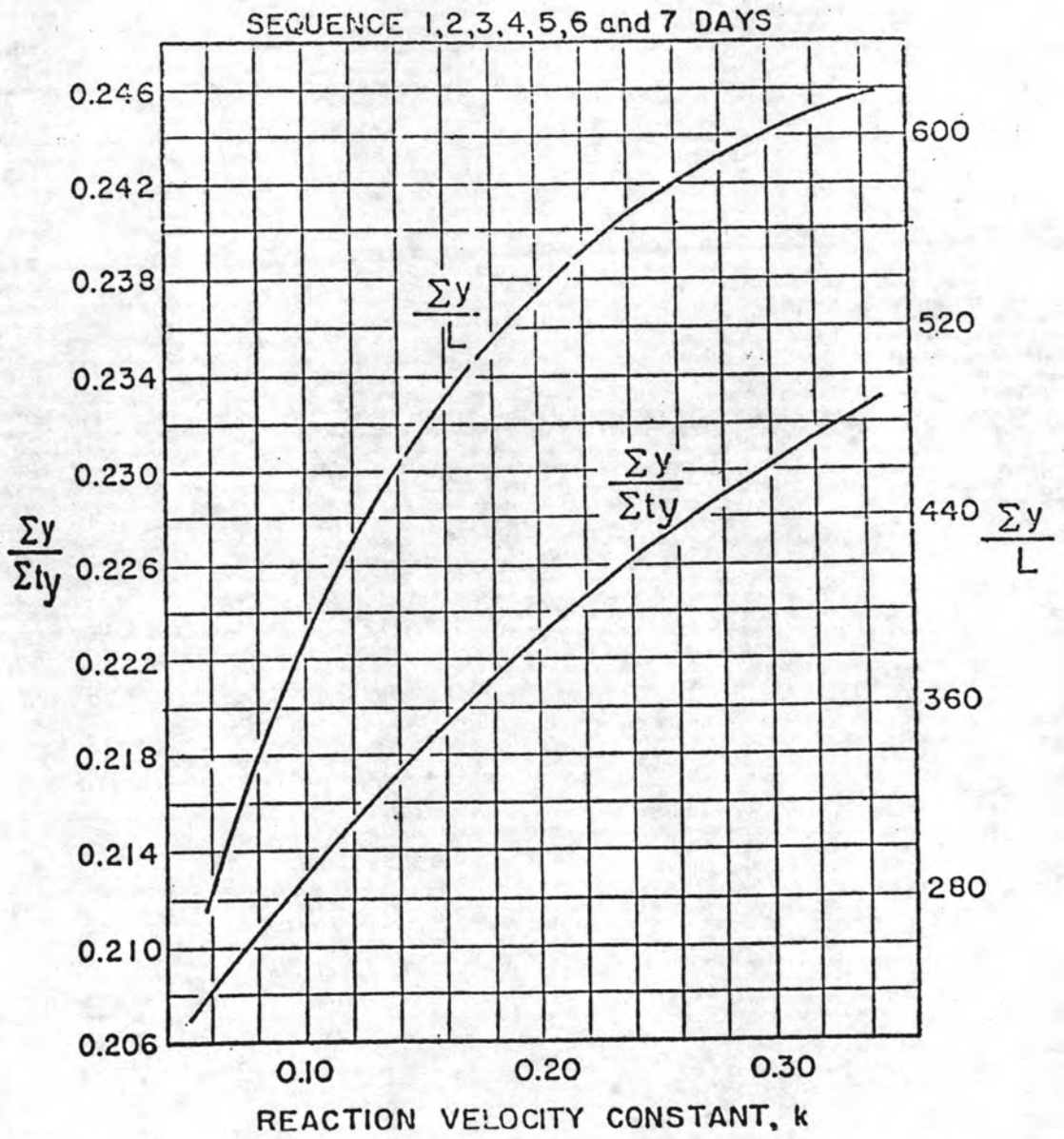
$$\text{และ } Y'_n = \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{t_{n+1} - t_{n-1}}$$

ซึ่งจะทำให้ $b = -K = 2.303k$

และ $L = a/k$

และ Thomas ได้ใช้วิธีการดังกล่าวนี้คำนวณค่า k_1 ของแหล่งน้ำแห่งหนึ่งที่มี ultimate BOD เท่ากับ 4400 ppm ได้ค่าดังกล่าวเท่ากับ 0.174

Moore, Thomas และ Snow (อ้างโดย Nemerow, 1974) เสนอวิธีการคำนวณค่า k_1 ด้วยวิธีการที่เรียกว่า Moments method โดยใช้กราฟที่สร้างขึ้นไว้สำเร็จรูปจากค่า $\sum y/\sum ty$ และ $\sum y/L$ ซึ่งเป็นแกนตั้งและแกนนอนคือ ค่า k_1 นั้นจะได้รับการคำนวณค่า $\sum y/\sum ty$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยที่ค่า y คือค่า BOD ที่ทำการวิเคราะห์ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 วัน และ t คือเวลา (วัน) แล้วลากเส้นจากค่าที่คำนวณได้ไปตัดเส้นกราฟที่มีอยู่ และลากจากจุดตัดของเส้นกราฟมาตั้งฉากและตัดกับแกนในแนวนอน ก็จะได้ค่า k_1 ต้องการ (รูปที่ 2.6 กราฟที่ใช้ในการคำนวณหาค่า k_1 โดยวิธีนี้)



รูปที่ 2.6 กราฟที่ใช้ในการคำนวณหาค่า k_1 โดย Moment method

Orford และ Ingrave (1953) พบว่า ถ้าสร้างกราฟระหว่างค่า BOD กับค่า logarithm ของเวลา จะได้กราฟที่ใกล้เคียงกับเส้นตรงมาก และจากสมการของเส้นกราฟ

$$y_t = m \times \log t + b$$

$$y_t = S(M \times \log t + B)$$

โดยที่ S = 5 day BOD intercept of the line

$$M = m/s = \text{BOD rate parameter}$$

$$B = b/s = \text{BOD rate parameter}$$

แล้วจะทำให้ $\text{Log}(L - y_t) = -k_t$

$$y_t = S(0.85 \times \log at + 0.41)$$

โดยที่ a = x axis intercept of domestic sewage

BOD curve divided by the x axis intercept of the observed BOD curve

(= 0.333 / x axis intercept)

วิธีการดังกล่าวนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากและมีจุดอ่อนเกี่ยวกับการวิเคราะห์ค่า BOD คือ

1. เป็นค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ของค่า BOD ภายในช่วงเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นช่วงสั้น ๆ
2. การวิเคราะห์ BOD ภายในช่วงเวลา 5 วันนั้น เป็นการตรวจวัดที่ปราศจากการประเมินผลจากความแตกต่างในอัตราการออกซิไดซ์สารอินทรีย์

Orford และ Ingram ได้แนะนำว่าการคำนวณค่า a และ s นั้น ควรใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ค่า BOD ที่ 1 และ 2 วัน หรือ 1 และ 3 วัน

Rhame's two point method ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ข้อมูลของค่า BOD ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจนได้เช่นกัน คือ

$$L = \frac{x^2}{(2x - Z)}$$

$$k_1 = \frac{1}{T - t} \log \frac{x}{Z - x}$$



โดยที่ x = ค่า BOD ที่เวลา t (วัน) ไค η

Z = ค่า BOD ที่เวลา $2t$ หรือ T โดยที่ $T = 2t$

สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ (Reaeration coefficient)

Adency และ Becher (อ้างโดย Nemerow, 1974) เป็นผู้ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน (k_2) เป็นครั้งแรก เขาพบว่า การเติมอากาศเป็นปฏิกิริยาตรงกับการลดลงของออกซิเจนจากค่าออกซิเจนอิ่มตัว กล่าวคือ เมื่อมีการใช้ออกซิเจนมากก็จะเกิดการเติมออกซิเจนในเวลาต่อมาเป็นจำนวนมากด้วย ถ้าไม่มีการใช้ออกซิเจนอีกต่อไปออกซิเจนก็จะกลับมาสู่ค่าปกติอีกครั้งหนึ่ง

การคำนวณค่า k_2 จำเป็นต้องมีการตรวจวัดเวลาที่ใช้ในการไหลของกระแสน้ำจากสถานีหนึ่งมายังอีกสถานีหนึ่ง ค่าออกซิเจนละลาย ultimate carbonaceous stage BOD และค่า k_1 ด้วย ถ้าการตรวจดังกล่าวคลาดเคลื่อนไปก็จะทำให้ค่า k_2 ที่คำนวณได้ผิดพลาดไปจากความเป็นจริง

ในปี 1925 Streeter และ Phelps ได้ปรับปรุงวิธีการของ Adency และ Becher เพื่อคำนวณค่า k_2 ของลำน้ำโดยพบว่า

$$dD/dT = K_1 L - K_2 D$$

D = ออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (ที่ขาดหายไปจากค่าออกซิเจนอิ่มตัว)

L = ultimate carbonaceous oxygen demand

Streeter (1926) เสนอวิธีการคำนวณค่า k_2 โดยการใช้ข้อมูลหลาย ๆ ค่าของความเร็ว ความลึก และความชันของลำน้ำ ซึ่งอาศัยสมการคณิตศาสตร์

$$k = \frac{CV^n}{H^2}$$

โดยที่ k_2 = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ, ต่อวัน

V = ค่าเฉลี่ยของความเร็วกระแสน้ำ, ฟุต/วินาที

H = ค่าเฉลี่ยของความลึกของลำน้ำที่สถานีท้ายน้ำในขณะน้ำต่ำสุด, ฟุต

C, n = ค่าคงที่

O' Connor และ Dobbins (1956) ได้ปรับปรุงสมการทางคณิตศาสตร์ชั้น 2 สมการ เพื่อคำนวณหาค่า k_2 ของแม่น้ำลำธารที่มีความลาดชันและน้ำไหลเชี่ยว

สำหรับแม่น้ำที่มีการไหลแบบ nonisotropic turbulence

$$k_2 = \frac{480DL^{1/2}S^{1/4}}{H^{5/4}}$$

และสำหรับแหล่งน้ำที่มีการไหลแบบ isotropic turbulence

$$k_2 = \frac{127 (DL U)^{1/2}}{H^{3/2}}$$

| | | | |
|--------|-------|---|---|
| โดยที่ | k_2 | = | สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจน, ต่อวัน |
| | DL | = | สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโมเลกุล, ฟุต/วินาที |
| | S | = | ความชันของพื้นที่ของน้ำ, ฟุต/ฟุต |
| | H | = | ค่าเฉลี่ยของความลึก, ฟุต |
| | U | = | ความเร็วเฉลี่ยของกระแส, ฟุต/วินาที |

