



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำระบบดิจิทัลเพื่องานสิ่งแวดล้อม

Digital Dissolved Oxygen Meter For Environmental Application

นามผู้วิจัย นายพงศกร พิมพะนิคย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Eng. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ \_\_\_\_\_ เดือน \_\_\_\_\_ พ.ศ. \_\_\_\_\_

สืบสีตธี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำระบบดิจิทัลเพื่องานสิ่งแวดล้อม

Digital Dissolved Oxygen Meter For Environmental Application

โดย

นายพงศกร พิมพะนิตย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงศกร พิมพ์นิษฐ์ 2553: เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำระบบดิจิทัล  
เพื่องานสิ่งแวดล้อม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, Ph.D. 71 หน้า

เนื่องจากว่าราคาเครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ในท้องตลาดปัจจุบัน  
มีราคาค่อนข้างสูง การศึกษาครั้งนี้เป็นการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ  
ต้นแบบ โดยการคัดแปลงและออกแบบใหม่ทั้งหมด ทั้งด้านรูปแบบหัววัด รูปแบบของวงจร  
อิเล็กทรอนิกส์ ระบบแปลผลค่าการตรวจสอบ การคำนวณ และการแสดงผล ซึ่งในขั้นแรก  
จะเป็นการศึกษาความต่างของแผ่นเยื่อที่ให้ออกซิเจนผ่านกับขั้วไฟฟ้าโดยวิธีการแบบโพลาริ  
กราฟิเคเชลล์ จากนั้นจึงทำการเลือกแผ่นเยื่อที่ให้ออกซิเจนผ่านและขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นสื่อ  
รับสัญญาณเพื่อใช้ในโครงสร้างของหัววัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบ เมื่อได้โครงสร้างของ  
หัววัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบที่สมบูรณ์แล้วได้มีการนำมาทดสอบ เปรียบเทียบค่ากับ  
ผลการวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำจากเครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์  
(เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100 ของบริษัทOAKTON) และเทียบกับค่าออกซิเจน  
ละลายในน้ำที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งผลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบ  
มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่มาตรฐาน มีค่าต่ำกว่า  $\pm 0.088$  มิลลิกรัม/ลิตร และ  
ต่างจากเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100 ของบริษัทOAKTON มีค่าต่ำกว่า  $\pm 0.328$   
มิลลิกรัม/ลิตร เพราะฉะนั้น ถือได้ว่าเครื่องวัดค่าออกซิเจนในน้ำต้นแบบจะสามารถนำไปใช้งาน  
ได้จริงและมีค่าความน่าเชื่อถือไม่ต่างจากเครื่องวัดค่าออกซิเจนในน้ำที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์  
ทั่วไป

Pongsakon Pimpanit 2010: Digital Dissolved Oxygen Meter For Environmental Application. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering.  
Thesis Advisor: Assistant Professor Sanya Sirivithayapakorn, Ph.D. 71 pages.

The cost of dissolved oxygen meter (DO meter) currently available in the marketplace is expensive. This study developed a prototype of DO meter by thorough modification and redesign of electronic circuit, probe structure, and display unit. The first step was to study the effects of different membranes and electrode on the voltage reading of a Polarographic cell. Then the selected membrane and electrodes were used to construct a prototype DO probe. The electronic circuit with display unit was later integrated into the prototype DO probe. The complete set of a prototype DO meter was tested and compared with the reading of a commercial DO meter and a standard value. The results from the prototype DO meter were different from the standard value less than  $\pm 0.088$  mg/L and different from the reading of a commercial DO meter of less than 0.328 mg/L. Therefore, the developed prototype DO meter can potentially be used in several environmental applications with comparable accuracy to the commercial DO meter.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศัญญา สิริวิทยาปกรณ์ อาจารย์  
ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ กรรมการร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
ดร. พงษ์ศักดิ์ หนูพันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ รองศาสตราจารย์ ดร. นัทรณีย์ จิระเดชะ ประธานกรรมการสอบ  
และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มงคล คำรงค์ศรี หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ช่วยเหลือ  
ในการวางแผนและสร้างแนวทางในการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาและ  
แนะนำตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เจนคุณาวัดน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
ราชมงคลธัญบุรี รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ชัยกุล รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตศรีราชา ดร. สุภาพร ภูเกษมวารจกุล นักวิทยาศาสตร์กรมเจ้าท่า นายสมหมาย โชครุ่ง  
ผู้ช่วยนักวิจัยประจำศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ วิทยาลัยสารพัดช่าง  
มหาสารคาม วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี พี่เอ็ก พี่ๆ เพื่อนๆ  
น้องๆ พี่เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ  
เป็นอย่างดีแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ คุณปู่ คุณย่า คุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า  
คุณน้า คุณอา คุณติพี่น้อง รวมไปถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า  
รวมถึงการให้กำลังใจกับข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนสามารถสำเร็จการศึกษานี้เป็นมหามงคลที่ได้

พงศกร พิมพะนิตย์  
กุมภาพันธ์ 2553

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์และสารเคมี	24
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	39
ผล	39
วิจารณ์	57
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ราคาอุปกรณ์	62
ภาคผนวก ข หัววัดในรุ่นต่างๆ ที่จัดทำขึ้น	64
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	71

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบชนิดของหัววัดออกซิเจนแบบต่างๆ	19
2	ศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมาตรฐานที่ 25 <sup>0</sup> C	22
3	แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นเยื่อ (Membrane)	39
4	แสดงค่าDOของแผ่นเยื่อ (Membrane) ต่างๆที่อุณหภูมิ 24 <sup>0</sup> C ความดัน 1 บรรยากาศ	43
5	แสดงค่าDOเมื่อความเข้มข้นต่างๆของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ 25 <sup>0</sup> C ความดัน 1บรรยากาศ	44
6	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ทดสอบระบบเครื่อง	49
7	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความดัน 1บรรยากาศไม่มีความเค็ม	50
8	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่น้ำประปา	53
9	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่กระถางต้นไม้ 4เดือน	54
10	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตู้ปลา 2เดือน	54
11	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่คลองน้ำทิ้ง+ที่เดิมอากาศ	55
12	วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่หนองน้ำนิ่ง	56
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	ราคาอุปกรณ์	63

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงการไหลของไอออนในเซลล์ไฟฟ้า	8
2	การนำไฟฟ้า	9
3	โพรบแบบกัลป์วานิกเซลล์	13
4	โพรบแบบโพลารोगราฟิกเซลล์	16
5	โพรบวัดออกซิเจน แบบมัลติเพิล อะโนด เซลล์	17
6	โพรบแบบแทลเลียมเซลล์	18
7	ก๊าซชนิดต่างๆ ที่แพร่ผ่านเยื่อหุ้มวัดดีโอ	21
8	แผนผังการดำเนินงาน	26
9	กล้องจุลทรรศน์	27
10	กล้องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) SEM	28
11	เครื่อง FT-IR	28
12	เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100ของ OAKTON	29
13	สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	29
14	น้ำกลั่นที่เติมออกซิเจน	30
15	ขั้วเงินและทอง	30
16	โวลต์มิเตอร์	31
17	จัดสร้างวงจรตามแบบ	31
18	หัววัดออกซิเจนละลายน้ำ	32
19	น้ำยา DO 0 และเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ	32
20	น้ำกลั่นที่ควบคุมอุณหภูมิและมีการเติมอากาศจนอิ่มตัว	33
21	การทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในห้องปฏิบัติการ	34
22	ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำประปา	34
23	ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำกระถางต้นไม้ 4 เดือน	34
24	ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำที่ตู้ปลา 2 เดือน	34

