

เซนเซอร์สำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำได้

Dissolved Oxygen Sensor

ธนิตนันท์ สุขงาม และ อัจฉนา วงศ์ชัยสุวัฒน์

บทคัดย่อ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำทำได้หลายวิธี ปัจจุบันเทคโนโลยีเซนเซอร์ได้มีบทบาทสำคัญในการนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารต่างๆ เทคโนโลยีดังกล่าวมุ่งเน้นในเรื่องของประสิทธิภาพของการวัด และการอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน เซนเซอร์วัดออกซิเจนที่ละลายน้ำมีประโยชน์ในด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะกับสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ในบทความนี้ได้นำเสนอเซนเซอร์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำแบบเชิงแสงซึ่งอาศัยการวัดการวาวแสงของฟิล์มเซ็นเซอร์ และแบบเคมีไฟฟ้าซึ่งอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ของออกซิเจนที่ขั้วไฟฟ้า เปรียบเทียบกับการหาปริมาณออกซิเจนด้วยวิธีการไทเทรตของวังก์เลอร์ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนและปฏิกิริยารีดอกซ์ เซนเซอร์แบบเชิงแสงให้สภาพไวและความแม่นยำดีที่สุด และมีข้อดีคือไม่ต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องใช้เมมเบรน เซนเซอร์ประเภทนี้วัดได้ทั้งในระบบที่มีการไหลและไม่มีการไหลของน้ำ

คำสำคัญ: ออกซิเจนที่ละลายน้ำ, เซนเซอร์เชิงแสง, ค่า DO

Abstract

Dissolved oxygen (DO) is an important factor for living organism. The dissolved oxygen can be determined by different methods. Recently the sensor technology plays an important role in analytical methods which provide efficiency and convenient in analysis uses. The oxygen sensor is useful in environmental aspect especially for living organism in water. In this paper, the sensors for measuring dissolved oxygen both optical and electrochemical types are presented, compare to the titration method. The optical oxygen sensor is based on the measurement of luminescence of the sensor film, the electrochemical sensor used the oxygen reduction reaction at the electrode while the Winkler titration method use the precipitation and redox reactions. The optical dissolved oxygen sensor is the most sensitive method which gave high accuracy results. The advantages of the optical oxygen sensor is that

no electrolyte solution and gas permeable membrane are required which provide less maintenances and it can be used to measure dissolved oxygen both in the quiescent and flowing system of water.

Keywords: dissolved oxygen, optical oxygen sensor, DO

ความนำ

แก๊สออกซิเจนเป็นแก๊สที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตใช้แก๊สออกซิเจนในกระบวนการต่าง ๆ ของเซลล์ภายในร่างกาย เพื่อผลิตพลังงานในการดำรงชีวิต ในบรรยากาศมีออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ แก๊สออกซิเจนละลายในน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในหลายด้านเช่น ด้านอาหารเรื่องคุณภาพและอายุของอาหาร ด้านเกษตรกรรมเรื่องการเพาะเลี้ยงสัตว์และการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ในด้านสิ่งแวดล้อมถ้าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณไม่เหมาะสมก็จะทำให้แหล่งน้ำนั้นเกิดการเน่าเสียได้ ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหรือสภาวะแวดล้อมทั้งทางด้านกายภาพ ด้านเคมี และชีวเคมีหลายประการตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิของน้ำ ความดันอากาศและสิ่งเจือปนในน้ำ โดยออกซิเจนจะละลายในน้ำได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำลงและความดันอากาศมีค่ามากขึ้นและไม่มีสารเจือปน

น้ำในธรรมชาติทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือ 5-7 ppm ถ้าค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตรจัดว่าน้ำในแหล่งนั้นเน่าเสีย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวแปรสำคัญที่จะบอกว่าน้ำมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต

การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ด้วยการไทเทรต (Winkler Method) การวิเคราะห์ด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าซึ่งใช้ Polarographic cell หรือ Clark cell และการวิเคราะห์ด้วยเซ็นเซอร์เชิงแสง (Optical oxygen sensor) ในปัจจุบันนี้วิธีที่ให้ผลการวัดที่มีสภาพไวมากที่สุด

การเลือกวิธีตรวจวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งน้ำที่ต้องการวัด เพราะสารเจือปนที่อยู่ในแหล่งน้ำนั้นอาจส่งผลกระทบต่อ การตรวจวัดในบางเทคนิค ทั้งนี้ขึ้นกับความชำนาญของผู้วิเคราะห์ด้วยเนื่องจากบางเทคนิคต้องอาศัยความชำนาญของผู้วิเคราะห์เพื่อป้องกันการผิดพลาดของการวิเคราะห์ วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมี ดังนี้

1. การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยการไทเทรต

วิธีของวินด์เลอร์เป็นการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยการไทเทรต ได้มีการดัดแปลงเพิ่มเติมวิธีการวิเคราะห์อีกหลายวิธี เช่น วิธีเอโซดิมอดิฟิเคชันของวิธีไอโอโดเมตริก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำที่มีมลพิษสูง เช่น น้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น

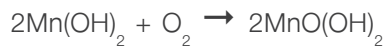
หลักการวิเคราะห์เบื้องต้น

ในขั้นแรกให้ออกซิเจนในน้ำทำปฏิกิริยากับแมงกานีส (II) ไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อเติมสารละลายแมงกานีส (II) ซัลเฟตและสารอัลคาไลเอโซดไอโอไดด์ลงไปในตัวอย่งน้ำจะทำให้เกิดตะกอนสีขาวของแมงกานีส (II) ไฮดรอกไซด์ ในสภาวะที่เป็นเบสดังสมการ



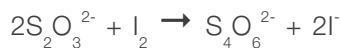
เนื่องจากในตัวอย่งน้ำมีออกซิเจนละลายอยู่ตะกอนขาวของแมงกานีส(II) ไฮดรอกไซด์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดยโมเลกุลออกซิเจนในน้ำ ได้สารประกอบแมงกานีส (IV) ออกไซด์ไฮดรอกไซด์อัตราส่วนในการเกิดปฏิกิริยา

แมงกานีส (II) ไฮดรอกไซด์ต่อออกซิเจนเท่ากับ 2:1 โดยโมล ดังสมการ

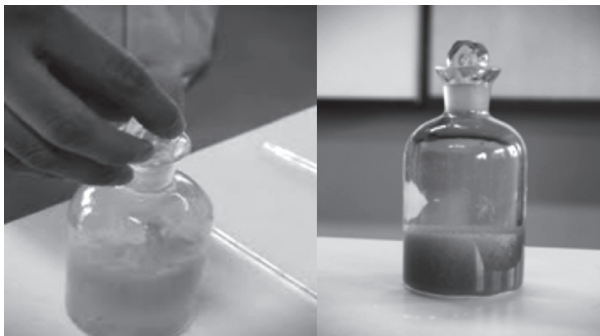


จากนั้นละลายตะกอน MnO(OH)_2 ที่เกิดขึ้น โดยการปรับสภาวะของปฏิกิริยาให้เป็นกรด โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นอัตราส่วนกับแมงกานีส (IV) ออกไซด์ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก ดังนั้นปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นสัดส่วนกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำด้วย

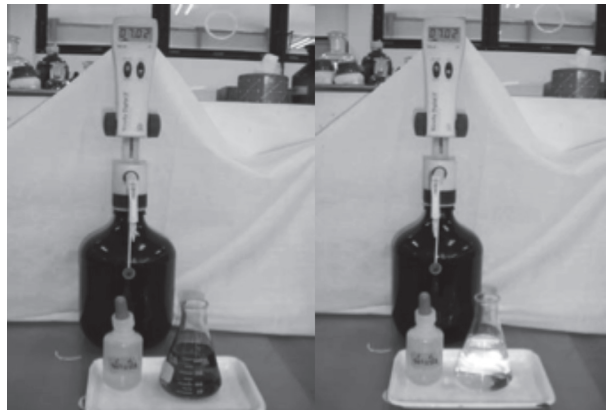
$\text{MnO(OH)}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{I}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ดังสมการ