Nemerow (1974) อ้างว่า จากการศึกษาของ Kehr, Downing, Truesdale และ Gameson, Truesdale และ Varley พวกเขาพบว่า การเกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำส่วนใหญ่นั้น เนื่องจากแหล่งน้ำมีอัตราการเติมออกซิเจนต่ำ และพบว่าน้ำสบู่ที่มีความเข้มข้น 6 ppm จะลดอัตราการเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำไปประมาณ 51%

Isaacs (1967) ได้ทำการทดลองโดยใช้แนวความคิดของ Streeter และ Phelps ที่กล่าวว่า ความเร็วของกระแสน้ำ ความลึก และความชันของแม่น้ำมีความสัมพันธ์กับค่า k_2 ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า k_2 เป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าเฉลี่ยของความเร็วกระแสน้ำ เป็นปฏิภาคกลับกับค่าเฉลี่ยของความลึกยกกำลัง $3/2$ ซึ่งสมการคณิตศาสตร์จากการทดลองของ Isaacs เพื่อคำนวณหาค่า k_2 คือ

$$k = 0.06339 \times \frac{Dm^{1/2}}{g^{1/6}} \times \frac{V}{H^{3/2}}$$

| | | | |
|--------|----------|---|---|
| โดยที่ | D_m | = | ความสามารถในการแพร่กระจายของ โม เลกุลออกซิ เจน ลงสู่แหล่งน้ำ |
| | δ | = | ค่าความหนืดของน้ำ |
| | V | = | ความเร็วเฉลี่ยของกระแส น้ำ, ฟุต/วินาที |
| | H | = | ค่าเฉลี่ยของความลึก, ฟุต |
| | g | = | ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงของโลก, ฟุต/วินาที |

Isaacs และคณะ (1967) ได้ทำการทดลองเพื่อหาสมการคณิตศาสตร์สำหรับ
คำนวณหาค่า k_2 ของลำน้ำในลักษณะต่าง ๆ และพบว่า

$$k_2 (20^\circ\text{C}) = A \frac{V}{H^{3/2}}$$

โดยที่ C เป็นค่าคงที่ผันแปรไปตามลักษณะของลำน้ำ

| | | |
|-----|---|----------------------------------|
| A | = | 2.7587 สำหรับลำน้ำแบบ Circular |
| | = | 2.9281 สำหรับลำน้ำแบบ Square |
| | = | 2.8229 สำหรับลำน้ำแบบ Triangular |
| | = | 2.8330 สำหรับลำน้ำแบบ Composite |

หรือ $k_2 (20^\circ\text{C}) = 2.833 \frac{V}{H^{3/2}}$

| | | |
|-----|---|----------------------------------|
| V | = | ค่าเฉลี่ยของความเร็ว, ฟุต/วินาที |
| H | = | ค่าเฉลี่ยของความลึก, ฟุต |

ในปี 1957 ถึง 1962 Churchill, Elmore และ Buckingham ได้ศึกษา
ช่วงหนึ่งของแม่น้ำ Clinch, Holston แม่น้ำ French Broad และแม่น้ำ Riwasaie ซึ่งมี
อัตราการไหลตั้งแต่ 1.145 ถึง 143,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที โดยพบว่า

$$k_2 = \frac{\log D_2 - \log D_1}{t_2 - t_1}$$

$$\begin{aligned}
 D_1 &= \text{ปริมาณออกซิเจนที่ลดลงจากค่าออกซิเจนอิ่มตัวที่จุดต้นน้ำ} \\
 D_2 &= \text{ปริมาณออกซิเจนที่ลดลงจากค่าออกซิเจนอิ่มตัวที่จุดท้ายน้ำ} \\
 t_2 - t_1 &= \text{เวลาที่ใช้ในการไหลจากจุดต้นน้ำถึงจุดท้ายน้ำ}
 \end{aligned}$$

นับตั้งแต่ปี 1960 เป็นต้นมา มีผู้ทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการต่าง ๆ ในการคำนวณค่า k_2 ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

Krenkel และ Orlob (1962) พบว่า

$$k_2 (20^\circ \text{C}) = (4.302 \times 10^{-5}) D_L^{1.15} \times h^{-1.915}$$

โดยที่ D_L = ค่าสัมประสิทธิ์การผสมผสานของลำน้ำตามแนวนอน, ฟุต²/นาท

h = ค่าเฉลี่ยของความลึก, ฟุต

Owens, Edward และ Gibbs (1964) พบว่าสำหรับลำน้ำที่มีความเร็วของกระแสน้ำตั้งแต่ 0.1 ถึง 5.0 ฟุต/วินาที และมีความลึกตั้งแต่ 0.4 ถึง 11 ฟุต สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนจะมีค่าเป็นดังนี้

$$k (20^\circ \text{C}) = 9.4V^{0.67} h^{-1.85}$$

โดยที่ V = ค่าเฉลี่ยของความเร็ว, ฟุต/วินาที

h = ค่าเฉลี่ยของความลึก, ฟุต

Negulescu และ Rojanski (1969) พบว่า

$$k_2 = 0.0153 D_L \frac{V^{1.63}}{h}$$

โดยที่ D_L = ค่าที่ได้จากการคำนวณ $D_L = 310 \left(\frac{V}{h}\right)^{-0.78}$

h = ความลึก (ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 เมตร), เมตร

V = ความเร็วของกระแสน้ำ, เมตร/วินาที

ผลของอุณหภูมิต่อค่า k_2 และระดับออกซิเจนละลายในน้ำ

จากการศึกษาของ Churchill ในปี 1962 นี้ เขาพบว่าอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับค่า k_2 กล่าวคือ ขณะที่อุณหภูมิสูง การเคลื่อนไหวของโมเลกุลออกซิเจนก็จะสูงขึ้น จึงทำให้มีอัตราการแพร่ของออกซิเจน (diffusion) จากบรรยากาศลงสู่ผิวน้ำสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะลดลงถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการลดลงของค่าออกซิเจนละลายและค่า k_2 จะต่ำลงด้วย

Churchill (1962) ได้นำข้อมูลของค่า k_2 และอุณหภูมิมารสร้างกราฟแล้วพบว่า

$$k_2 = ae^{bt}$$

โดยที่ a = ค่าคงที่ของจุดตัดแกน

b = อัตราคงที่

t = อุณหภูมิ, °C

และพบว่าค่า k_2 ที่อุณหภูมิใด ๆ จะสอดคล้องกับสมการ 2 สมการข้างล่างนี้

$$k_2(t \text{ } ^\circ\text{C}) = 0.436 \times e^{0.0238t}$$

$$k_2(t \text{ } ^\circ\text{C}) = k_2(20 \text{ } ^\circ\text{C}) \times 1.0238^{(t-20)}$$

เมื่ออุณหภูมิลดลง ค่า k_2 จะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราเรขาคณิต คือ 2.4% ต่อหนึ่ง

องศาเซนติเกรด

$$f = \frac{k_2}{k_1}$$

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่า f ลดลง ซึ่งแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั้น ค่า k_2 ลดลง และทำให้ค่า k_1 เพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น แต่อัตราการเติมออกซิเจนน้อยลง

Nemerow, N.L. (1974) ได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการคำนวณค่า k_2 ว่าวิธีการหรือสมการคณิตศาสตร์ของ Churchill, O' Connor หรือ Isaacs นั้น เหมาะสำหรับลำน้ำที่มีค่าของ DO deficit มากกว่า 25% ของค่าออกซิเจนละลายอิมิตัว สำหรับสมการของ Streeter & Phelps นั้นเหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีระดับค่าออกซิเจนละลายในน้ำต่ำเท่านั้น

แบบจำลองสำหรับคุณภาพน้ำ

Water Quality Model คือ แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายหรือมองชี้คุณภาพ หรือ เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของน้ำทิ้งที่มีต่อคุณภาพน้ำ เช่น ค่าออกซิเจนละลาย หรือความเข้มข้นของบีโอดีหรือมลสารอื่น ๆ ในลำน้ำ ว่าจะมีค่าหรือการเปลี่ยนแปลงอย่างไรหลังจากที่มีการทิ้งมลสารเหล่านี้ลงไปแหล่งน้ำ แบบจำลองดังกล่าวนี้ยังสามารถใช้ในการหาปริมาณที่มากที่สุดของมลสารต่าง ๆ ที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ โดยที่ไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการบำบัดน้ำเสียว่า ก่อนที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำนั้นควรมีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้นเล็กน้อยเพียงใด ทั้งนี้เนื่องจากแม่น้ำหรือแหล่งน้ำมีความสามารถในการปรับสภาพตัวให้กลับมีคุณภาพดีขึ้น (Self purification) อยู่แล้ว ถ้าแหล่งน้ำนั้นมีมลสารไม่มากเกินไปเกินความสามารถนี้ ดังนั้นถ้าบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ การคำนวณหาค่ามลสารหรือคุณภาพน้ำทิ้งที่เหมาะสมกับความสามารถในการปรับสภาพของแหล่งน้ำจึงนับว่ามีความสำคัญ เพราะจะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก

ชนิดของแบบจำลองสำหรับคุณภาพน้ำ

แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายคุณภาพน้ำที่กล่าวถึงนี้ มีอยู่มากมายหลายรูปแบบ แต่แบบจำลองที่ใช้มากจะเป็นแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในเทอมของมลสาร หรือความเข้มข้นของมลสารกับค่าของเวลาที่นับตั้งแต่มีการปล่อยมลสารลงสู่แหล่งน้ำนั้น และคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำก่อนที่จะมีการปล่อยมลสารดังกล่าวลงมา แบบจำลองสำหรับคุณภาพน้ำที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ได้สร้างขึ้นเพื่อใช้ติดตามความเคลื่อนไหวของมลสารตลอดลำน้ำทั้งที่เป็นแม่น้ำ ทะเลสาบ หรือแหล่งน้ำเปิดอื่น ๆ ความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองนี้จะขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของการตรวจวัดอัตราการปล่อยมลสารลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะต้องทราบทั้งตำแหน่งและอัตราการไหลของมลสารที่ลงสู่แหล่งน้ำนั้น ๆ ด้วย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ จะปรับปรุงมาจากสมการของ Streeter & Phelps (1925) ที่ใช้ในการทำนายค่า BOD และค่าออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งพบว่าอัตราการขาดแคลนออกซิเจน (D) ที่เวลาใด ๆ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำนั้น

$$dD/dt = 2.3 k_1 L - 2.3 k_2 D$$

- โดยที่ dD/dt = อัตราการขาดแคลนออกซิเจน
- $k_1 L$ = จำนวนออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูป BOD
- $k_2 D$ = จำนวนออกซิเจนที่ได้รับจากการละลายลงสู่แหล่งน้ำ
- k_1 = สัมประสิทธิ์การขาดแคลนออกซิเจนในแหล่งน้ำต่อวัน
- k_2 = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำต่อวัน
- L = ค่า ultimate BOD
- D = การขาดแคลนออกซิเจนซึ่งเป็นผลต่างระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำกับค่าออกซิเจนอิ่มตัว

