

การทดลองที่ 15

การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์
2. เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

หลักการ

ออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) คือปริมาณของออกซิเจนที่ละลายหรือละลายลงในน้ำ ปริมาณ DO จะถูกวัดเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือส่วนต่อล้าน (ppm) เป็นขั้นตอนสำคัญในการควบคุมและดูแลคุณภาพของน้ำที่มีผลกับอุตสาหกรรม การเกษตร และสิ่งแวดล้อม การวัดปริมาณ DO นี้เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความเหมาะสมของน้ำสำหรับแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำและคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่สมบูรณ์ของระบบน้ำในพื้นที่นั้น [1]

ปริมาณ DO ในน้ำจะแปรผกผันตามอุณหภูมิและความเข้มข้นของแร่ธาตุในน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงและความเข้มข้นของแร่ธาตุที่สูงอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำละลายลดลง ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของน้ำลดลงและสามารถเกิดน้ำเน่าเสียได้ ปริมาณ DO ในน้ำธรรมชาติมักมีความแปรปรวนอยู่ในช่วงระดับต่ำถึงปานกลาง ซึ่งอยู่ในระดับประมาณ 5 - 14 mg/L หรือประมาณ 5,000 - 14,000 µg/L ซึ่งเป็นส่วนน้อยของปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำทะเลหรือน้ำเค็ม

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) มีค่าต่างกันตามสถานที่และความต้องการของสิ่งมีชีวิต รวมถึงการใช้น้ำในแต่ละสาขาอุตสาหกรรม ดังนั้นการแบ่งประเภทปริมาณ DO ในน้ำมีดังนี้ [2]

- 1) ปริมาณออกซิเจนในน้ำธรรมชาติ
 - น้ำที่มีคุณภาพดีมักมีปริมาณ DO ระดับ 5 - 8 mg/L หรือมากกว่านี้
 - น้ำเสียมักมีปริมาณ DO ต่ำกว่า 3 mg/L
- 2) ปริมาณออกซิเจนในน้ำสำหรับสัตว์น้ำ
 - DO ต่ำกว่า 4 mg/L: ปลาไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
 - DO 4 - 6 mg/L: ปลาจำนวนมากสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
 - DO 6.5 - 9.5 mg/L: ปลาตัวใหญ่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่ปลาตัวเล็กๆ อาจทำให้มีข้อจำกัดในการดำรงชีวิต
 - DO 9.5 - 12 mg/L: ปลาทุกขนาดสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้
- 3) ปริมาณออกซิเจนในน้ำสำหรับอุตสาหกรรมหรือเกษตรกรรม
 - มาตรฐานน้ำดื่ม: DO ระดับ 8 - 9 mg/L (คุณภาพน้ำดี ใช้สำหรับการอุปโภคบริโภค)
 - DO 6.7 - 8 mg/L: คุณภาพน้ำเริ่มมีการปนเปื้อน ใช้ในการอุปโภค
 - DO 4.5 - 6.7 mg/L: คุณภาพน้ำปนเปื้อนปานกลาง ใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม

- DO ต่ำกว่า 4.5 mg/L: คุณภาพน้ำมีการปนเปื้อนมาก พืชและสัตว์น้ำเริ่มได้รับความเสี่ยง ใช้ประโยชน์ได้น้อย
- DO ต่ำกว่า 4 mg/L: คุณภาพน้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ พืชและสัตว์น้ำเริ่มได้รับความเสี่ยง ใช้ประโยชน์ได้น้อย
- DO ต่ำกว่า 2 mg/L: คุณภาพน้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ พืชและสัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ใช้ประโยชน์ไม่ได้

การวิเคราะห์ปริมาณ DO สามารถทำได้ผ่านหลายวิธี เช่น การใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า ดีโอมิเตอร์ (DO Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้โดยตรง (หน่วยเป็น mg/L) หรือผ่านวิธีทางเคมี เช่น วิธีไอโอดิเมตรี (Iodometry) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการวัดปริมาณ DO ในน้ำโดยใช้สารเคมีสำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสีของสารทดสอบเมื่อมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ วิธีนี้ช่วยให้สามารถตรวจสอบปริมาณออกซิเจนในน้ำได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ เพื่อการควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล [3]

ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้วิธีไอโอดิเมตรี (Iodometry) เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ วิธีนี้ใช้กระบวนการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction) โดยใช้สารที่สนใจที่มีความแรงพอที่จะทำปฏิกิริยากับไอโอดด์ (Iodide; I⁻) ที่มีมากเกินพอในสภาวะกรด แล้วเปลี่ยนเป็นไอโอดีน (Iodine; I₂) จากนั้นจึงทำการไทเทรตเพื่อหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น

กระบวนการวิธีไอโอดิเมตรีมีขั้นตอนหลักดังนี้ [4]

- 1) เตรียมตัวอย่างน้ำที่ต้องการตรวจวัดปริมาณ DO โดยให้ตัวอย่างน้ำอยู่ในสภาวะกรด โดยใช้กรด (Acid) เช่น กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) เพื่อปรับสภาพน้ำให้เป็นกรด เป็นต้น
- 2) เตรียมสารที่จะใช้ในกระบวนการ คือสารไอโอดด์ (Iodide) และสารที่ใช้ในการไทเทรต (Titration) เช่น สารที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน (Iodine) ที่ทราบล่วงหน้า อย่างโซเดียมไฮโอซัลเฟต (Na₂S₂O₃)
- 3) นำตัวอย่างน้ำที่ต้องการตรวจวัดมาใส่ในภาชนะที่เหมาะสมและเติมสารไอโอดด์ (Iodide) เพื่อเริ่มกระบวนการ โดยการนำไอโอดด์มาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ จะทำให้ไอโอดีน (Iodine) กลายเป็นสีน้ำเงิน
- 4) หลังจากนั้นใช้สารไอโอดีนที่มีความเข้มข้นที่ทราบล่วงหน้าในการไทเทรต เมื่อสารไอโอดีนที่มีความเข้มข้นทำปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำ จะเริ่มเปลี่ยนสีของน้ำจากสีน้ำเงินไปสู่สีอ่อนลง และเมื่อไอโอดีนใช้หมดก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง
- 5) การไทเทรตจะสิ้นสุดเมื่อสารไอโอดีนที่มีความเข้มข้นทำปฏิกิริยากับตัวอย่างน้ำสมบูรณ์ และจดบันทึกปริมาณที่ใช้ในกระบวนการไทเทรต
- 6) จากปริมาณที่ใช้ในกระบวนการไทเทรต สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้จากสมการที่ 15.1

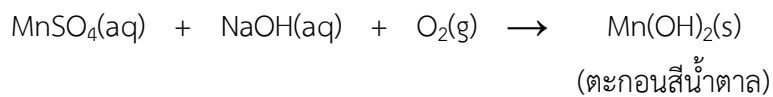
$$\text{ปริมาณ } O_2 \text{ ที่ละลายในน้ำ (mg/L)} = \frac{M \times V}{V_{\text{sample}}} \times 8000 \quad (15.1)$$

เมื่อ M คือความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต (M)

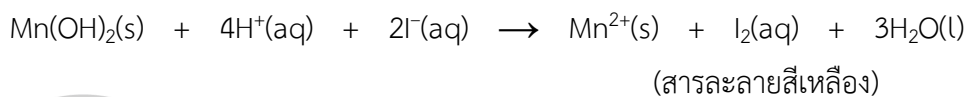
V คือปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

V_{sample} คือปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการไทเทรต (mL)

การทดลองจิงอาศัยปฏิกิริยาเคมีจากการเติมแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) และอัลคาไลด์ไอโอไดด์เอไซด์ (Alkaline-iodide-azide) ไปทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แล้วรวมตัวเป็นตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีสไฮดรอกไซด์ ($Mn(OH)_2$) ดังปฏิกิริยา