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	จุดเก็บน้ำมาทดสอบ	36
26	ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำที่คลองน้ำทิ้ง	37
27	จุดเก็บน้ำมาทดสอบ	38
28	ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำที่บึงน้ำนิ่ง	38
29	ชนิดของแผ่นเยื่อ (Membrane)	39
30	แผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100 ของ OAKTON ที่กำลังขยาย 800 เท่า	40
31	แผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ที่กำลังขยาย 15000 เท่า	41
32	ผลการทดสอบแผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON กับเครื่อง FT-IR	
33	ผลการทดสอบแผ่นเยื่อ แผ่นเยื่อของ YSI กับเครื่อง FT-IR	42
34	ผลการทดสอบแผ่นเยื่อ โพลีเอทิลีนไอสกับเครื่อง FT-IR	43
35	การทดสอบขนาดขั้วไฟฟ้า	45
36	แผงวงจรเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบและหัววัด	47
37	การทำงานของวงจรเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำ	48
38	หน้าจอแสดงผล	49
39	ค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศไม่มีความเค็ม	52
ภาพผนวกที่		
ข1	ปลอกครอบรุ่นที่ 1	65
ข2	ด้ามจับหัววัดรุ่นที่ 1	65
ข3	ขั้วเงินและขั้วทองรุ่นที่ 1	66
ข4	หัววัดรุ่นที่ 1	66
ข5	ปลอกครอบรุ่นที่ 2	67
ข6	ด้ามจับหัววัดรุ่นที่ 2	67

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข7	ข้าวเงินและข้าวทองรุ่นที่ 2	68
ข8	หัววัดรุ่นที่ 2	68
ข9	ปลอกครอบรุ่นที่ 3	69
ข10	ด้ามจับหัววัดรุ่นที่ 3	69
ข11	ข้าวเงินและข้าวทองรุ่นที่ 3	70
ข12	หัววัดรุ่นที่ 3	70

### คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
A	=	พื้นที่ผิวของขั้วคะโทด
aq	=	สารละลายน้ำ
$C_s$	=	ความหนาของเมมเบรน
cm	=	เซนติเมตร
F	=	ค่าคงที่ฟาราเดย์ $96485 \text{ C mol}^{-1}$
g	=	กรัม
I	=	กระแสไอออน
L	=	ระยะห่างระหว่างขั้ว
l	=	ของเหลว
m	=	เมตร
N	=	นอร์มอล
n	=	จำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเท
$P_m$	=	สัมประสิทธิ์ของเมมเบรนที่ยอมให้ออกซิเจนแพร่ผ่าน
ppt	=	หนึ่งในพันส่วน
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
R	=	ความต้านทาน
s	=	ของแข็ง
V	=	แรงดัน
v	=	โวลต์

# เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำระบบดิจิทัล เพื่องานสิ่งแวดล้อม

## Digital Dissolved Oxygen Meter For Environmental Application

### คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเข้าสู่โลกแห่งเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมมีการก่อสร้างโรงงานและการเพิ่มขึ้นของชุมชนทำให้เกิดมลพิษจากโรงงานและชุมชนที่เพิ่มขึ้นมลพิษเหล่านี้หากไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้เกิดปัญหาการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้ แต่เราสามารถป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเหล่านี้ได้โดยการตรวจสอบว่าน้ำนั้นมีคุณภาพอย่างไรเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดมลพิษ โดยในการตรวจวัดสามารถใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ มาใช้ในการตรวจวัดค่าเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย แต่ในปัจจุบันเครื่องมือมีมากมายชนิดในการตรวจวัดค่าเพื่อเช็คค่าความเน่าเสียของน้ำ เครื่องมือตัวหนึ่งที่ใช้ในการวัดความเน่าเสียของน้ำคือเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) เป็นตัวใช้วัดค่าออกซิเจนในน้ำ ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าค่ามาตรฐานก็แปลว่าน้ำเน่าเสีย แต่ปัจจุบันเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ยังมีราคาค่อนข้างสูง ทำให้มีการใช้ในการตรวจวัดน้อย

ดังนั้นถ้าเครื่องมือตรวจวัดมีราคาที่ถูกลงและสามารถหาวัสดุทำได้ง่ายในประเทศก็จะทำให้มีผู้สนใจในการที่จะนำเครื่องมือตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) มาใช้ในการป้องกันน้ำเสียเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาดังที่เคยเป็นมา เช่น การเน่าเสียของแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีอยู่เป็นระยะถ้าเครื่องมือมีราคาถูกลงทางโรงงานอาจให้ความร่วมมือในการตรวจวัดเพื่อป้องกันปัญหาได้มากกว่านี้ โดยมีหลักการทำงานของเครื่องมือวัด โดยเครื่องมือวัดนี้จะตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำโดยขึ้นกับปัจจัยคืออุณหภูมิของน้ำและของแข็งละลาย โดยจะมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเพื่อทำการแลกเปลี่ยนประจุโดยผ่านสารอิเล็กโทรไลต์และแผ่นเยื่อ (Membrane) โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วทั้ง 2 โดยโดยกระแสจะมากขึ้นกับปริมาณออกซิเจนในน้ำ จากหลักการดังกล่าวได้นำมาจัดสร้างเครื่องตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ต้นแบบ โดยศึกษาขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องที่ใช้ปัจจุบัน โดยมีการตรวจสอบกับน้ำสภาพต่างๆ ดังนี้ น้ำกลั่นที่เติมอากาศทิ้งไว้ 30 นาทีและน้ำ ณ สภาพธรรมชาตินำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

ของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ต้นแบบและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อนำไปพัฒนาให้เหมาะสมในการนำไปใช้งานในอนาคตต่อไป



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างเครื่องตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง ต้นแบบ
2. เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ต้นแบบกับเครื่องที่ขายในเชิงพาณิชย์
3. เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO meter) ต้นแบบกับสภาพแวดล้อมต่างๆ

## ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดสอบทดสอบแผ่นเยื่อ (Membrane) 3 ชนิด คือ แผ่นเยื่อโพลีเอทิลีน, แผ่นเยื่อของ YSI, แผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100 ของ OAKTON สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นดังนี้ 0.5 N, 2 N และ 5 N ขนาดขั้วไฟฟ้า 2 ขนาดคือ 1x2 cm และ 0.4x2 cm เก็บผลเพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการสร้างเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ
2. จัดสร้างเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ
3. ทดสอบการทำงานของเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ เทียบกับตารางมาตรฐานของออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ช่วงอุณหภูมิ 5-50<sup>0</sup>C และค่า DO ในช่วง 2-15 mg/l
4. ทดสอบการทำงานของเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในสภาพแวดล้อมต่างๆ

## การตรวจเอกสาร

### ความหมายของ ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO)

หมายถึงเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งออกซิเจนจะมีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ปริมาณออกซิเจนในน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำและความกดดันของบรรยากาศ ในฤดูร้อนปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลงเพราะว่ามีอุณหภูมิสูง ขณะเดียวกันที่การย่อยสลายและปฏิกิริยาต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการของออกซิเจนเพื่อไปใช้กิจกรรมเหล่านั้นสูงไปด้วย ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีออกซิเจนละลายอยู่ระหว่าง 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