เมื่อทราบปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้ว จะสามารถคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณของแมงกานีส (IV) และปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แมงกานีส (II) ได้ ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั่นเอง การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ทำได้โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปรัสุมมิซึ่งอาจจะใช้ KIO_3 หรือ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$



ภาพ 1 ปฏิกิริยาการตกตะกอนของ MnO(OH)_2



ภาพ 2 การไทเทรตหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำตัวอย่าง

สารเจือปนในการไทเทรตโดยวิธีจังก์เลอร์

ตัวอย่างที่มีไนไตรต์เป็นสารเจือปนในไนไตรต์ จะทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดต์ในสารละลายที่เป็นกรด ทำให้มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้การคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้มีความคลาดเคลื่อน เอไซด์ซึ่งเดิมลงไปจะกำจัดไนไตรต์ได้โดยทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกให้ NH_3 และ NH_3 จะทำปฏิกิริยากับไนไตรต์ได้เป็น N_2O , N_2 และ H_2O

2. การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า

การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า จะวิเคราะห์โดยใช้ Polarographic cell หรือ Clark cell ซึ่งมีแผ่นเมมเบรนเป็นส่วนประกอบที่ยอมให้แก๊สออกซิเจนจากน้ำตัวอย่างแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ วิธีนี้เหมาะกับตัวอย่างที่มีสารเจือปนรวมทั้งตัวอย่างน้ำที่มีสีเข้มหรือมีความขุ่นมาก ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายโดยวิธีเอไซด์มอดิฟิเคชัน สารเจือปนที่กล่าวถึงนี้ได้แก่ sulfite, thiosulfate, polyhionate, mercaptans, free chlorine, hypochlorite เป็นต้น

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีเคมีไฟฟ้า คือ สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำโดยไม่ทำลายหรือ

ทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปและสามารถนำตัวอย่างน้ำนี้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบหรือดัชนีคุณภาพอื่นต่อไปได้ เหมาะสำหรับเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในแม่น้ำลำธารและในแหล่งน้ำอื่นๆ ซึ่งจะให้ข้อมูลที่ต่อเนื่องตลอดเวลา อนึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนละลายโดยวิธีเคมีไฟฟ้านี้จะต้องกวนน้ำตัวอย่างตลอดเพื่อให้ออกซิเจนไหลผ่านได้ดีและมีการปรับเทียบมาตรฐานของเครื่องมือทุกครั้งที่ใช้ ซึ่งอาจจะใช้ค่ามาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเอชดีโมดิฟิเคชัน

หลักการเบื้องต้นในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยวิธีเคมีไฟฟ้าจะอาศัยหลักการวัดศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสในเซลล์กัลวานิกหรือโพราโลกราฟี ในระบบ Galvanic ปฏิกิริยาที่อิเล็กโทรดจะเกิดขึ้นได้เองแบบต่อเนื่อง ส่วนในระบบ Polarographic ปฏิกิริยาที่ขั้วจะเกิดขึ้นจากการให้ศักย์ไฟฟ้าจากภายนอกเข้าไปในระบบ สำหรับหลักการในการวัดปริมาณออกซิเจนนั้นจะใช้หลักการที่ออกซิเจนที่ซึมผ่านเมมเบรนเข้ามาภายในเซลล์เซ็นเซอร์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้วัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีดังนี้