Camp (1965) ได้นำสมการของ Phelps มาปรับปรุงเป็นสมการใหม่ เพื่อให้สามารถใช้อธิบายถึงการออกซิโคซ์ทางชีววิทยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำได้ด้วย

$$dD/dt = -2.3 (k_1 + k_3) L + P$$

- โดยที่ t = ระยะเวลาในการไหลของน้ำ, วัน
- k_3 = สัมประสิทธิ์การตกตะกอนของสารอินทรีย์ต่อวัน
- P = อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD ทั้งหมดจากท้องน้ำกับชั้น overlying, มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

ในกรณีที่ออกซิเจนละลายในน้ำได้มาจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำด้วยแล้ว อัตราการขาดแคลนออกซิเจนละลายในน้ำ ณ บริเวณท้ายน้ำเมื่อเวลา t ใด ๆ จะหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$dD/dt = 2.3 (-k_2 D - k_1 L) - a$$

โดยที่ a = ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ได้จากการสังเคราะห์แสง,
มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

ซึ่งถ้าเราไม่คำนึงถึงสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของสารอินทรีย์ (k_3), อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD ทั้งหมดจากชั้น overlying จนถึงพื้นท้องน้ำ (p) และปริมาณออกซิเจนละลายที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง (a) แล้ว นำสมการทั้งสามข้างต้นมาอินทิเกรตที่ระยะทาง a และ b ของลำน้ำ ก็จะได้สมการใหม่เป็น Oxygen Sag Curve ซึ่งเป็นสมการเดียวกันกับของ Streeter และ Phelps คือ

$$Dt = \frac{k_1}{k_2 - k_1} \times La (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + Da \times 10^{-k_2 t}$$

และเวลาที่ค่าออกซิเจนละลายในแม่น้ำมีค่าต่ำสุด (t_c) นั้น จะหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \times \log \frac{k_1}{k_2} \left(1 - \frac{Da \times (k_2 - k_1)}{k_1 La} \right)$$

Streeter & Phelps Equation นี้จักเป็นสมการที่แพร่หลายและถูกเลือกใช้ในการจัดการสุขาภิบาลลำน้ำ ในการทำนายหรือติดตามคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ทั้งนี้ เนื่องจาก เป็นสมการหรือแบบจำลองที่ยอมรับว่าใช้ได้ดีสมการหนึ่ง

หลังจากปี 1960 เป็นต้นมา ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคุณภาพน้ำ ให้ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และเพื่อให้ใช้ในการติดตามหรือประเมินลักษณะสมบัติตัวอื่น ๆ ของคุณภาพน้ำได้ด้วย นอกเหนือจาก BOD และค่าออกซิเจน ซึ่งในปี 1961 Dobbins ได้ศึกษาและพบว่าถ้าลำน้ำอยู่ในสภาวะที่คงที่ การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD (first order reaction) จะเกิดเนื่องจากการออกซิเดชันของแบคทีเรียการตกตะกอนลงสู่พื้นท้องน้ำ และการ adsorption ของแม่น้ำ ดังนั้นอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูป BOD ในแม่น้ำซึ่งวิเคราะห์ในรูปของ Oxygen Sag เป็นไปตามสมการที่เรียกว่า BOD Profile Dobbins คือ

$$DL \frac{d^2L}{dx^2} - U \frac{dL}{dx} - (k_1 + k_3) L + La = 0$$

DL = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวนอน (longitudinal dispersion) ตารางฟุต/วัน

x = ระยะทาง, ฟุต

U = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ, ฟุต/วินาที

k_3 = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูป BOD จากการตกตะกอนและการ adsorption ของแม่น้ำต่อวัน

La = ปริมาณสารอินทรีย์ในรูป BOD รวมทั้งหมด, มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

และสมการของออกซิเจนละลายในน้ำของ Dobbins ที่เรียกว่า Dissolved Oxygen Profile Dobbins นั้นเป็นดังนี้

$$DL \frac{d^2C}{dx^2} + k_2 (DO_2 - DO) - U \frac{dC}{dx} - k_1 L - Db = 0$$

โดยที่ Db = ปริมาณออกซิเจนละลายที่ถูกใช้ไปโดย benthic organism และพืชน้ำ, มิลลิกรัม/ลิตร/วัน

Frankel (1965) ได้ทำการศึกษาโดยการใช้คอมพิวเตอร์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และพบว่าวิธีการดังกล่าวนี้จะทำให้การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นในแม่น้ำ และการติดตามคุณภาพน้ำได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสมการที่เขาใช้เป็น Oxygen Sag Equation

$$Lb = \frac{k_1 + k_r}{k_2 - (k_1 + k_r + k_3)} \left[La(\xi) - \frac{P}{k_1 + k_r + k_3} \right]$$

$$\left[\frac{e^{-(k_1 + k_r + k_3)\xi}}{e^{-k_2 t}} - e^{-k_2 t} \right] + \frac{(k_1 + k_r)P \times (1 - e^{-k_2 t})}{k_2 (k_1 + k_r + k_3)}$$

$$\left[Da \times F \times (\xi) + DOs \left\{ L - F(\xi) \right\} \right] e^{-k_2 t}$$

- โดยที่ k_1 = สัมประสิทธิ์การใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์
ในท้องทดลอง, ต่อวัน
- k_2 = สัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ, ต่อวัน
- k_3 = สัมประสิทธิ์การตกตะกอนของสารอินทรีย์ลงสู่พื้นท้องน้ำ, ต่อวัน
- k_r = Biophysical extraction rate
- La = ultimate BOD ที่จุดคั่นน้ำ, มิลลิกรัม/ลิตร
- Lb = ultimate BOD ที่จุดท้ายน้ำ, มิลลิกรัม/ลิตร
- P = อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูป BOD ทั้งหมดจาก
บริเวณท้องน้ำกับชั้น overlying, ต่อวัน
- $F(\xi)$ = time dependent photosynthesis factor cyclic
ratio of the hourly level of DO in the stream/
ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลายในแต่ละวัน
- DOs = ค่าออกซิเจนละลายอิมิตัว, มิลลิกรัม/ลิตร
- ξ = เวลา, วัน (time of day)

Quall II เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่โดย Environmental Research Laboratory, Athens, Viessman (1985) ซึ่งได้จากการรวมเอาแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาและติดตามคุณภาพน้ำของแม่น้ำเกือบทุก ๆ วิธี เพื่อให้แบบจำลองใหม่นี้ใช้ได้กับลักษณะสมบัติของคุณภาพน้ำได้หลายค่า เช่น ค่าออกซิเจนละลาย; BOD; อุณหภูมิ; algae as chlorophyll a; แอมโมเนีย, ไนเตรท, ไนโตรท์ ไนโตรเจน; orthophosphate as P; Coliform; ซัลเฟต; คลอไรด์ และค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น แบบจำลองนี้ยังมีจุดเด่นที่สามารถใช้กับแหล่งน้ำที่เป็นแม่น้ำซึ่งมีสาขาหลาย ๆ สาขาได้ด้วย แบบจำลองที่กล่าวถึงมีสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(AxDL\partial C/\partial x)}{\partial x} dx - \frac{\partial(AxU\partial C)}{\partial x} dx + (Ax dx) \frac{dC}{dt} + S$$



- โดยที่ $M =$ มวล (M)
 $x =$ ระยะทาง (L)
 $t =$ เวลา (T)
 $C =$ ความเข้มข้นของมลสารที่ศึกษา (M/L^3)
 $Ax =$ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำในช่วงที่ทำการศึกษา (L^2/T)
 $U' =$ ความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำ (L/T)
 $S =$ แหล่งมลสารภายนอก หรือการจมลงของมลสาร (M/T)

ถ้าให้ $M = VC$ แล้ว ก็จะสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial(VC)}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial V}{\partial t}$$

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (Ax) และความยาวของแต่ละช่วงของลำน้ำที่ศึกษานั้น มีค่ามากขึ้น ก็จะทำให้ค่าปริมาตร (V) เพิ่มขึ้น และถ้าสมมติให้อัตราการไหลของลำน้ำค่อนข้างคงที่ ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อเวลาจึงเท่ากับศูนย์ ($\partial V / \partial t = 0$) ดังนั้น สมการจึงลดรูปลงเป็น

$$\frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t}$$

และเมื่อแทนค่า $\partial M / \partial t$ ด้วยค่า $V \partial C / \partial t$ ก็จะได้สมการของแบบจำลองที่สมบูรณ์ขึ้นคือ

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(AxDL\partial C/\partial v)}{Ax\partial x} - \frac{\partial(AxU\partial C)}{Ax\partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{S}{V}$$

ในเทอมทางขวามือนั้นจะแทนการกระจายของมลสาร การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสาร แหล่งมลสารภายนอก และการจมลงของมลสารที่ศึกษา การเจือจาง ส่วนเทอม dC/dt จะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่เป็นผลมาจากการหมดไป (decay) หรือการเกิดขึ้นใหม่ เช่น การเปลี่ยนแปลงการเติมออกซิเจน การตายของแบคทีเรีย (coliform die-off) และการหายใจของสาหร่ายหรือการสังเคราะห์แสง