### ปัจจัยในการละลายของออกซิเจน

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง ระดับความร้อน ซึ่งอุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการต่างๆ ในแหล่งน้ำ ทั้งในเชิงกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งอุณหภูมิยังมีผลต่อการกระจายของสิ่งมีชีวิต ปริมาณการละลายของธาตุและก๊าซในน้ำ ปกติอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ฤดูกาล ระดับความสูง และสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอย หรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วไปของแหล่งน้ำ (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเกิดจากปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงไปใต้น้ำ ต่อมาเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน อุณหภูมิของน้ำโดยทั่วไปในประเทศไทยมีค่าอยู่ระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย กล่าวคืออุณหภูมิจะมีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนละลายลงในน้ำได้ลดลงทำให้สัตว์มีการหายใจมากขึ้นเพื่อให้ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอจึงทำให้มีเมตะบอลิซึมสูง เมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงกิจกรรมก็จะลดน้อยลงด้วย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทะเลจะมีค่ามากที่สุดบริเวณผิวน้ำทะเล และมีค่าน้อยที่บริเวณพื้นทะเลที่มีการย่อยสลายอินทรีย์สาร ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ อุณหภูมิยังมีผลต่อสภาพแวดล้อมทางกายภาพของแหล่งน้ำหลายประการเช่น ปริมาณ และการหมุนเวียนของแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น (ไมตรี และ จารุวรรณ, 2528) แม้ว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำสามารถปรับตัวเข้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีขีดจำกัดในด้านการปรับตัว พบว่าอุณหภูมิมิผลต่อสิ่งมีชีวิต

ทั้งในด้านการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และการกระจาย โดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำ ซึ่งการเพิ่มความร้อนของน้ำมีผลกระทบต่อสัตว์น้ำมาก อาจทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำตายทันที โดยถ้าอุณหภูมิสูงการละลายของออกซิเจนจะลดลง สรุปปริมาณการละลายออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

ความเค็ม (Salinity) หมายถึง ปริมาณของของแข็ง หรือเกลือแร่ต่างๆ โดยเฉพาะ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยนิยมคิดเป็นหน่วยน้ำหนักของสารดังกล่าวเป็นกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำ หรือหนึ่งในพันส่วน (parts per thousand, ppt) ทั้งนี้หลังจากที่พวกเกลือคาร์บอเนต ถูกเปลี่ยนเป็นออกไซด์ และพวกเกลือโบไมด์ และไอโอไดด์ ถูกแทนที่โดยคลอไรด์ และอินทรีย์วัตถุ ถูกออกซิไดส์ไปทั้งหมด

ค่าความเค็มของน้ำ จะสัมพันธ์กับค่าคลอรีนิตี (chlorinity) ซึ่งหมายถึงปริมาณคลอไรด์ โบโรไมด์ และไอโอไดด์ ที่มีอยู่ในน้ำหนักหนึ่งกิโลกรัม ค่าที่มีความหมายใกล้เคียงกันอีกค่าหนึ่งคือ คลอโรซิตี (chlorosity) ซึ่งหมายถึงค่าคลอรีนิตี (chlorinity) คูณด้วยค่าความหนาแน่นของน้ำ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จากความสัมพันธ์ดังกล่าวมานี้ จึงสามารถคำนวณค่าความเค็มจากค่าคลอรีนิตี ได้ดังสมการ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

$$\text{salinity (ppt)} = 0.03 + 1.805 \text{ chlorinity (ppt)} \quad (1)$$

ความเค็มของน้ำจะมีค่าแตกต่างกันไป แล้วแต่สถานที่และประเภทของดิน สำหรับน้ำจืดมีค่าความเค็มประมาณศูนย์ ส่วนน้ำทะเลมีค่าความเค็มโดยเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนในพัน ในด้านการประมง ได้มีผู้แบ่งประเภทของน้ำออกตามระดับความเค็มดังนี้ คือ

- น้ำจืด (fresh water) มีความเค็มระหว่าง 0 – 0.5 ppt
- น้ำกร่อย (brackish water) มีความเค็มระหว่าง 0.5 – 30.0 ppt
- น้ำเค็ม (sea water) มีค่าความเค็มมากกว่า 30 ppt

ความเค็มจะทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนลดลงทุกอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส สรุป ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเค็มลดลง (น้ำจืดจะยอมให้ออกซิเจนละลายได้มากกว่าน้ำเค็ม) (เปี่ยมศักดิ์, 2538)

ความดันอากาศ ในกรณีที่ก๊าซละลายในของเหลว ถ้าความดันสูงก๊าซจะละลายได้ดี เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในน้ำอัดลม ถ้าเราเพิ่มความดันปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเราเปิดฝาขวด(ลดความดัน) จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หนีจากของเหลว นั่นคือก๊าซละลายได้น้อย สรุปปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะลดลงเมื่อค่าความดันอากาศลดลง (เมื่ออยู่ในระดับที่สูงขึ้นออกซิเจนจะละลายได้มาก) (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

### ความสำคัญของออกซิเจนละลายในน้ำ

1. ออกซิเจนที่ละลายในน้ำในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่เกิดขึ้น จะเกิดโดย aerobic หรือ anaerobic organism พวก aerobic organism ให้ออกซิเจนอิสระเพื่อออกซิไดส์ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่ anaerobic organism ทำให้เกิดออกซิเดชัน โดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัวเช่น  $\text{SO}_4^{2-}$  เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น organisms ทั้งสองชนิดพบทั่วไปในธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะที่พวก aerobic organism ชอบไว้ (คือมีออกซิเจน) มิฉะนั้น anaerobic organism จะเข้ามาแทนที่การหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำจึงเป็นความจำเป็นเพื่อที่จะรักษา aerobic condition ในน้ำธรรมชาติซึ่งจะรับเอาสิ่งสกปรกจากที่ต่างๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการรักษาสภาวะที่เหมาะสมใน aerobic treatment process ด้วย

2. ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่น คือให้มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำในปริมาณพอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

3. ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นพื้นฐานของค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand) เพื่อหาค่าล้างความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชันทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหลือ ณ เวลาต่างๆ

4. ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการกักร้อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปา และในหม้อต้มน้ำ โดยเฉพาะในหม้อต้มน้ำไม่ควรมีออกซิเจนที่ละลายในน้ำเลย แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ 0.015 พีพีเอ็ม

5. ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาใน aerobic treatment process เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาภาวะ aerobic ไว้ได้ อีกทั้งป้องกันการใช้ออกซิเจนมากเกินไป (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

### เคมีไฟฟ้าเบื้องต้น

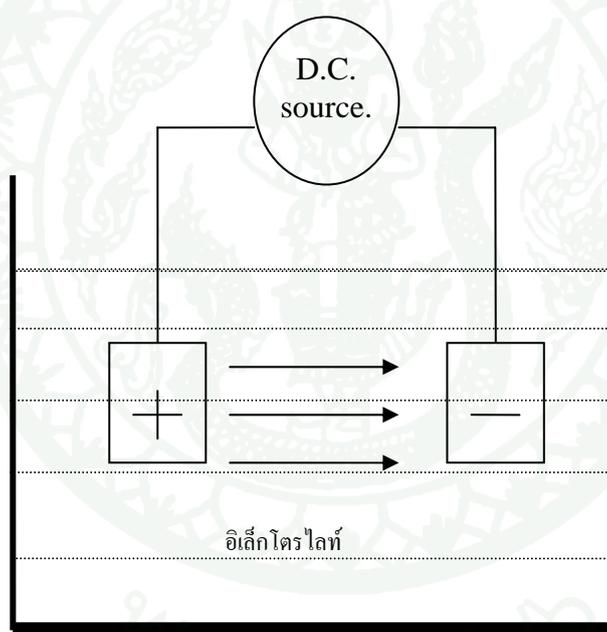
เคมีไฟฟ้า (Electrochemistry) เป็นวิชาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังเคมี หรือการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า เซลล์ไฟฟ้า (electrolytic cell) เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี กระบวนการเรียกว่า อิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) ซึ่งเกิดขึ้นโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าจากภายนอก ไปยังสารละลายด้วยพลังงานเพียงพอที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน –รีดักชัน หรือรีดอกซ์ ซึ่งปกติไม่เกิดโดยตนเองเกิดขึ้นได้ ส่วนเซลล์กัลวานิก (galvanic cell) เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า จากปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันโดยตนเองในสารละลาย (ชัยวัฒน์, 2530)