เมมเบรน : เป็นส่วนที่หุ้มอยู่ด้านนอกและเป็นช่องทาง ที่จะให้โมเลกุลออกซิเจนแพร่ผ่านเข้ามาภายใน เมมเบรนที่ใช้กันส่วนใหญ่จะเป็น polyethylene หรือ fluorocarbon membranes

ขั้วแคโทด : ส่วนใหญ่ทำด้วยโลหะมีสกุล (noble metal) เช่น เงิน ทอง แพลตินัม เป็นต้น

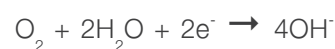
ขั้วแอโนด : ส่วนใหญ่ทำด้วย Base Metal เช่น ตะกั่ว เป็นต้น

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ : เป็นสารละลายที่ขั้วแคโทด และแอโนดจุ่มอยู่



ภาพ 3 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำทางเคมีไฟฟ้า

ขั้วแคโทดและแอโนดจะต่ออยู่กับวงจรไฟฟ้าเพื่อทำให้ไฟฟ้าครบวงจรและสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ เมื่อมีออกซิเจนแพร่ผ่านเมมเบรนเข้ามาภายในเซลล์เซ็นเซอร์ ซึ่งมีอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเบส (alkali electrolyte) อยู่ ออกซิเจนจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทดซึ่งทำด้วยโลหะเงินจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ดังสมการ



ส่วนที่ขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตะกั่ว ดังสมการ



กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณออกซิเจนที่แพร่ผ่านเมมเบรนเข้ามาภายในเซลล์เซ็นเซอร์ ปริมาณออกซิเจนที่แพร่ผ่านเมมเบรนเข้ามาจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความดันภายในเซลล์และความดันสัมบูรณ์ในน้ำ และเนื่องจากออกซิเจนจะถูกรีดิวซ์ที่ขั้วแคโทดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นถือว่าความดันออกซิเจนภายในเซลล์เซ็นเซอร์มีค่าเป็นศูนย์ ฉะนั้นปริมาณออกซิเจนที่แพร่ผ่านเข้ามาภายในเซลล์เซ็นเซอร์ จึงเป็นสัดส่วนกับความดันสัมบูรณ์ของออกซิเจนในน้ำภายนอก

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่ของออกซิเจนผ่านเมมเบรนมีดังนี้

อุณหภูมิ อุณหภูมิจะมีผลต่อสมบัติการแพร่ผ่านของออกซิเจน ซึ่งวัดได้ในจากสภาพผิวของเซ็นเซอร์

ตามสมการ

$$\log \Phi = 0.43mt + b$$

เมื่อ m = ค่าคงที่ขึ้นกับชนิดเมมเบรน

b = ค่าคงที่ขึ้นกับความหนาของเมมเบรน

t = อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

Φ = สภาพไวเซนเซอร์ ($\mu\text{A}/\text{mg/L}$)

ถ้าเราทราบค่าสภาพไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิหนึ่งแล้วเราก็จะหาสภาพไวของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิอื่นได้ จากสมการ

$$\log \Phi = \log \Phi_0 + 0.43m(t - t_0)$$

ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีวิธีการแก้ไขปรับค่าอุณหภูมิเรียบร้อยแล้วในตัวเครื่อง โดยการใช้เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) ใส่ไว้ในวงจรของเซลล์ที่ใช้วัดหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ปริมาณเกลือ ค่าสภาพไวของเซนเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกลือในสารละลาย คำนวณได้ดังนี้