ตะกอนของ $Mn(OH)_2$ จะละลาย เมื่อเติมกรดซัลฟิวริกและเกิดสารละลายสีเหลืองของไอโอดีน (I_2) ดังปฏิกิริยา



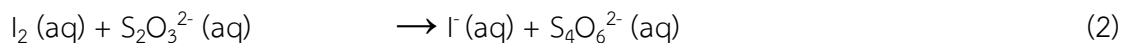
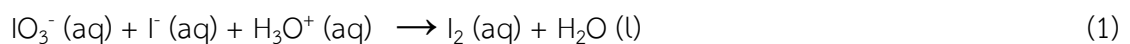
ปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำตามปริมาณสารสัมพันธ์ สามารถหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้นโดยไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) ดังปฏิกิริยา



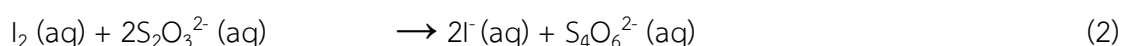
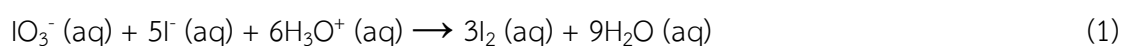
ตัวอย่างเช่น จงหาความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ โดยใช้ KIO_3 0.3446 g ละลายในน้ำ แล้วเติม KI ที่มากเกินไป ทำให้เป็นกรดด้วย HCl จะเกิดเป็นสารละลาย I_2 แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย $Na_2S_2O_3$ โดยมีจุดยุติเท่ากับ 20.50 mL (กำหนดให้ Mw. $KIO_3 = 214.00$ g/mol)

วิธีทำ

1) เขียนปฏิกิริยาการไทเทรต



2) ตรวจสอบและดุลสมการให้ถูกต้อง



3) หาปริมาณสัมพันธ์ของแต่ละปฏิกิริยา

ปริมาณสัมพันธ์ของปฏิกิริยา (1)

$$\text{mmol } I_2 = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{mmol } IO_3^-$$

ปริมาณสัมพันธ์ของปฏิกิริยา (2)

$$\text{mmol } I_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{bmatrix} \text{mmol } S_2O_3^{2-}$$

ฉะนั้น

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{bmatrix} \text{mmol } S_2O_3^{2-} = \begin{bmatrix} 3 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{mmol } IO_3^-$$

$$\text{mmol } S_2O_3^{2-} = \begin{bmatrix} 6 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{mmol } IO_3^-$$

$$\text{mmol } S_2O_3^{2-} = \begin{bmatrix} 6 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \left[\frac{\text{mg } KIO_3}{\text{Mw. } KIO_3} \right]$$

$$\text{mmol } S_2O_3^{2-} = \begin{bmatrix} 6 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \left[\frac{0.3446 \times 10^3}{214.00} \right]$$

ดังนั้น mmol $S_2O_3^{2-}$ เท่ากับ 9.6616 mmol

4) หาคความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้

$$[S_2O_3^{2-}] = \left[\frac{9.6616 \text{ mmol}}{20.50 \text{ mL}} \right]$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้เท่ากับ 0.4713 M

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งสาร
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 mL
3. บิวเรต ขนาด 50.00 mL
4. กระจกตวง ขนาด 50 mL
5. ขวด Duran ขนาด 250 mL
6. ปิเปต ขนาด 1, 5 mL
7. ปีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250 mL
8. กระจกนาฬิกา
9. ขวดปรับปริมาตร 100, 250, 500 mL

สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) เตรียมโดยชั่ง $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 48.00XX กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วทำให้เจือจางด้วยขวดปรับปริมาตร 100 mL
2. อัลคาไลน์ ไอโอไดด์ เอไซด์ (Alkaline-iodide-azide) เตรียมโดยชั่ง NaOH 50.XXXX กรัม และ NaI 13.5XXX กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 mL หลังจากนั้นชั่ง NaN_3 1.00XX กรัม ละลายในน้ำกลั่น 4 mL ผสมสารละลายเข้าด้วยกัน แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตร 100 mL
3. น้ำแป้ง (Starch solution) เตรียมโดยละลายแป้งมัน 2.00XX กรัม ด้วยน้ำร้อนเดือด และปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตร 100 mL
4. Sodium Thiosulfate Pentahydrate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Mw. 248.18 g/mol) เตรียมโดยชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 3.XXXX กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติม NaOH 0.2X กรัม จากนั้นให้ปรับปริมาตรเป็น 500 mL ด้วยขวดปรับปริมาตร แล้วบรรจุใส่ลงในบิวเรตขนาด 50 mL
5. Potassium Hydrogen Di-iodate ($\text{KH}(\text{IO}_3)_2$, Mw. 389.92 g/mol) 0.025 M เตรียมโดยนำ $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C หลังจากสารเย็นตัวลงให้นำมาชั่งน้ำหนัก 2.4XXX กรัม ละลายน้ำกลั่นเล็กน้อย จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 250 mL ด้วยขวดปรับปริมาตร
6. Sulfuric acid 6M เตรียมโดยตวงน้ำ 33.0 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ 250 mL ตวง Sulfuric acid เข้มข้น 17.0 mL ค่อยๆ รินสารละลายกรดลงในน้ำอย่างช้าๆ และปิดฝาด้วยกระจกนาฬิกา

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

1. ชั่ง KI 2.00XX กรัม ในปิเปตเจอร์ 50 mL แล้วเทใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 mL เติมน้ำกลั่น 50 mL
2. ปิเปตสารละลาย H_2SO_4 1 mL และใส่ลงไปขวดรูปชมพู่
3. ปิเปตสารละลาย $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ 1 mL ด้วยปิเปต และใส่ลงไป เขย่าให้เข้ากัน
4. ไทเทรตกับสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่บรรจุในบิวเรต จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน ให้หยุดไทเทรตไว้ก่อน ให้เติมน้ำแป้ง 10 mL แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี
5. จดปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ตามหลักเลขน้อยสำคัญ)
6. คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ หน่วยโมลาร์ (M)

ตอนที่ 2 การทดลองหาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

1. เก็บน้ำตัวอย่างลงในขวด Duran
2. ปิเปตสารละลาย MnSO_4 1 mL และสารละลายอัลคาไลน์ ไอโอไดด์ เอไซด์ 1 mL ลงในขวด โดยให้ปลายปิเปตแตะที่ปากขวดเหนือผิวน้ำตัวอย่างเล็กน้อย (อย่าให้ปลายปิเปตจุ่มลงในน้ำตัวอย่าง)
3. ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขวดขึ้นลง 15 ครั้ง เพื่อให้ของเหลวผสมเข้ากัน ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ ตะกอนสีขาวของ $\text{Mn}(\text{OH})_2$ จะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนในน้ำเป็นตะกอนสีน้ำตาลของแมงกานีส (IV) ออกซิไฮดรอกไซด์ ($\text{Mn}(\text{OH})_2$)
4. ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใส $\frac{1}{2}$ ของขวด (ปริมาณตะกอนขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ)
5. ปิเปต H_2SO_4 1 mL โดยให้กรดค่อยๆ ไหลไปข้างขวด ปิดจุกผสมให้เข้ากันโดยคว่ำขวดขึ้นลง จนกระทั่งตะกอนละลายหมด ในขั้นตอนนี้แมงกานีส (IV) จะออกซิไดซ์ไอโอไดด์ (I^-) เป็นไอโอดีน (I_2) ทันที ซึ่งให้สารละลายสีเหลืองใส
6. ตวงสารละลายปริมาตร 100 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 mL
7. ไทเทรตกับสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่บรรจุในบิวเรต จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนให้หยุดไทเทรต แล้วเติมน้ำแป้ง 10 mL แล้วไทเทรตต่อจนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี
8. จดปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ตามหลักเลขน้อยสำคัญ)
9. คำนวณปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (หน่วย mg/L)

รายงานผลการทดลองที่ 15 การหาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen: DO)