### การนำไฟฟ้า (Conductivity)

เป็นลักษณะของน้ำที่บอถึงความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่มีประจุไฟฟ้าในน้ำ การนำไฟฟ้าไม่ได้เป็นค่าเฉพาะไอออนตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นค่ารวมของไอออนทั้งหมดในน้ำ ค่านี้ไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีกรเพิ่มหรือลดของไอออนที่ละลายน้ำเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีสารที่แตกตัวในน้ำเพิ่มขึ้นหรือถ้าค่าการนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าสารที่แตกตัวได้ในน้ำลดลง การนำไฟฟ้านิยมวัดออกมาในรูปอัตราส่วนของความต้านทาน โดยหน่วยเป็น Microsiemen หรือ us/cm อุณหภูมิจะมีผลต่อการแตกตัวของไอออน อุณหภูมิสูงค่าการแตกตัวจะมากขึ้น ความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของไอออนที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิ น้ำที่มีไอออนของสารต่างๆ ละลายอยู่สามารถนำไฟฟ้าได้ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำธรรมชาติโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0.1 - 5.0 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตรในเรื่องไฟฟ้า นิยมจัดสารเป็นตัวนำ (conductor) กึ่งตัวนำ (semiconductor) และฉนวน (non conductor) สารเป็นตัวนำไฟฟ้า จะต้องยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีก จุดหนึ่งได้ เพื่อให้ได้ครบวงจรไฟฟ้า จากคุณสมบัติของของแข็งพบว่า โลหะจำนวนมากเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะอิเล็กตรอนในผลึกของโลหะ สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระ โลหะเหล่านี้จึงเป็นตัวนำ และเรียกว่าตัวนำโลหะ (metallic conductor)

ส่วนที่เป็นตัวนำอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเมื่ออยู่ในสารละลายสามารถแตกตัวเป็นไอออน สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้มาก จัดเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่า สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อย จึงต้องพิจารณาว่า กระแสไฟฟ้าไหลได้อย่างไร ในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์

ถ้าต่อแหล่งไฟฟ้าจากภายนอก เช่น กระแสไฟฟ้าตรงกับโลหะตัวนำสองขั้ว ซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลาย ดังแสดงในภาพที่ 1 เมื่อปิดวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหล พบว่าไอออนบวกในสารละลายจะวิ่งไปหาขั้วลบ และไอออนลบจะวิ่งไปหาขั้วบวก การเคลื่อนที่ของไอออนบวกไปไอออนลบในสารละลาย ซึ่งเป็นผลมาจากการผ่านกระแสไฟฟ้าจากภายนอกนี้เรียกว่าการนำไฟฟ้า (electrolytic conduction)



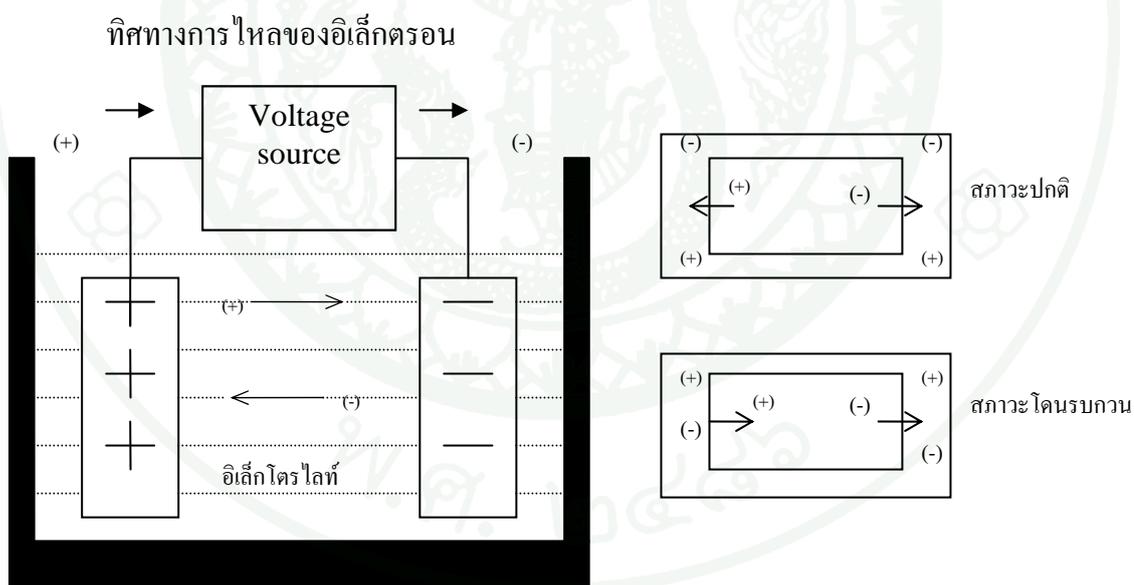
ภาพที่ 1 แสดงการไหลของไอออนในเซลล์ไฟฟ้า

ที่มา: คัดแปลงจาก Pijanowski (1971)

เมื่อไอออนในของเหลววิ่งเข้าสัมผัสกับอิเล็กโทรด ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วที่ขาดแล่นอิเล็กตรอน ไอออนลบจะให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วนั้น ส่วนที่ขั้วลบหรือขั้วที่มีอิเล็กตรอนเหลือเพื่อ ไอออนบวกจะรับอิเล็กตรอนจากขั้วนั้น ได้ทราบมาแล้วว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือ

การสูญเสียอิเล็กตรอนหรือให้อิเล็กตรอน ส่วนรีดักชันหรือการรับหรือเพิ่มอิเล็กตรอน ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดที่ขั้วบวกคือออกซิเดชัน และปฏิกิริยาที่เกิดที่ขั้วลบคือรีดักชัน สารละลายนั้นจะนำไฟฟ้าไปเรื่อยๆ ทรายเท่าที่ปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดทั้งสอง

อิเล็กตรอนที่อ้อนลบให้กับขั้วลบ จะวิ่งออกจากขั้วบวกเข้าสู่ขั้วลบ ดังภาพที่ 2 ก จะเห็นได้ว่าการนำไฟฟ้า จะมีอิเล็กตรอนไหลผ่านเส้นลวดซึ่งอยู่ภายนอก ส่วนอ้อนนั้นเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย ตลอดเวลาที่อ้อนเคลื่อนที่หรือมีการเกิดปฏิกิริยาที่อิเล็กโทรด ระบบจะต้องรักษาความเป็นกลางทางไฟฟ้าเสมอ ดังนั้นทุกครั้งที่อ้อนลบหนึ่งอ้อนเคลื่อนที่ออกไปจะต้องมีอ้อนบวกหนึ่งอ้อนเคลื่อนที่ออกไปด้วย หรือไม่ก็ต้องมีอ้อนลบอีกหนึ่งอ้อนเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ดังภาพที่ 2 ข หรือทุกครั้งที่อ้อนลบหนึ่งอ้อนเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก อ้อนบวกหนึ่งอ้อนจะต้องเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบทันที ที่อิเล็กโทรดทั้งสองเช่นกัน ทุกครั้งที่อ้อนลบให้อิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอนกับขั้วบวก จะต้องมีอ้อนบวกที่ขั้วลบรับอิเล็กตรอนหนึ่งอิเล็กตรอนทันทีเช่นกัน



ภาพที่ 2 การนำไฟฟ้า

ที่มา: คัดแปลงจาก Pijanowski (1971)

### อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรด ในระหว่างที่มีกระแสไฟฟ้าไหล เรียกว่า อิเล็กโทรลิซิส เช่น ถ้านำโซเดียมคลอไรด์เหลว มาทำอิเล็กโทรลิซิส  $\text{Na}^+$  จะวิ่งไปยังขั้วลบ และ  $\text{Cl}^-$  จะวิ่งไปหาขั้วบวก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแทนด้วยสมการดังนี้



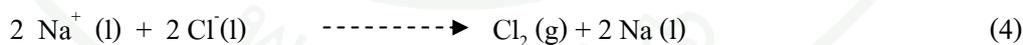
ในเรื่องเคมีไฟฟ้า

ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า อะโนด

ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า แคโทด

การระบุว่าขั้วใดเป็นอะโนดหรือขั้วใดเป็นแคโทดให้พิจารณาจากประเภทของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเท่านั้น

ปฏิกิริยาสุทธิที่เกิดในเซลล์ไฟฟ้าเรียกว่าปฏิกิริยาเซลล์ (cell reaction) ซึ่งได้จากการรวมสมการ (1) และ สมการ (2) โดยต้องคูณอิเล็กตรอนก่อน จะได้สมการสุดท้ายคือ

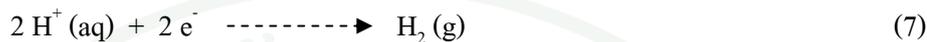


จะเห็นว่าจากสมการ(4)การเกิดอิเล็กโทรลิซิสโซเดียมคลอไรด์เหลวได้โลหะ Na ที่แคโทดและก๊าซ  $\text{Cl}_2$  ที่อะโนด

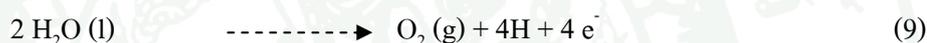
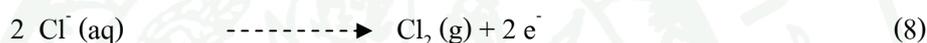
อิเล็กโทรลิซิสของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (น้ำเป็นตัวทำละลาย) เป็นกระบวนการที่ยุ่ยากกว่า เพราะนอกจากสารอิเล็กโทรไลต์แล้ว น้ำเองก็สามารถถูกออกซิไดซ์และรีดิวซ์ได้ ดังนี้



นอกจากนี้ในสารละลายกรด  $\text{H}^+$  อาจถูกรีดิวซ์ เป็น  $\text{H}_2$  ได้



อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาดังสมการ (7) เกิดไม่มากนักในสารละลายที่เจือจางมากๆ หรือในสารละลายที่เป็นกลาง เพราะ  $\text{H}_2\text{O}$  มีความเข้มข้นมากกว่า  $\text{H}^+$  มากอเล็กโตรลีสของสารละลาย NaCl มีปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นที่อะโนดคือ



ปฏิกิริยารีดักชันที่อาจเกิดขึ้นที่แคโทด คือ



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงที่อะโนดเป็น สมการ (8) และที่แคโทดเป็นสมการ (11) รวมสมการทั้งสองเข้าด้วยกัน ได้สมการรวมคือ



ถ้าเป็นสารละลาย NaCl เจือจาง พบ  $\text{O}_2(\text{g})$  เกิดที่อะโนด และ  $\text{H}_2(\text{g})$  เกิดที่แคโทดดังนั้นสมการแสดงปฏิกิริยาเขียนได้โดยรวม สมการ (2) และ (4) เข้าด้วยกัน จะได้



จากตัวอย่างพบว่าความเข้มข้นสารละลายมีส่วนสำคัญ ในการตัดสินใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ควรจะเป็นเช่นไร

เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำโดยใช้ขั้วไฟฟ้าในขณะนี้ สามารถแบ่งออกได้ 4 แบบ

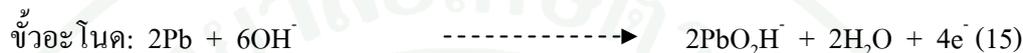
1. กัลป์วานิก เซลล์ (Galvanic cell)
2. โพลารोगราฟิค เซลล์ (Polarographic cell)
3. มัลติเพิล – อะโนด เซลล์ (Multiple-anode cell)
4. แทลเลียม เซลล์ (Thallium cell)

เครื่องมือที่ใช้วัดหาออกซิเจนขณะนี้ วัดได้ในระดับความดันสูงสุด 345 kPa อุณหภูมิสูงสุด 79.5 °C หัววัดยกขึ้นลงด้วยอัตราเร็ว 1 ฟุต / วินาที หรือ 0.3 เมตร / วินาที วัสดุที่นำมาใช้สร้างทนต่อการกัดกร่อน ความละเอียดของการวัดอยู่ในช่วง  $\pm 1\%$  ถึง  $\pm 2\%$  ของเต็มสเกล สามารถวัดหาปริมาณออกซิเจน อยู่ในช่วง 0 - 5 ppm หรือ 0 - 20 ppm และสามารถปรับให้หัววัดออกซิเจนที่ระดับความดันต่างๆ (ศุภพร, 2538)

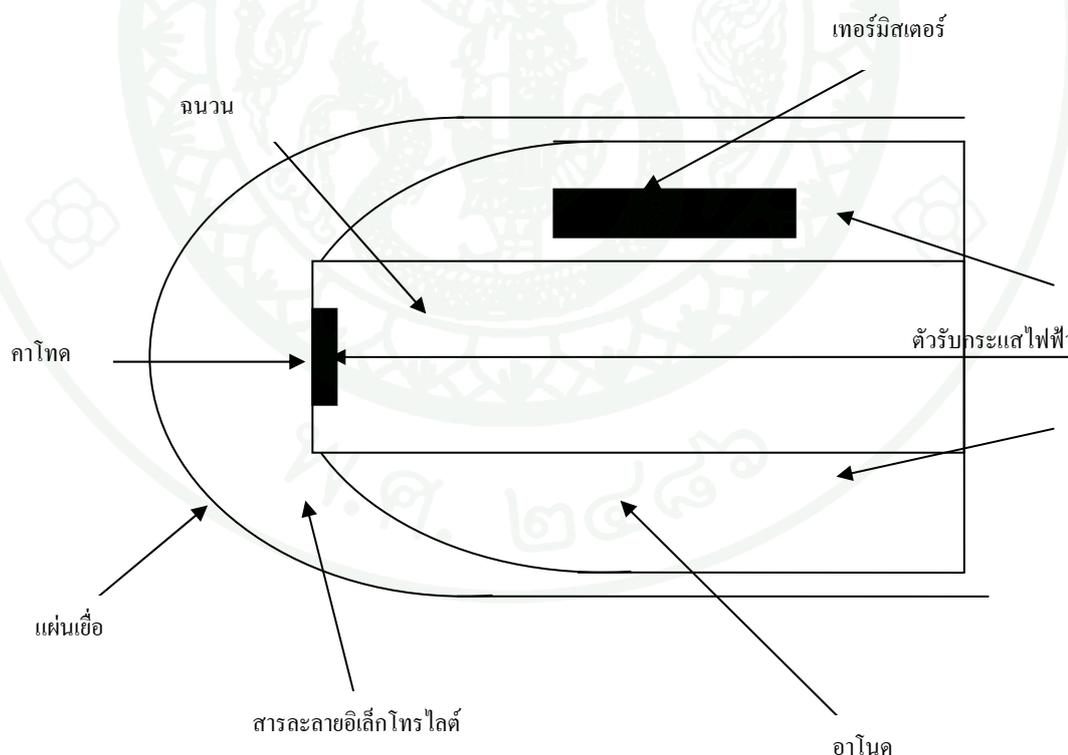
#### กัลป์วานิก เซลล์ (Galvanic cell)