สภาพปัจจุบันแม่น้ำปิง

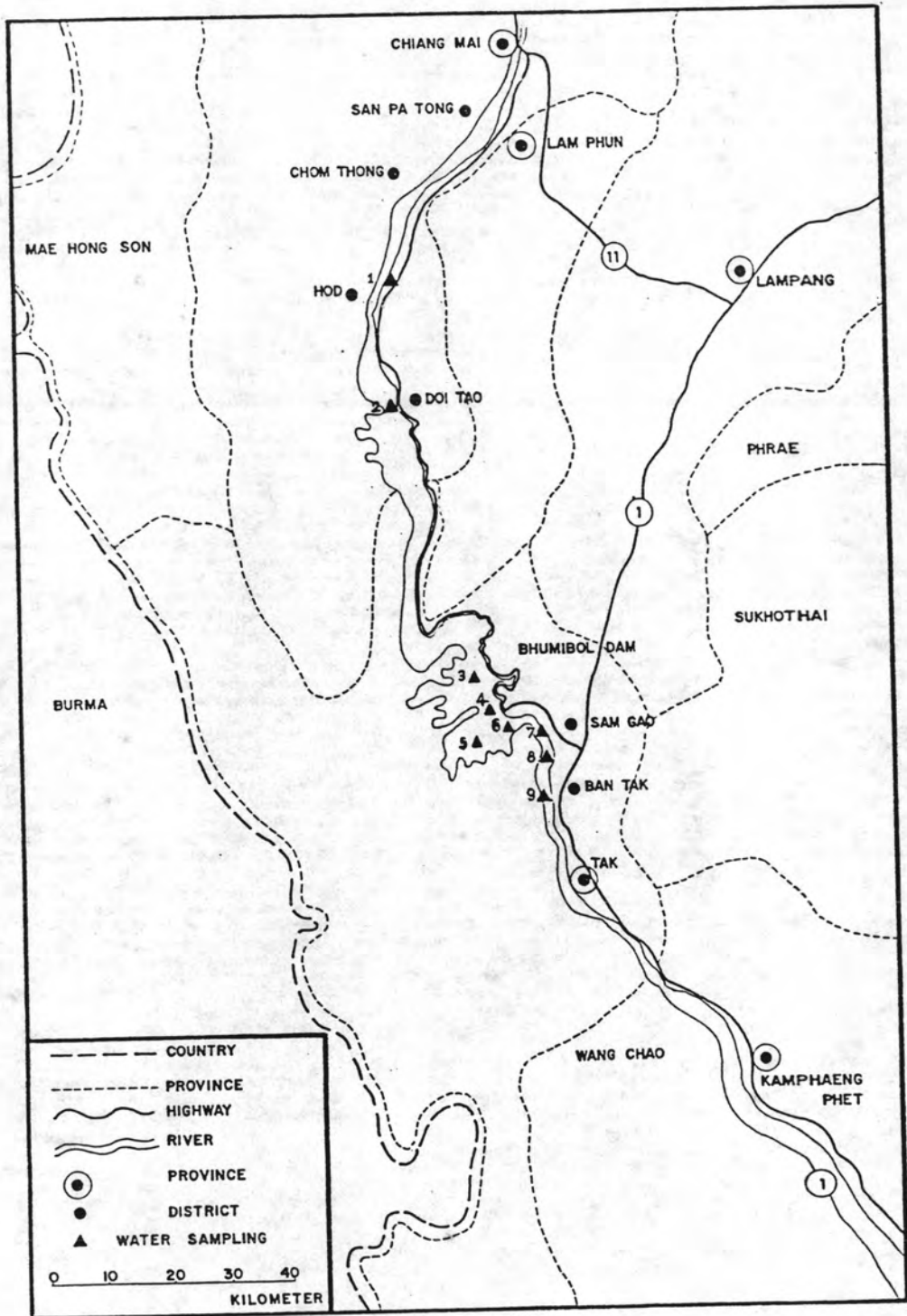
แม่น้ำปิง เป็นแม่น้ำที่มีสภาพและคุณภาพน้ำที่ค่อนข้างดี เนื่องจากตลอดความยาวของลำน้ำส่วนใหญ่จะผ่านป่าเขามากกว่าชุมชนและเมือง ทั้งนี้ลุ่มน้ำปิงมีการใช้ที่ดิน เป็นป่าไม้มาข้าว และพืชไร่ เท่านั้น ดังนั้นมลสารที่ลงสู่แม่น้ำปิงส่วนใหญ่ จึงได้จากการพังทลายของหน้าดินจากการไถนทำลายป่าและการเกษตรกรรม แต่อย่างไรก็ตามมีความเชื่อว่าอ่างเก็บน้ำและเขื่อนภูมิพล อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงเสื่อมโทรมลง ซึ่งอาจจะเกิดในบริเวณอ่างเก็บน้ำและบริเวณท้ายน้ำจากเขื่อนภูมิพล อันเนื่องจากการที่เขื่อนและอ่างเก็บน้ำทำให้เกิดการกักกั้นน้ำ ลดความเร็ว และเปลี่ยนทิศทางของกระแส น้ำ ตลอดจนเพิ่มเวลากักน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำหลายประการ ในด้านการลดความขุ่น การตกผลึกการตกตะกอนของโลหะหนัก การเกิดยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) การแบ่งชั้นน้ำ การเกิดก๊าซ H_2S การเกิดสาหร่าย และการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน

นับตั้งแต่เขื่อนภูมิพลเปิดดำเนินการเมื่อปี พ.ศ. 2507 เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 20 ปีที่ผ่านมา เขื่อนและอ่างเก็บน้ำภูมิพลได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงในด้านบวกหรือลบ มากน้อยเพียงใดนั้น ยังไม่มีข้อมูลที่ยืนยันได้อย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นเจ้าของโครงการเขื่อนภูมิพลจึงได้จัดให้มีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม หลังจากการสร้าง เขื่อนภูมิพล และได้เปิดดำเนินการมาเป็นเวลานานแล้ว เพื่อพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการศึกษาถึงคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงด้วย โดยมอบให้ ผศ. ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์ และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผู้วิจัยในด้านนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่มีผลจากการดำเนินงานของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำภูมิพล ทั้งผลดีและผลเสียที่อาจจะเกิดขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างน้ำไว้ 9 สถานี โดยให้ 2 สถานีอยู่ในแม่น้ำปิงเหนืออ่างเก็บน้ำภูมิพล อีก 4 สถานีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ และ 3 สถานีอยู่ในแม่น้ำปิงบริเวณท้ายน้ำ (ตารางที่ 2.1 แสดงตำแหน่งสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ) ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 2.1 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิง

| สถานีที่ | สถานที่ |
|----------|--|
| 1. | สะพานใกล้สถานีอุทกวิทยาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต อ. ฮอด จ. เชียงใหม่ |
| 2. | คอยเด้า |
| 3. | อ่างสมง (อ่างเก็บน้ำ 2) |
| 4. | ระหว่างอ่างสมงและอ่างบ้านนา |
| 5. | อ่างบ้านนา (อ่างเก็บน้ำ 1) |
| 6. | หน้าเขื่อนภูมิพล |
| 7. | สะพานท้ายเขื่อนภูมิพล |
| 8. | บ้านจัดสรร หมู่ที่ 4 อ. สามเงา จ. ตาก |
| 9. | สะพานอำเภอบ้านตาก อ. บ้านตาก จ. ตาก |



รูปที่ 2.7 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ

แปลงคุณภาพน้ำ เนื่องจากการดำเนินงานของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำภูมิพล โดยได้กำหนดระยะเวลาในการศึกษาทั้งสิ้น 12 เดือน (นับตั้งแต่เดือนเมษายน 2528 ถึงเดือนมีนาคม 2529) และทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์กับฤดูกาลและปริมาณน้ำในแม่น้ำปิงด้วย ผลจากการศึกษาพบว่า การเก็บกักน้ำของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำภูมิพลก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติบางประการของคุณภาพน้ำ และการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลหรือปริมาณน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเล็กน้อย ซึ่งมีลักษณะสมบัติบางประการของคุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลหรือปริมาณน้ำ โดยมีฤดูน้ำมากในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ฤดูน้ำน้อยคือเดือนมีนาคม สำหรับเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายนเป็นฤดูน้ำปานกลาง และมีลักษณะสมบัติที่สำคัญของคุณภาพน้ำดังนี้

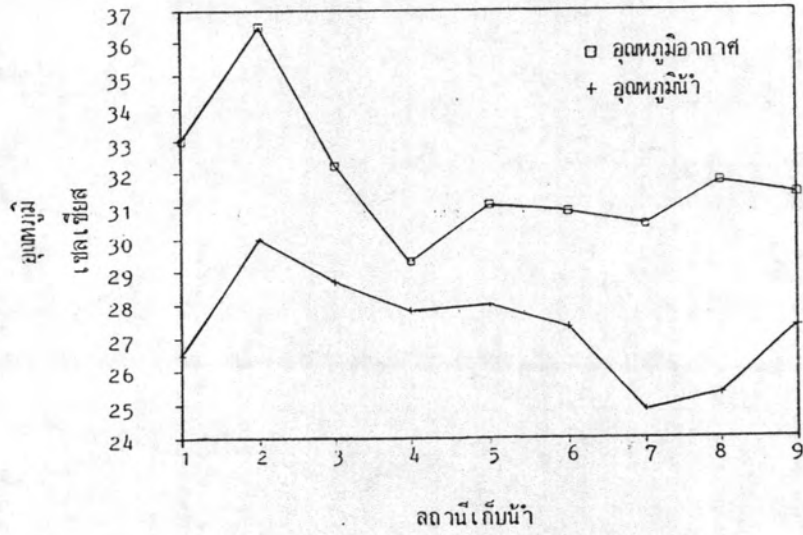
1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำมีความสำคัญต่อการละลายออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูง ออกซิเจนในบรรยากาศก็จะละลายลงสู่แหล่งน้ำได้น้อย ในขณะที่มีอุณหภูมิน้ำสูงก็จะทำให้ค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีอุณหภูมิสูงจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ และมีการใช้ออกซิเจนจำนวนมาก สำหรับอุณหภูมิของอากาศนั้น จะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ กล่าวคือ ในขณะที่มีอุณหภูมิของอากาศสูงก็จะมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงตามไปด้วย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า ทั้งในฤดูน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมากมีอุณหภูมิของอากาศสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำ และแต่ละสถานีจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยที่อุณหภูมิทั้งสองผันแปรไปตามช่วงเวลาและอุณหภูมิน้ำผันแปรไปตามอุณหภูมิอากาศ แต่อย่างไรก็ตาม ในอ่างเก็บน้ำจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณต้นน้ำและบริเวณท้ายน้ำ ทั้งนี้อุณหภูมิน้ำทั้ง 9 สถานีอยู่ในช่วงระหว่าง 24.8 ถึง 31 °C รูปที่ 2.8 2.9 และ 2.10 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของน้ำที่สถานีต่าง ๆ ทั้งในฤดูน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมาก ตามลำดับ