$$\log \Phi_s = \log \Phi_0 + 0.43m_s C_s$$

เมื่อ Φ_s = สภาพไวของเซนเซอร์ในสารละลาย

m_s = salting-out coefficient

Φ_0 = สภาพไวของเซนเซอร์ในน้ำกลั่น

C_s = ความเข้มข้นเกลือหรือความแรงไอออน

สารเจือปนหรือสารรบกวน

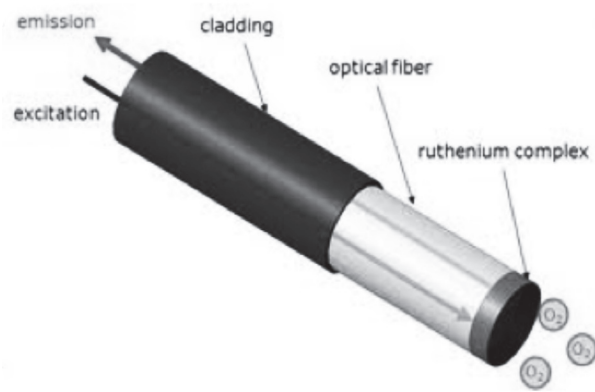
เซนเซอร์นี้ถ้าอยู่ในสภาวะที่มีคลอรีนนาน ๆ จะทำให้มีคลอรีนที่สะสมอยู่ที่ขั้วแอโนดจำนวนมาก จะทำให้การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำคลาดเคลื่อนและยังจะทำให้เซนเซอร์เสียได้ การตรวจวัดด้วยวิธีนี้ไม่พบว่ามีสารอินทรีย์ที่จะรบกวนได้ ส่วนสารอินทรีย์จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้มีค่ามากกว่าความเป็นจริง แต่ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะมีการนำค่าปริมาณ สารอินทรีย์มาคำนวณแก้ไขด้วยอยู่แล้ว

3. การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยเซ็นเซอร์เชิงแสง

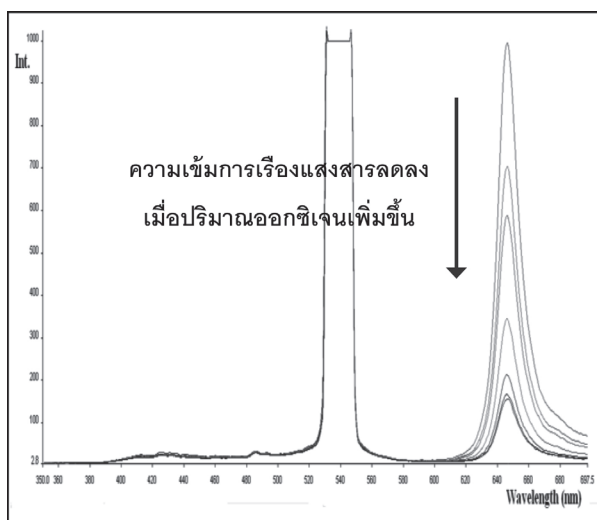
การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยการใช้เซ็นเซอร์เชิงแสง เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยใช้หลักการลูมิเนสเซนซ์ของสารเชิงซ้อน โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกระตุ้นให้สารเชิงซ้อนที่มีสีเปล่งแสงออกมา มักจะเคลือบสารเชิงซ้อนเป็นฟิล์มบางบนวัสดุรองรับและนำมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ ดังภาพที่ 4 โดยในหัววัดจะเคลือบสารเชิงซ้อนเป็นฟิล์มไว้ที่ปลายขั้ว เมื่อให้แสงกระตุ้นที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Excitation wavelength) สารเชิงซ้อนจะเกิดการเรืองแสงออกมาที่มีความยาวคลื่น (Emission wavelength) เฉพาะของสารเชิงซ้อนนั้น ๆ โดยปริมาณออกซิเจนมีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนผกผันกับความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา คือ เมื่อปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะทำให้การเปล่งแสงของสารเชิงซ้อนลดลง เนื่องจากออกซิเจนจะไปลดการเปล่งแสงของสารเชิงซ้อน (quench) ดังภาพที่ 5 แสดงสเปกตรัมการเรืองแสงของสารเชิงซ้อนที่ลดลงเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นและจากความสัมพันธ์นี้ทำให้สามารถหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้โดยนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ใช้สำหรับเป็นตัวเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของออกซิเจนและความเข้มของการเรืองแสงอธิบายได้ตามสมการ Stern-Volmer ดังนี้