กัลป์วานิก เซลล์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดหาออกซิเจน ได้ทั้งในของเหลวและอากาศ วัดได้ในช่วง 0 - 20 ppm ประกอบด้วยสารอิเล็กโตรไลต์และมี 2 ขั้วอิเล็กโตรด เมื่อออกซิเจนแพร่ผ่านเซลล์เมมเบรน เข้าสู่สารอิเล็กโตรไลต์จนความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำตัวอย่างและสารอิเล็กโตรไลต์เข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ขั้วแคโทดจะมีการจ่ายกระแสอิเล็กโตรอนจากภายนอก ซึ่งทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดทั้งสอง เมื่อออกซิเจน 1 โมลเลกุล แพร่ผ่านเมมเบรนเข้ามาสัมผัสกับขั้วแคโทด ขั้วแคโทด จะจ่าย  $4e^-$  ให้แก่ออกซิเจนและรวมตัวกับ 2 โมลเลกุลของน้ำได้ 4 ไฮดรอกไซด์ เกิดขึ้นถึงสมการที่ (14) เป็นสาเหตุให้เกิดการไหลของกระแสอิเล็กโตรอน ไหลผ่านสารอิเล็กโตรไลต์ ปริมาณการไหลของกระแสอิเล็กโตรอน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจนในสารละลายตัวอย่างที่ทำการวัด

วัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรดโดยทั่วไป เป็นเงินหรือตะกั่ว สารอิเล็กโทรไลต์ใช้โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ส่วนขั้วอะโนดจำเป็นต้องใช้โลหะมีสกุลพวก เงิน หรือ ทอง ขั้วของอะโนดเลือกโลหะพื้น เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี หรือ เงิน ในการเลือกสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะต้องมีคุณสมบัติไม่ละลายขั้วอะโนด ที่อัตราสูงระดับหนึ่งเมื่อวงจรเซลล์ไฟฟ้าเปิด ในกรณีที่ใช้ตะกั่วเป็นขั้วอะโนด ปฏิกิริยาของเซลล์เขียนได้ดังนี้



การออกแบบกัลป์วานิก เซลล์ ต้องคำนึงถึงก๊าซที่มีผลต่อปฏิกิริยา อันได้แก่ คลอรีน หมู่ฮาโลเจนตัวอื่นๆ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์และไนตรัสออกไซด์ ซึ่งจะมีผลต่อการวัด เพราะจะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่หัววัด โดยจะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไปได้



ภาพที่ 3 โพรบแบบกัลป์วานิกเซลล์

ที่มา: ดัดแปลงจาก Pijanowski (1971)

ในการออกแบบโพรบ ขั้วอิเล็กโทรดจมอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งบรรจุอยู่ในเมมเบรน (ใช้เทฟลอน) ซึ่งเมมเบรนจะเป็นตัวกั้นให้ออกซิเจน สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนเข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ได้ ขณะที่มวลอื่นๆ อยู่ภายนอกโพรบ ไม่สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้ มีเซนเซอร์อยู่ที่ปลายโพรบ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิของตัวอย่างที่ต้องการวัด และยังมีเทอร์มิสเตอร์ เพื่อใช้ชดเชยกระแสในวงจร เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าต่าง

กระแสไอออนที่เกิดขึ้นในสารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถเขียนได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$I = (nFAP_m C_s) / L \quad (17)$$

$I$  = กระแสไอออน (แอมแปร์)

$n$  = จำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเท

$F$  = ค่าคงที่ฟาราเดย์  $96485 \text{ C mol}^{-1}$

$A$  = พื้นที่ผิวของขั้วแคโทด (ตารางมิลลิเมตร)

$P_m$  = สัมประสิทธิ์ของเมมเบรนที่ยอมให้ออกซิเจนแพร่ผ่าน

$C_s$  = ความหนาของเมมเบรน (มิลลิเมตร)

$L$  = ระยะห่างระหว่างขั้ว (มิลลิเมตร)

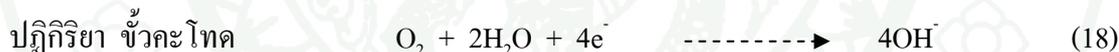
สมการ (17) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่แน่นอนในองค์ประกอบของเซลล์ สมการของเนินสต์ เหมือนดังที่กล่าวในกัลป์วานิก เซลล์และอธิบายว่า ทำไมศักย์ของขั้วอิเล็กโทรดจึงเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาของไอออนขึ้นกับอุณหภูมิด้วย จึงเป็นสาเหตุให้ต้องนำค่าที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอุณหภูมิเข้ามาคิดด้วย

คุณลักษณะของเมมเบรน ออกซิเจนต้องซึมผ่านง่ายคงทนแข็งแรง ไม่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ไอออนอื่นๆ และโมเลกุลของน้ำซึมผ่านไม่ได้ ที่สำคัญที่สุด ไม่มีปฏิกิริยาหรือผลอันใดกับสารละลายที่ต้องการวัด

### โพลารोगราฟิค เซลล์ (Polarographic cell)

การวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยใช้หัววัดแบบ Clark Electrode ซึ่งเป็นแบบโพลารोगราฟิค เซนเซอร์ (Polarographic sensor) และมีเทอร์มิสเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ และใช้ในการชดเชยอุณหภูมิ แผ่นเมมเบรนที่ครอบหัววัดใช้เพื่อแยกส่วนหัววัดกับน้ำภายนอก แต่ออกซิเจนหรือก๊าซอื่นๆ สามารถแพร่ผ่านเข้าไปได้ โดยภายในหัววัดจะมีขั้วอะโนด (ขั้วบวก) ทำด้วยเงิน และขั้วแคโทด (ขั้วลบ) ทำด้วยทอง และมีน้ำยาปัดสเชียมคลอไรด์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เชื่อมระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ออกซิเจนที่แพร่ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับขั้วแคโทดทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

อัตราการแพร่ผ่านเมมเบรนของออกซิเจน จะเป็นปฏิกากับความแตกต่างของแรงดันภายในกับภายนอก เมื่อออกซิเจนแพร่ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับขั้วแคโทดอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะถือว่าแรงดันของออกซิเจนภายในแผ่นเมมเบรนเป็นศูนย์ ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แพร่ผ่านเมมเบรนจะเป็นปฏิกากับโดยตรงกับแรงดันสมบูรณ์ของออกซิเจนนอกแผ่นเมมเบรน ถ้าแรงดันของออกซิเจนเพิ่มขึ้น ก็จะมีออกซิเจนแพร่ผ่านแผ่นเมมเบรนมากขึ้น อันเป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเซนเซอร์มากขึ้นด้วย