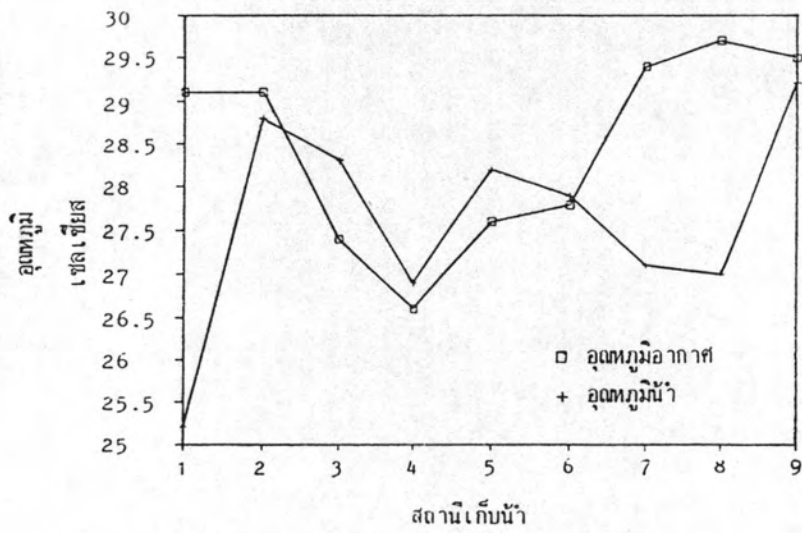
2. ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

ออกซิเจนละลายในน้ำเป็นลักษณะสมบัติที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพน้ำ เป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงความสามารถในการรับความสกปรก (BOD loading) ของแม่น้ำ จากการตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในแม่น้ำปิงพบว่า ในฤดูน้ำน้อยนั้นค่าออกซิเจนละลายที่ได้อยู่ในเกณฑ์สูงใกล้

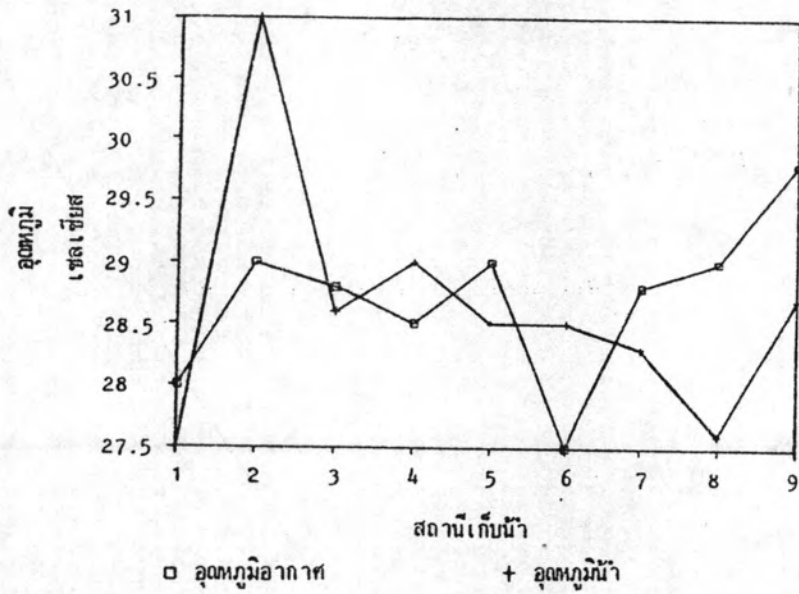
รูปที่ 2.8 อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิน้ำที่สถานีต่าง ๆ ในฤดูน้ำน้อย



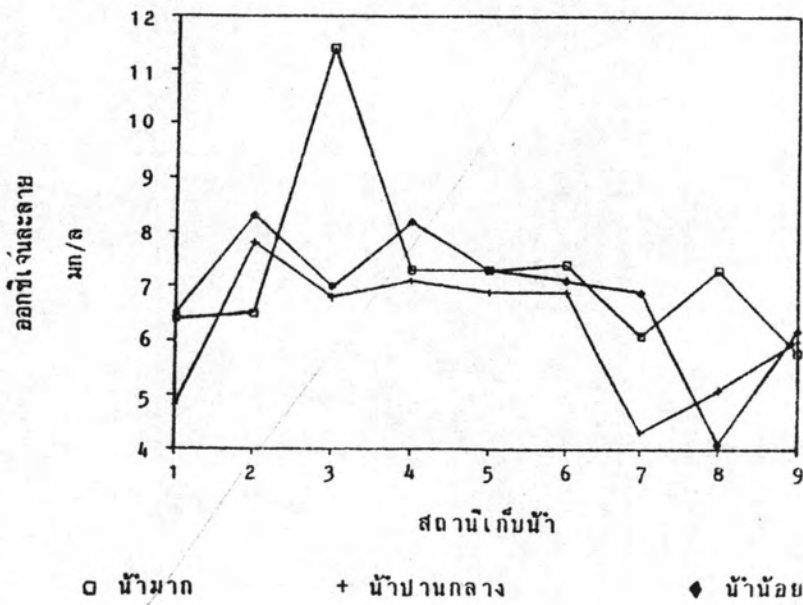
รูปที่ 2.9 อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิน้ำที่สถานีต่าง ๆ ในฤดูน้ำปานกลาง



รูปที่ 2.10 อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิน้ำที่สถานีต่าง ๆ ในฤดูน้ำมาก



รูปที่ 2.11 ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำของสถานีต่าง ๆ



เคียงกับฤดูน้ำมาก ส่วนฤดูน้ำปานกลางนั้นโดยเฉลี่ยแล้วค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าในฤดูน้ำมากและในฤดูน้ำน้อย โดยแต่ละช่วงฤดูกาลหรือปริมาณน้ำนั้นค่าออกซิเจนละลายของแต่ละสถานีจะผันแปรต่างกันบ้าง โดยที่ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายบริเวณผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่าสูงกว่าทั้งในสถานีต้นน้ำและสถานีท้ายน้ำ ทั้งนี้เป็นผลจากการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ การเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ และบริเวณอ่างเก็บน้ำก็มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำด้วย ซึ่งทำให้ค่าออกซิเจนละลายมีค่าสูงกว่า 6.0 มิลลิกรัม/ลิตร รูปที่ 2.11 แสดงค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายที่ผิวน้ำของสถานีต่าง ๆ ในฤดูน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมาก

3. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดีเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความสกปรกของแหล่งน้ำ แหล่งน้ำใดมีค่าบีโอดีสูง ย่อมแสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์สูง นั่นคือแหล่งน้ำนั้นมีความสกปรกมาก ค่าบีโอดีจะมีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนละลายในน้ำ กล่าวคือ ถ้าแหล่งน้ำใดมีค่าบีโอดีสูงก็จะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำทำให้มีการใช้ออกซิเจนในน้ำนั้น ค่าออกซิเจนละลายในน้ำจึงลดลงผลการวิเคราะห์ค่าบีโอดีที่ผันแปรตามฤดูกาลพบว่า ในฤดูน้ำน้อยค่าบีโอดีของสถานีต่าง ๆ โดยเฉลี่ยแล้วสูงกว่าค่าบีโอดีของฤดูน้ำปานกลาง แต่จะต่ำกว่าฤดูน้ำมาก สำหรับฤดูน้ำปานกลางนั้นที่สถานีต้นน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำ ค่าบีโอดีจะสูงกว่าในฤดูน้ำมากและฤดูน้ำน้อย แต่ที่สถานีในอ่างเก็บน้ำและสถานีท้ายน้ำ ค่าบีโอดีโดยเฉลี่ยจะต่ำกว่าฤดูน้ำน้อยและฤดูน้ำมาก ในฤดูน้ำมากนั้นค่าบีโอดีโดยเฉลี่ยจะสูงกว่าในฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลาง และพบว่าทุก ๆ ฤดูกาล ค่าบีโอดีในอ่างเก็บน้ำจะต่ำกว่าบริเวณต้นน้ำและบริเวณท้ายน้ำ ซึ่งเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บกักน้ำไว้เป็นเวลานาน และปฏิกิริยาทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำซึ่งมีมากกว่าในบริเวณต้นน้ำและบริเวณท้ายน้ำ จึงส่งผลให้สารอินทรีย์ในอ่างเก็บน้ำลดลง ทั้งนี้แหล่งที่ปล่อยมลสารที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ในอ่างเก็บน้ำก็แตกต่างกันกับบริเวณต้นน้ำและท้ายน้ำด้วย รูปที่ 2.12 แสดงค่าบีโอดีที่สถานีต่าง ๆ ในฤดูน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมาก

4. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ซีโอดีเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสกปรกของแหล่งน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี โดยปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีค่าซีโอดีสูงกว่าค่าบีโอดี เพราะค่าซีโอดีบ่งบอกถึงความสกปรกทั้งที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ และจากการวิเคราะห์พบว่า ในฤดูน้ำน้อยค่าซีโอดีโดยเฉลี่ยจะ

สูงกว่าฤดูน้ำมากและน้ำปานกลาง ในฤดูน้ำปานกลางนั้นค่าซีไอดีโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าฤดูน้ำมากแต่ต่ำกว่าฤดูน้ำน้อย และสำหรับฤดูน้ำมากนั้นโดยเฉลี่ยค่าซีไอดีของสถานีต่าง ๆ จะต่ำกว่าฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลาง แต่ที่สถานีต้นน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำ (สถานีที่ 1) มีค่าซีไอดีสูงมากที่สุดคือ 63.7 มิลลิกรัม/ลิตร รูปที่ 2.13 แสดงค่าซีไอดีที่สถานีต่าง ๆ

5. ของแข็งและสารแขวนลอย (Total Solids & Suspended Solids; TS, SS)