$$I_0 / I = 1 + k [O_2]$$

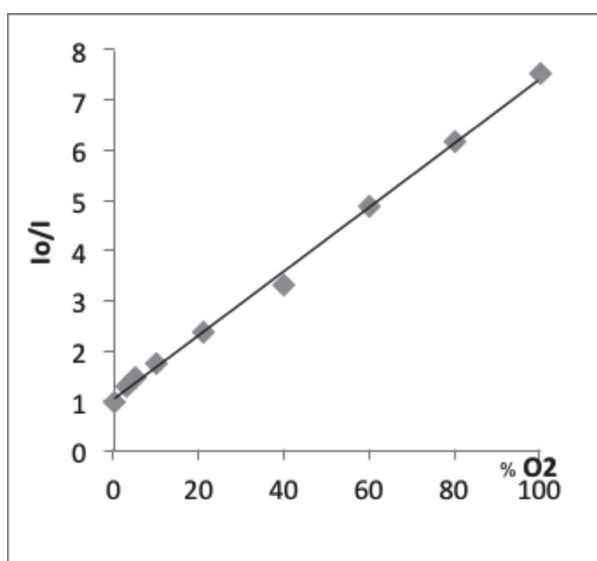
เมื่อ I และ I_0 คือ ความเข้มของแสงลูมิเนสเซนซ์เมื่อมีและไม่มีออกซิเจนตามลำดับ k คือ ค่าคงที่การ quenching ของ Stern-Volmer จากภาพที่ 6 แสดงกราฟของสมการ Stern-Volmer แกนตั้งคืออัตราส่วนค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงเมื่อมีออกซิเจนละลาย (I) ต่อค่าความเข้มแสงของการเรืองแสงเมื่อไม่มีออกซิเจนละลาย (I_0) และแกนนอนคือปริมาณออกซิเจนที่แตกต่างกันในน้ำตัวอย่าง 0, 20, 40, 60, 80 และ 100% จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งนำมาใช้เป็นกราฟมาตรฐาน เพื่อใช้เป็นตัวกราฟมาตรฐานเปรียบเทียบในเซนเซอร์เชิงแสงสำหรับหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ



ภาพ 4 หัววัดเซ็นเซอร์เชิงแสงสำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำได้



ภาพ 5 สเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มเซ็นเซอร์เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแตกต่างกัน



ภาพ 6 Stern-Volmer พล็อต(I/I_0)ของฟิล์มเซ็นเซอร์เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแตกต่างกัน

อุปกรณ์ที่วัดออกซิเจนเชิงแสงที่จำหน่ายประกอบด้วยส่วนเซ็นเซอร์ และส่วนอุปกรณ์วัดการแปลงแสงพร้อมด้วยส่วนประมวลผลดังแสดงในภาพ 7



ภาพ 7 เครื่องเซ็นเซอร์เชิงแสงสำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำได้

จากตาราง 1 แสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์เชิงแสงมีข้อดีกว่าเครื่องมือวัดทางเคมีไฟฟ้าคือไม่ต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ไม่ต้องใช้เมมเบรน และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบบอื่น ดูแลรักษาง่ายและให้ผลการวัดที่แม่นยำ ทั้งในระบบที่มีการไหลและไม่มีการไหลของน้ำ ช่วยประหยัดเวลาและง่ายต่อการใช้งานอีกด้วย

ตาราง 1

ความแตกต่างในการวัดด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้า และเทคนิคลูมิเนสเซนซ์

การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	
เทคนิคเคมีไฟฟ้า	เทคนิคลูมิเนสเซนซ์
สารรบกวน เช่น ทรายไขมัน สารประกอบซัลไฟด์อาจทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจวัดผิดพลาด	ไม่มีรายงานเกี่ยวกับสารประกอบซัลไฟด์อาจทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจวัดผิดพลาด
ต้องคอยเปลี่ยนเมมเบรน ทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าตลอดเพื่อป้องกันคราบออกไซด์ที่อาจเกิดขึ้น	ดูแลรักษาและทำความสะอาดง่าย เนื่องจากออกซิเจนไม่ต้องแพร่ผ่านเมมเบรน
มีค่าใช้จ่ายสูงในการใช้งานและดูแลรักษา	มีค่าใช้จ่ายต่ำในการใช้งานและดูแลรักษา

การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	
เทคนิคเคมีไฟฟ้า	เทคนิคลูมิเนสเซนซ์
ต้องกวนน้ำตัวอย่างเพื่อให้ ออกซิเจนแพร่กระจายผ่าน เมมเบรนมิฉะนั้นค่าที่ตรวจวัดได้ จะต่ำกว่าค่าจริง	ไม่ต้องกวนน้ำตัวอย่าง ขณะตรวจวัดน้ำ เนื่องจาก ออกซิเจนแพร่ผ่านฟิล์ม เซ็นเซอร์ไม่ได้ผ่าน เมมเบรน

ที่มา : ดัดแปลงจาก HACH Company (2006)

บทสรุป

ออกซิเจนในน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ และพืชในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นเครื่องบ่งชี้คุณภาพของน้ำในแหล่งนั้น ถ้าหากออกซิเจนมีปริมาณน้อยมากแสดงว่าน้ำเสียทำให้สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ อยู่ไม่ได้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาจากอากาศเป็นแหล่งสำคัญ ปริมาณการละลาย

ของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ออกซิเจนละลายได้น้อย แต่ถ้าความดันบรรยากาศสูงขึ้นออกซิเจนจะละลายได้มากขึ้น

การหาปริมาณออกซิเจนในน้ำทำได้หลายวิธี เช่น วิธีวัดด้วยการไทเทรต วิธีวัดทางเคมีไฟฟ้าและวิธีการวัดโดยใช้เซ็นเซอร์เชิงแสง ในปัจจุบันนี้วิธีที่ให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำมีความเสถียรมากที่สุดคือ วิธีการวัดโดยใช้เซ็นเซอร์เชิงแสง โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมกระตุ้นให้สารประกอบเชิงซ้อนที่ทำเป็นฟิล์มเซ็นเซอร์เปล่งแสงออกมา โดยปริมาณออกซิเจนที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา คือ เมื่อปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจะทำให้การเปล่งแสงของสารเชิงซ้อนลดลง เรียกว่าการ quench และจากความสัมพันธ์นี้จะทำให้หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานเคมี. (2550). *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ*. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน สำนักวิจัยและพัฒนา กลุ่มงานวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์.(อัดสำเนา)
- ชนินันท์ สุธาม. (2556). *เซ็นเซอร์เชิงแสงที่ใช้สีเชิงซ้อนอนินทรีย์สำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายได้*, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิติกรณ์ เชื้อกฤษณะ. (2553). *การศึกษาสารประกอบอินเทอร์คาเลชันในเบนทอนไนต์เพื่อเตรียมฟิล์มสำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ*, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. ม.ป.ป. *การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม นักวิทยาศาสตร์ 8ว.
- แมน อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. (2535). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. (2556). *การวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำโดยวิธีไฮโดรดิฟฟิเคชัน*. ค้นจาก http://www.science.cmru.ac.th/envi/waterquality/chapter1_t1.html

Choi, M. F. M. & D. Xiao. (1999). Single standard calibration for an optical oxygen sensor based on luminescence quenching of a ruthenium complex. *Analytica Chimica Acta*, 403, 57–65

Lakowicz, J. R. (1999). *Principles of Fluorescence Spectroscopy* (2nded). New York: Kluwer Academic Plenum Press. Sharma, A. & S. G. Schulman. (1999). *Introduction to Fluorescence Spectroscopy*, Canada: A Wiley Interscience Publication,