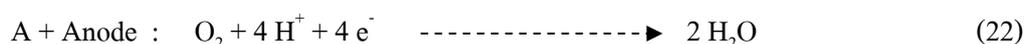
ภาพที่ 4 โพรบบแบบโพลาริกราฟิกเซลล์

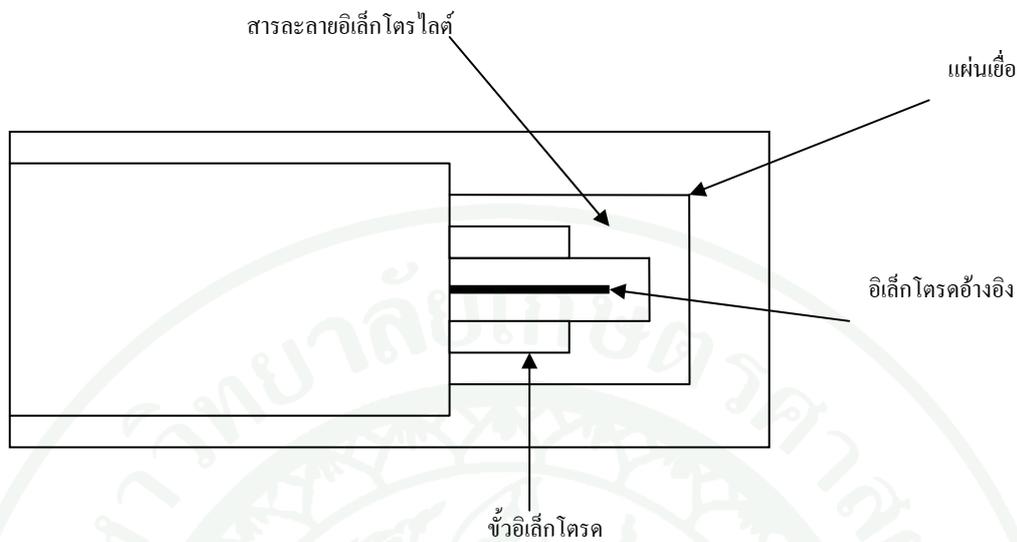
ที่มา: สมหมาย และ คูสิต (2552)

#### มัลติเฟลิด – อะโนด เซลล์ (Multiple – anode cell)

มัลติเฟลิด อะโนด เซลล์ ประกอบด้วยขั้วอะโนดจำนวนหลายขั้ว มี 3 ขั้วอิเล็กโทรดโดยสองขั้วเป็นขั้วบวกและขั้วลบ ส่วนอีกขั้วที่เหลือเป็นขั้วอิเล็กโทรดอ้างอิงมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานภายนอกให้แก่ขั้วแคโทดและอะโนด สัญญาณไฟฟ้าที่ไหลไปยังขั้วอะโนด มีการแยกโดยอิสระต่อกัน แต่จะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของออกซิเจน ที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวัด เมื่อจุ่มหัวหัววัดลงในสารตัวอย่างที่ต้องการวัด ออกซิเจนที่ละลายอยู่จะแพร่ผ่านแผ่นเยื่อเข้ามาสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และถูกรีดิวซ์ที่ขั้วแคโทด โดยออกซิเจนจะรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทดและรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นไฮดรอกไซด์ ซึ่งไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นเล็กน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ไฮดรอกไซด์จะเคลื่อนที่ไปที่ขั้วอะโนด แล้วถ่ายเทอิเล็กตรอนไปที่ขั้วอะโนด ออกซิเจนจะแพร่ผ่านแผ่นเยื่อจนกระทั่งความเข้มข้นภายในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์และสารตัวอย่างเท่ากัน

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เขียนได้ดังนี้





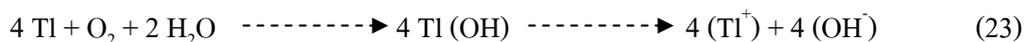
ภาพที่ 5 โพรบวัดออกซิเจน แบบมัลติเฟล อะโนด เซลล์

ที่มา: คัดแปลงจาก Pijanowski (1971)

**แทลเลียม เซลล์ (Thallium cell)**

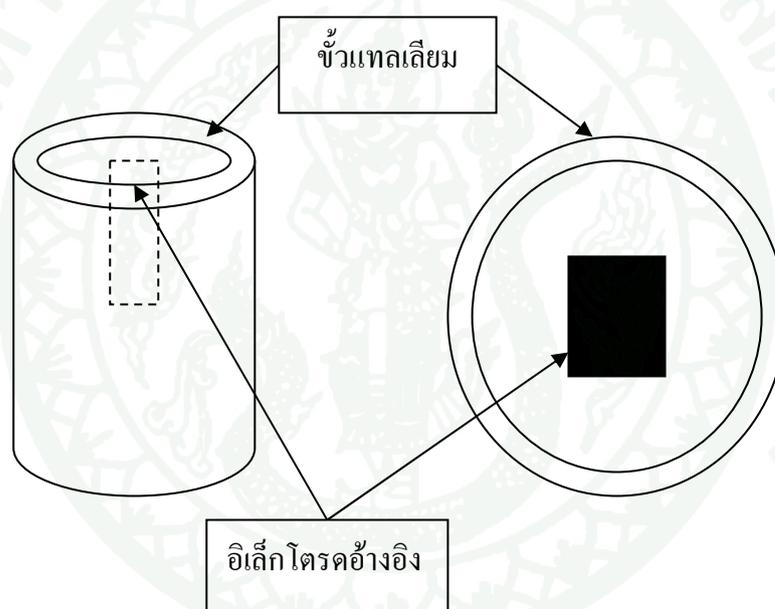
วิธีตรวจวัดหาปริมาณออกซิเจน แบบแทลเลียม เซลล์ ไม่สามารถจัดวิธีเข้าไว้ใน 3 วิธีที่กล่าวมาแล้วได้ แต่มันก็ยังเป็นประเภทของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

อิเล็กโตรดของแทลเลียม เซลล์ ถูกออกแบบให้คล้ายกับแบบของโพลารोगราฟิเซลล์ ซึ่งต่างกันตรงที่ไม่มีเมมเบรน หรือสารละลายอิเล็กโตรไลต์ เซลล์นี้มีขั้วแทลเลียมเป็นอิเล็กโตรดแบบวงกลมซึ่งอยู่ภายนอก โดยด้านในเป็นอิเล็กโตรดอ้างอิง เมื่อออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำสัมผัสกับแทลเลียม จะเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ



จากสมการเคมีจะเห็นว่าเมื่อออกซิเจนที่ละลายน้ำ 1 โมเลกุล มาสัมผัสกับแทลเลียม จะรวมตัวกับ 4 โมเลกุลของแทลเลียมและ 2 โมเลกุลของน้ำ เกิดเป็น 4 แทลลัสไฮดรอกไซด์ แต่แทลลัสไฮดรอกไซด์ไม่อยู่ตัวละลายในน้ำ แตกตัวเป็น 4 ไฮดรอกไซด์ไอออนและ 4 แทลลัสไอออน ซึ่งแทลลัสไอออน จะเกิดขึ้นที่ผิวของแทลเลียมที่ใช้ทำเป็นอิเล็กโทรด

เซลล์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีระหว่างแทลเลียมและออกซิเจน ซึ่งจะตรวจวัดหาความแตกต่างของสภาพการนำไฟฟ้า ก่อนและหลังการทำปฏิกิริยา คุณสมบัติการนำไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณออกซิเจน ที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ต้องการวัด ซึ่งวิธีนี้จะตัดปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป



ภาพที่ 6 โพรบวัดออกซิเจนแบบแทลเลียมเซลล์

ที่มา: คัดแปลงจาก Pijanowski (1971)

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบชนิดของหัววัดออกซิเจนแบบต่างๆ

ชนิดหัววัด	กัลวานิก เซลล์	โพลารोगราฟิ ก เซลล์	มัลติเพิล -อะโนด เซลล์	แทลเลียม เซลล์	หมายเหตุ
คุณสมบัติ	(Galvanic cell)	(Polarographic cell)	(Multiple – anode cell)	(Thallium cell)	
จำนวนขั้ว	2	2	3	2	
ขั้วอะโนด	ตะกั่ว	เงิน	n/a	แทลเลียม	
ขั้วแคโทด	แคดเมียม				
	สังกะสี				
	เงิน				
ขั้วคะโทด	เงิน	ทองคำ	n/a	อิเล็กโตรด	
ขั้วลบ	ทอง	แพดตินัม		อ้างอิง	
เมมเบรน	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	
สารละลายอิเล็กโตรไลต์	KOH	KCl	KOH	ไม่ใช่	