ของแข็งและสารแขวนลอยในแม่น้ำทั้งฤดูน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมากนั้น จะมีลักษณะที่คล้าย ๆ กันคือ ที่ต้นน้ำเหนืออ่างเก็บน้ำสถานีแรก ค่าของแข็งและสารแขวนลอยที่วัดได้มีค่าสูงและจะสูงมากโดยเฉพาะในฤดูน้ำมาก สำหรับสถานีที่สอง สถานีในอ่างเก็บน้ำและสถานีท้ายน้ำ ค่าของแข็งและสารแขวนลอยจะลดต่ำลงมามากและทุก ๆ สถานี โดยจะมีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทั้งในฤดูน้ำน้อย น้ำมาก และน้ำปานกลาง การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของของแข็งและสารแขวนลอยนี้ เป็นผลจากการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำเป็นเวลานาน จึงเป็นผลให้ของแข็งและสารแขวนลอยต่าง ๆ ตกตะกอนลงสู่เบื้องล่าง รูปที่ 2.14 และ 2.15 แสดงค่าของของแข็งและสารแขวนลอย

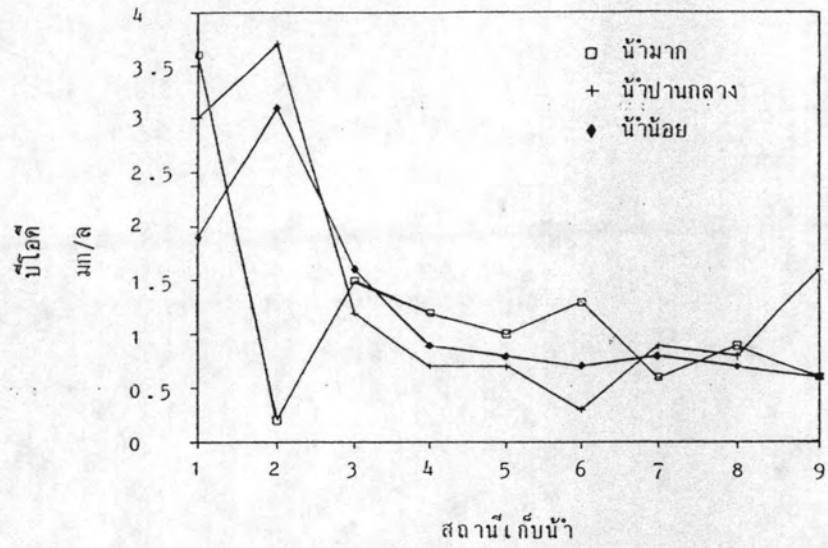
6. ของแข็งละลาย (Total Dissolved Solids, TDS)

การวิเคราะห์ค่าของแข็งละลายพบว่า ในฤดูน้ำมากค่าของแข็งละลายจะสูงกว่าฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลาง โดยที่ค่าของแข็งละลายในฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลางจะมีค่าใกล้เคียงกันมากสำหรับทุก ๆ สถานี ค่าของแข็งละลายของคุณภาพน้ำแม่น้ำปิงได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16

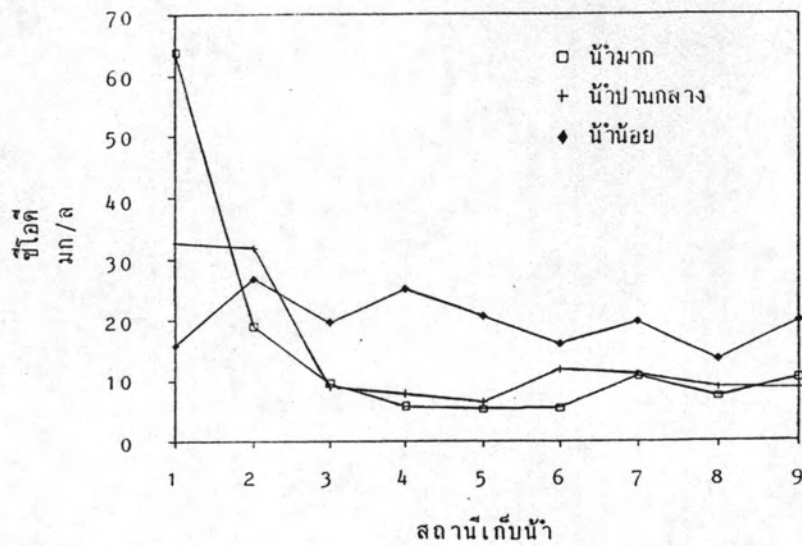
7. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่า pH เป็นเทอมที่ใช้บ่งบอกสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และเป็นลักษณะสมบัติที่สำคัญของคุณภาพน้ำ มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำจืดที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้กำหนดระดับค่าความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ทุก ๆ ประเภทให้มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6-8 ซึ่งค่า pH จะผันแปรไปตามขบวนการทางเคมีหรือชีววิทยาที่เกิดขึ้นในน้ำ รูปที่ 2.17 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจะเห็นว่าทั้งในฤดูน้ำน้อย น้ำมาก และน้ำปานกลาง ที่สถานีต้นน้ำค่า pH จะอยู่ในช่วงมาตรฐานคุณภาพน้ำ แต่ในบริเวณอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 สถานี ค่า pH จะสูงกว่ามาตรฐาน คือ มีค่าตั้งแต่ 8.27 ถึง

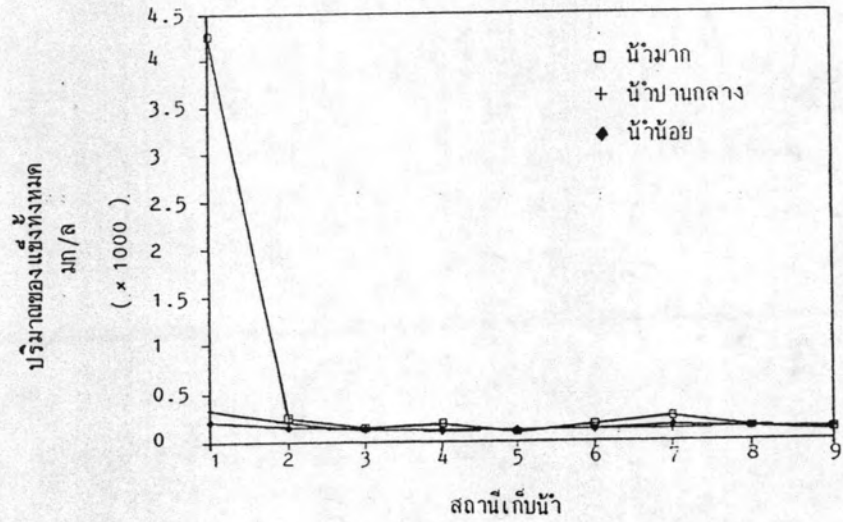
รูปที่ 2.12 ค่าบีโอดีที่สถานีต่าง ๆ



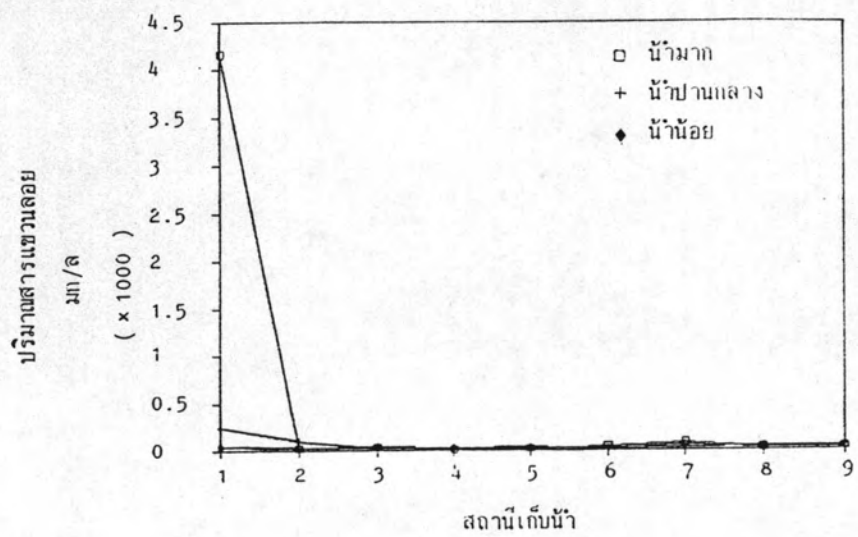
รูปที่ 2.13 ค่าซีโอดีที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.14 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่สถานีต่าง ๆ

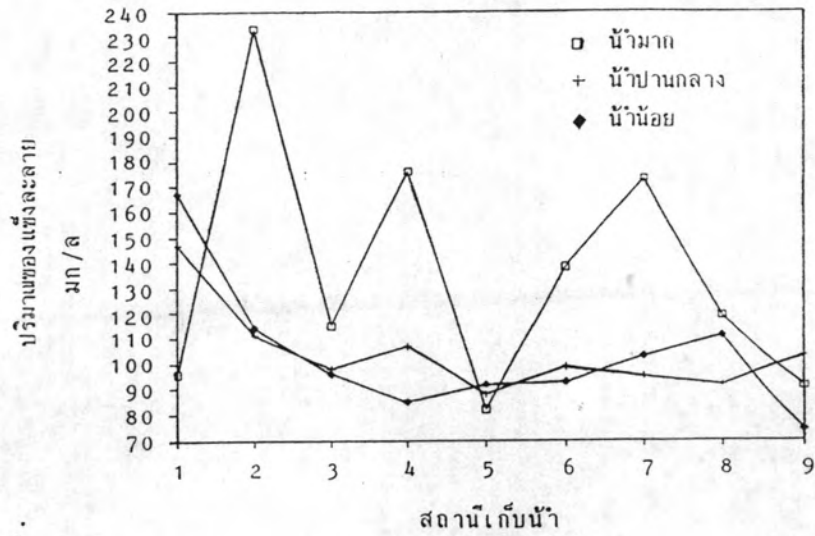


รูปที่ 2.15 ปริมาณสารแขวนลอยที่สถานีต่าง ๆ

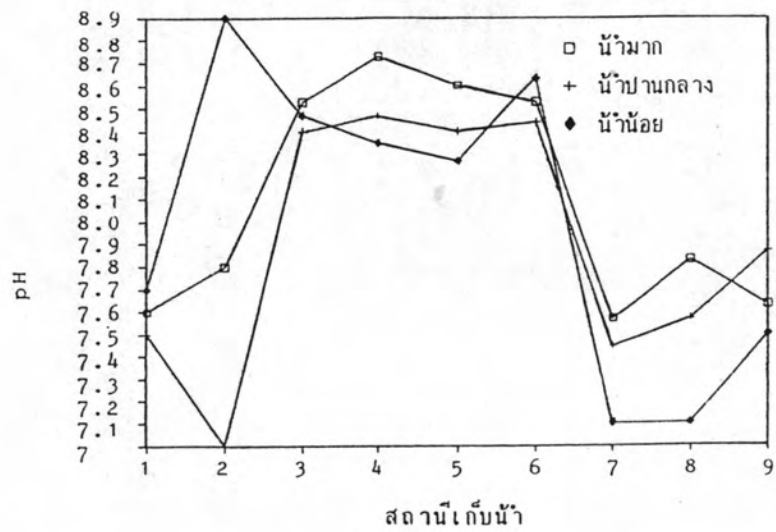




รูปที่ 2.16 ปริมาณของแข็งละลายที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.17 ค่าความเป็นกรด - ค่าง ของน้ำที่สถานีต่าง ๆ