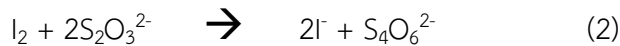
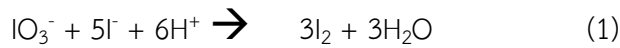
ตอนที่ 1 การหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย Na₂S₂O₃

น้ำหนัก KH(IO₃)₂ ที่ใช้.....กรัม

ความเข้มข้นของสารละลาย KH(IO₃)₂ ที่ใช้.....M

ความเข้มข้นของสารละลาย Na₂S₂O₃ เป็น.....M

ปฏิกิริยาการไทเทรต



อินดิเคเตอร์ คือ.....

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ปริมาตรสารละลาย KH(IO ₃) ₂ (mL)			
ปริมาตรสารละลาย Na ₂ S ₂ O ₃ ก่อนการไทเทรต (mL)			
ปริมาตรสารละลาย Na ₂ S ₂ O ₃ หลังสิ้นสุดการไทเทรต (mL)			
ปริมาตรสารละลาย Na ₂ S ₂ O ₃ ที่ใช้ไป (mL)			
ปริมาตรสารละลาย Na ₂ S ₂ O ₃ ที่ใช้ไป เฉลี่ย (mL)			

แสดงการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย Na₂S₂O₃ (M)

- 1) คำนวณความเข้มข้นของสารละลาย KH(IO₃)₂ ที่แน่นอน
จากน้ำหนัก KH(IO₃)₂ ที่ใช้ g ละลายในน้ำ mL และ Mw. 389.92 g/mol จะได้

$$g = \frac{\text{Concentration} \times \text{volume}}{1000} \times \text{Mw}$$

$$[\text{KH}(\text{IO}_3)_2] =$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลาย KH(IO₃)₂ ที่ใช้เป็น M

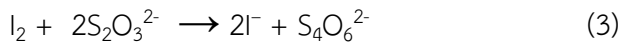
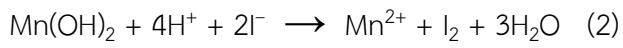
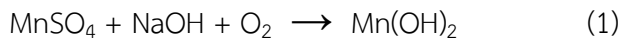
2) คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$



ตอนที่ 2 การทดลองหาปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ

ประเภทตัวอย่างน้ำ (ระบุ).....

เขียนปฏิกิริยาการไทเทรต



รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)			
ปริมาตรสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไทเทรต (mL)			
ปริมาตรสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไป เฉลี่ย (mL)			

แสดงการคำนวณปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (หน่วย mg/L)



CATRE
LAB

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง



อ้างอิง

- [1] บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด, “ออกซิเจนในน้ำคืออะไร (Dissolved oxygen),” บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด, 19 7 2022. [ออนไลน์]. Available: <https://www.tools.in.th/dissolved-oxygen/oxygen-in-water/>. [เข้าถึงเมื่อ 18 9 2023].
- [2] สำนักงานประมงจังหวัดนครนายก, “ออกซิเจนในน้ำคืออะไร? ทำไมต้องวัดออกซิเจนในน้ำ?,” สำนักงานประมงจังหวัดนครนายก, 2023. [ออนไลน์]. Available: https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/16/116613. [เข้าถึงเมื่อ 19 9 2023].
- [3] ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำ บริการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ บริการวิเคราะห์น้ำเสีย, “การวิเคราะห์ BOD (Biological Oxygen Demand),” ห้องปฏิบัติการ เอส เอส ซี ออยล์ จำกัด (ว. 302) , 11 6 2020. [ออนไลน์]. Available: <https://www.facebook.com/sscoillab/posts/289498899104353/>. [เข้าถึงเมื่อ 19 9 2023].
- [4] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “เคมีวิเคราะห์ (Analytical Chemistry); การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์,” คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ, 23 5 2020. [ออนไลน์]. Available: https://web.mutp.ac.th/woravith/?page_id=7#bwg31/1558. [เข้าถึงเมื่อ 19 9 2023].