8.73 และที่สถานีท้ายน้ำได้เชื่อมภูมิพล ค่า pH จะลดต่ำลงมาสู่ระดับมาตรฐานอีกครั้งหนึ่ง เหตุที่ค่า pH ของน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงนั้น เนื่องจากขบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและพืชน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ และการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์นี้เองที่ทำให้ระดับ pH ในอ่างเก็บน้ำสูงขึ้น

8. ฟอสฟอรัส (Total Phosphorus)

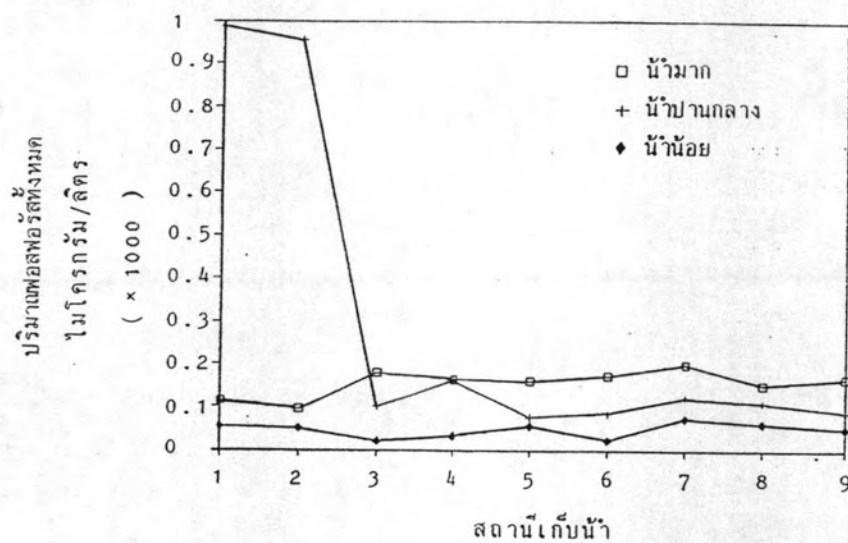
ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำเกิดจากการทิ้งน้ำจากชุมชนที่มีการใช้ผงซักฟอกและสารซักล้างต่าง ๆ หรือเกิดจากการชะล้างปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรกรรม แหล่งน้ำใดมีปริมาณฟอสฟอรัสมากก็จะเกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็ว และในกรณีที่เป็นทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำแล้วก็จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Eutrophication ซึ่งจะทำให้สาหร่ายหรือพืชน้ำในอ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบเกิดการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว และก่อให้เกิดปัญหาต่อการใช้น้ำจากแหล่งน้ำนั้นเป็นอย่างมาก อาจทำให้น้ำเน่าเสียจากการตายลงของสาหร่าย พืชน้ำ และสัตว์น้ำที่เจริญเติบโตอย่างไม่มีสมดุลย์ และถ้าแหล่งน้ำนั้นเป็นอ่างเก็บน้ำและเขื่อนแล้วก็จะก่อให้เกิดปัญหาในการปล่อยน้ำของเขื่อน เนื่องจากการอุดตันของสาหร่ายและพืชน้ำ และปัญหาการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำได้

ผลจากการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่า ในฤดูน้ำมากนั้นปริมาณฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยของสถานีต่าง ๆ จะมีค่าสูงมากกว่าฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากมี surface runoff จำนวนมากไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ และฤดูน้ำน้อยปริมาณฟอสฟอรัสของสถานีต่าง ๆ โดยเฉลี่ยจะมีค่าต่ำ และในช่วงที่มีปริมาณน้ำปานกลางปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าสูงมากที่สุดสถานีที่ 1 และสถานีที่ 2 อันเป็นสถานีต้นน้ำ แล้วปริมาณฟอสฟอรัสจะลดลงเมื่อเข้าสู่บริเวณอ่างเก็บน้ำ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงระหว่าง 19-988 ไมโครกรัม/ลิตร ซึ่งจากการพิจารณาค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในอ่างเก็บน้ำชี้ให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่อาจจะเกิด Eutrophication ขึ้นได้ รูปที่ 2.18 แสดงค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของสถานีต่าง ๆ

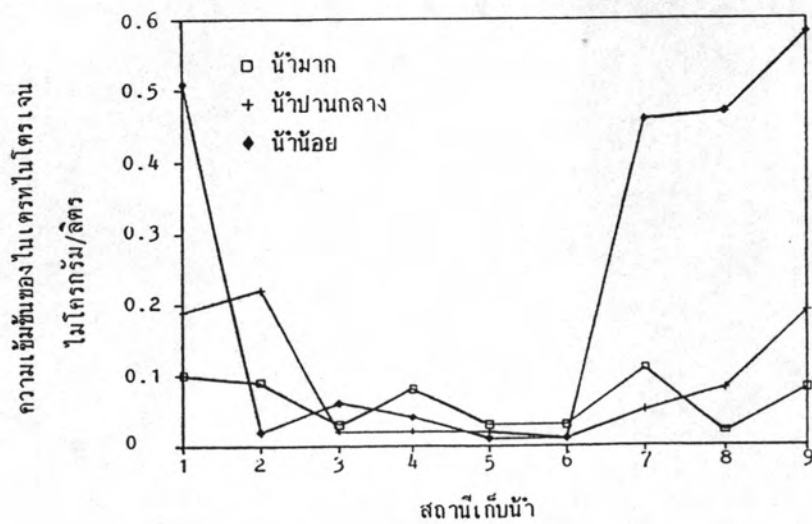
9. ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^- -N)

มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำจืด กำหนดให้แหล่งน้ำจืดมีความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนได้ไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับแหล่งน้ำใช้เพื่ออุปโภคและบริโภค

รูปที่ 2.18 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.19 ความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนในน้ำที่สถานีต่าง ๆ



เพื่อการประมง การพักผ่อนหย่อนใจ และการเกษตร รูปที่ 2.19 แสดงผลการวิเคราะห์ ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนพบว่า ฤดูน้ำมากจะมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนโดยเฉลี่ยสูงกว่าฤดูน้ำน้อยและน้ำปานกลาง โดยจะมีค่าสูงมากที่สถานีต้นน้ำและสถานีท้ายน้ำ และพบว่าทั้งในฤดูน้ำมาก น้ำน้อย และน้ำปานกลาง ที่บริเวณสถานีต้นน้ำและสถานีท้ายน้ำปริมาณไนเตรทไนโตรเจนจะมีค่าสูงกว่าในอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 สถานี ทั้งนี้เป็นสาเหตุจากขบวนการทางชีววิทยาของพืชน้ำ เช่น สาหร่าย ซึ่งในการเจริญเติบโตจะมีการใช้ไนเตรทเพื่อเปลี่ยนเป็นโปรตีนพืช หรืออาจเป็นสาเหตุจากการใช้ไนเตรทของจุลชีพที่อยู่ในส่วนลึกลงไปของอ่างเก็บน้ำในบริเวณนี้จะไม่มีการใช้ออกซิเจน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเหล่านี้จึงต้องใช้ไนเตรทเป็นแหล่งออกซิเจนในขบวนการต่าง ๆ เพื่อการดำรงชีพ แล้วปล่อยก๊าซไนโตรเจนสู่มิวน้ำและบรรยากาศ

10. ซัลเฟต (Total Sulfate)

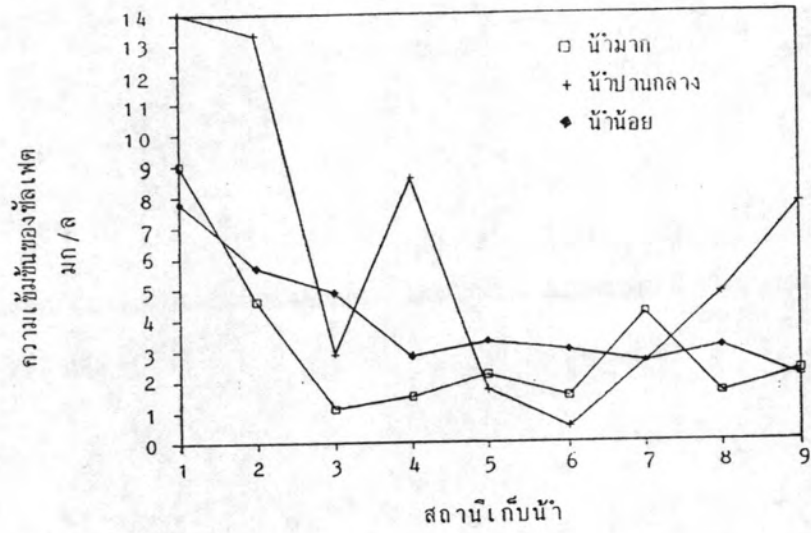
ในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ซัลเฟตเป็น anions ที่สำคัญตัวหนึ่งในน้ำผิวดิน โดยปกติจะแสดงออกในรูปของ organo-sulfate ในช่วงแรกของการกักเก็บน้ำหลังจากการสร้าง เขื่อน เสร็จซัลเฟต เป็นตัวการที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นในอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากเกิดขบวนการทางชีววิทยาที่มีการใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งออกซิเจนในขณะที่ในน้ำขาดออกซิเจน แล้วเกิดเป็น sulfide ions เมื่อรวมตัวกับ hydrogen ions แล้วก็จะเกิดเป็น hydrogensulfide ซึ่งมีกลิ่นเหม็น

ผลจากการวิเคราะห์ซัลเฟตพบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำคืออยู่ในช่วง 2.1-15.0 มิลลิกรัม/ลิตร และความเข้มข้นของซัลเฟตในอ่างเก็บน้ำจะมีค่าต่ำกว่าที่สถานีต้นน้ำและสถานีท้ายน้ำ รูปที่ 2.20 แสดงค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำ ณ สถานีต่าง ๆ

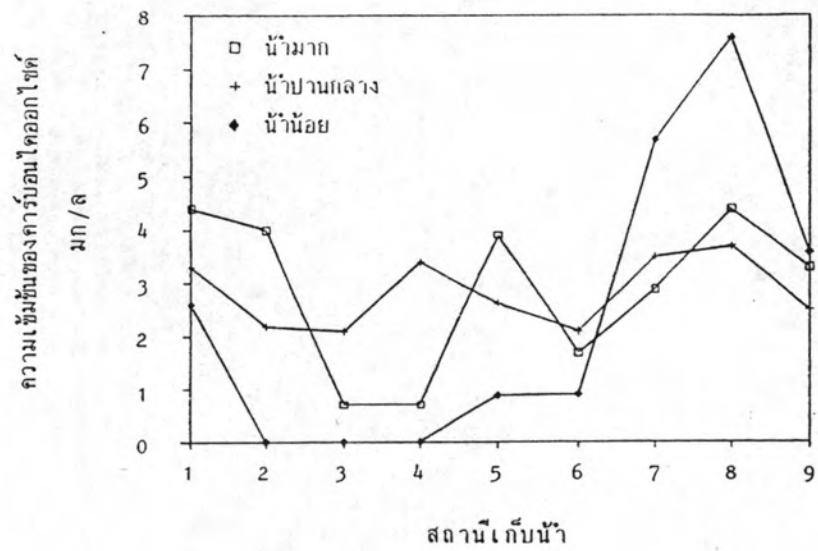
11. คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ (Carbondioxide: CO₂)

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำของสถานีในอ่างเก็บน้ำมีค่าต่ำกว่าที่สถานีในบริเวณต้นน้ำและบริเวณท้ายน้ำอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ กล่าวคือ สาหร่ายและพืชน้ำอื่น ๆ ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการสังเคราะห์แสงและให้ก๊าซออกซิเจนแก่มิวน้ำ ในบริเวณท้ายน้ำได้ เชื้อราภูมิผลความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการใช้ออกซิเจนในขบวนการสังเคราะห์

รูปที่ 2.20 ความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.21 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำที่สถานีต่าง ๆ

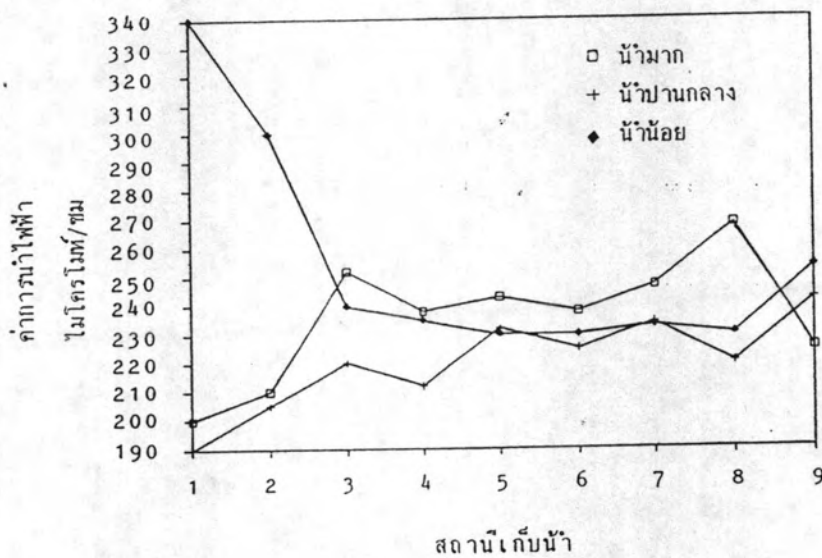


แสงของสาหร่ายและพืชน้ำน้อยลง รูปที่ 2.21 แสดงค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์
 ในน้ำ ณ สถานีต่าง ๆ

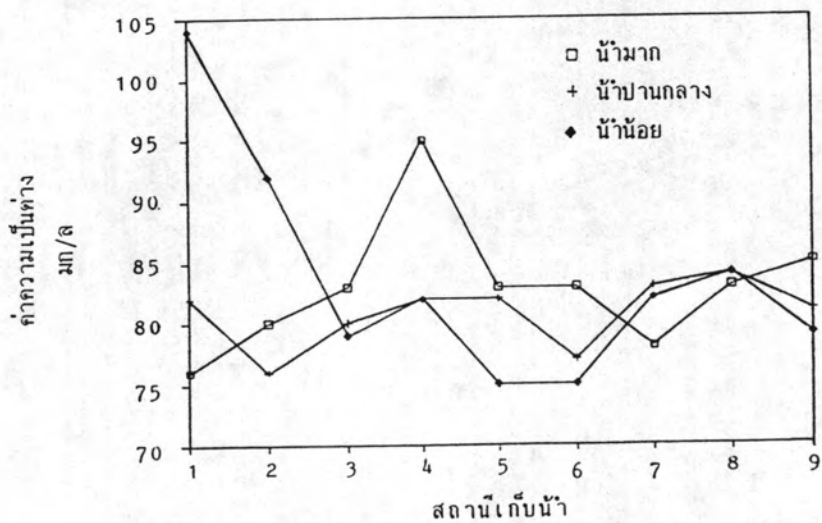
สำหรับลักษณะสมบัติอื่น ๆ ของคุณภาพน้ำแม่น้ำปิงที่ได้วิเคราะห์ไว้ อันได้แก่ ค่าการ
 นำไฟฟ้า (Conductivity) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ปริมาณความเข้มข้นของ
 คลอไรด์ ความกระด้างของน้ำ (Hardness) และความสามารถในการส่องผ่านของแสง
 (Transparency) ในอ่างเก็บน้ำได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.22, 2.23, 2.24, 2.25 และ
 2.26 ตามลำดับ

จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่า การดำเนินงานของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำภูมิพล
 มีผลต่อคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงท้ายน้ำได้เขื่อนภูมิพล ทั้งนี้เนื่องจากการแบ่ง
 ชั้นน้ำ (Thermal Stratification) ในอ่างเก็บน้ำ ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าสูงสุด
 ในชั้นของ epilimnion และเกิดการตกผลึกและตกตะกอนของโลหะหนักในชั้น epilimnion
 ลงมาสู่ชั้นน้ำ Thermocline และชั้น hypolimnion และเขื่อนมีการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ
 ในบริเวณที่เป็นชั้นน้ำของ epilimnion จึงทำให้บริเวณท้ายน้ำได้รับน้ำที่มีคุณภาพดี โดยมี
 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ เกิดการลดความขุ่นในช่วงการเก็บกักน้ำ จึงทำให้มี
 ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของพืชเพิ่มขึ้น และเป็นการเพิ่มผลผลิตในอ่างเก็บน้ำ ซึ่ง
 นับว่าเป็นผลต่อคุณภาพน้ำบริเวณท้ายน้ำเป็นอย่างมาก และการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเป็นไป
 อย่างนี้ตลอดไปแล้ว ย่อมจะเป็นผลต่อคุณภาพน้ำในบริเวณท้ายน้ำ แล้วยังเป็นการเพิ่ม
 ประสิทธิภาพในการบำบัดมลสารที่อาจปล่อยลงสู่บริเวณท้ายน้ำจากกิจกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น
 จากการเกษตรกรรม ที่อยู่อาศัย ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม

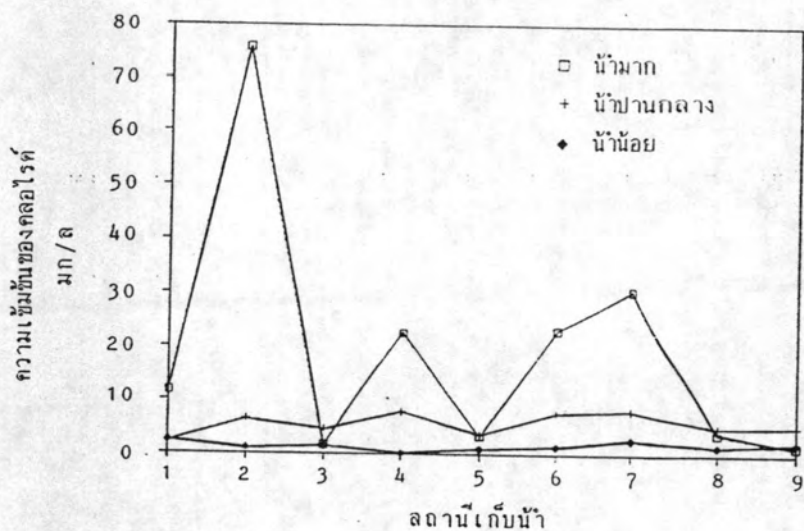
รูปที่ 2.22 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่สถานีต่าง ๆ



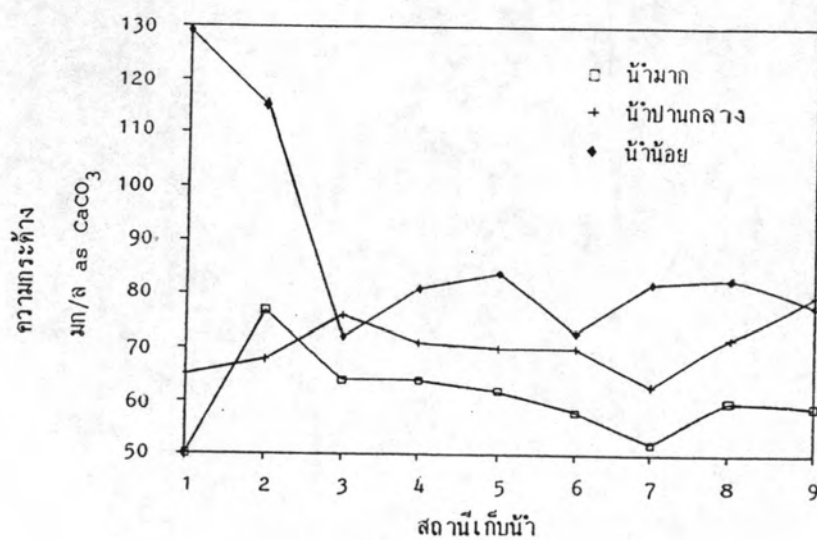
รูปที่ 2.23 ความเป็นด่างของน้ำที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.24 ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.25 ความกระด้างของน้ำที่สถานีต่าง ๆ



รูปที่ 2.26 ความสามารถในการส่องผ่านของแสงในอ่างเก็บน้ำ