วิธีอื่นที่ใช้วัดหาปริมาณออกซิเจนได้แก่วิธีทางเคมีโดยใช้วิธีการไตเตรท ที่นิยมกันแพร่หลายได้แก่วิธีของ เอซโซมอดิฟิเคชันของไอโอโดเมตริก (Azide Modification of Iodometric Method) (Clesceri, 1989)

#### เมมเบรน

แผ่นเยื่อที่นิยมใช้กัน คือ PTFE (Teflon®) (polytetrafluoroethylene) เนื่องจากเมื่อเยื่อสัมผัสกับปฏิกิริยา มีความเหนียว ทนสารเคมีดีทุกช่วงอุณหภูมิ ไม่นำไฟฟ้า ลื่น ไม่ยึดติดภาชนะ ทำให้มีความบางมากๆ ได้ มีสมบัติในการแพร่ของก๊าซออกซิเจนได้ดีมาก

นอกจากนี้ยังมีการใช้พอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นต่ำ (high density polyethylene, HDPE และ low density polyethylene, LDPE) ยางซิลิโคน (silicone rubber), เซลโลโลฟอน, collodion และซิลิกาเจล เป็นต้น (Yellow, 1980)

### ก๊าซชนิดอื่นๆ ที่มีผลต่อการวัด

ก๊าซหลายชนิดในน้ำ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) ก๊าซคลอรีน ( $Cl_2$ ) ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ( $NO$ ) ก๊าซโบรมีน ( $Br_2$ ) ก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) และ ก๊าซแอมโมเนีย ( $NH_3$ ) ก๊าซเหล่านี้สามารถแพร่ผ่านแผ่นเยื่อหุ้มวัดได้เหมือนก๊าซออกซิเจน

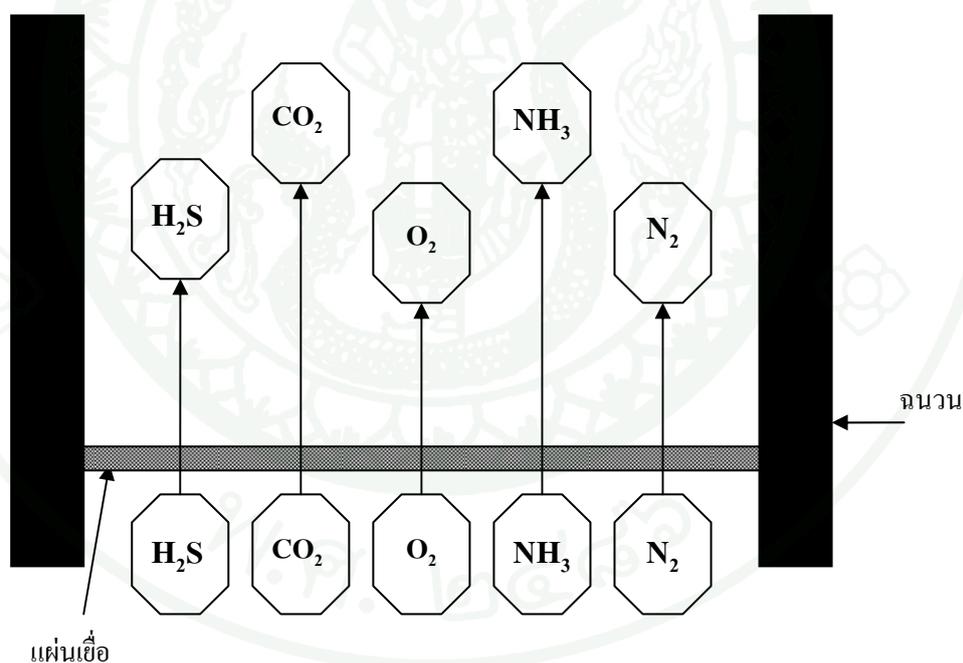
1. ก๊าซ  $N_2$  ไม่มีผลต่อวัดดีโอ
2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (KCl) มี pH เท่ากับ 7 จึงช่วยป้องกันการรบกวนจากก๊าซ  $NH_3$  ได้ ( $NH_3$  จะอยู่ในรูปของ  $NH_4^+$  ไอออน)
3. ก๊าซ  $Cl_2$ ,  $NO$  และ  $Br_2$  มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าก๊าซ  $O_2$  จึงแพร่ผ่านแผ่นเยื่อหุ้มวัดได้มากกว่าก๊าซออกซิเจน ( $O_2$ ) แต่เนื่องจากมีปริมาณน้อยมากๆ จึงไม่มีผลมากนักต่อการวัดดีโอ
4. ก๊าซที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ก๊าซ  $H_2S$  และ ก๊าซ  $SO_2$  เมื่อแพร่ผ่านเยื่อหุ้มวัดแล้วจะไปทำปฏิกิริยากับขั้วแคโทด (ก๊าซ  $H_2S$  ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน) ๘เมื่อก๊าซ  $H_2S$  แพร่เข้าสู่ใกล้ขั้วแคโทด จะทำปฏิกิริยากับ  $OH^-$  ไอออนที่เกิดอยู่รอบๆ ขั้วแคโทด ได้  $HS^-$  ไอออน (hydrogen sulfide ion) และ  $S^{2-}$  ไอออน (sulfide ion) ดังปฏิกิริยา



$S^{2-}$  ไอออนจะทำปฏิกิริยากับขั้วแอโนด (ทำจากเงิน) ได้ตะกอนสีดำ  $Ag_2S$  (silver sulfide) เคลือบที่ผิวเงิน ดังปฏิกิริยา



5. สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์( $\text{CO}_2$ ) นั้น เมื่อใช้หัววัดดีโอในระยะสั้น สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (KCl) จะมีความสามารถในการต่อต้านการแพร่ผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) แต่ใช้หัววัดในระยะนาน ความเป็นกรดในน้ำตัวอย่างจะเพิ่มขึ้น (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) รวมกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) มีผลทำให้ค่าดีโอวัดได้สูงกว่าปกติ หัววัดแบบโพลารोगราฟฟิก จะมีความสามารถในการต่อต้าน(มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer capacity) มากกว่าหัววัดแบบกลปีวานิก เนื่องจากให้  $\text{OH}^-$  ไอออน (hydroxide ion) ในจำนวนที่มากกว่า ( $\text{OH}^-$  ไอออนไปสะเทิน  $\text{H}^+$  ไอออนจากกรดคาร์บอนิก) อย่างไรก็ตาม หัววัดทั้งสองแบบจะมีปัญหาต่อการวัดดีโอในสารละลายที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) สูง เช่น ในการผลิตเบียร์, เหล้าองุ่น และเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม เป็นต้น หลักการที่สำคัญ คือ ถ้าก๊าซออกซิเจนในน้ำน้อยกว่า 10% saturation (มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ละลายอยู่มาก) ไม่ควรวัดค่าดีโอ



ภาพที่ 7 ก๊าซชนิดต่างๆ ที่แพร่ผ่านเยื่อหัววัดดีโอ

ที่มา: คัดแปลงจาก นิพนธ์ และ คณิตา (2550)

ความต่างศักย์ขั้วไฟฟ้าระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอโนดหาได้จาก

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{แคโทด}} - E_{\text{แอโนด}}$$

ตารางที่ 2 ศักย์ไฟฟ้าแบบรีดักชันมาตรฐานที่ 25<sup>0</sup>C

ปฏิกิริยารีดักชัน	ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
$F_2 + 2 e^- \rightarrow 2 F^-$	2.870
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	1.820
$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow 2 H_2O$	1.770
$MnO_4^- + 4 H^+ + 3 e^- \rightarrow MnO_2 + 2 H_2O$	1.700
$PbO_2 + 4 H^+ + SO_4^{2-} + 2 e^- \rightarrow PbSO_4 + 2 H_2O$	1.700
$Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+}$	1.610
$MnO_4^- + 8 H^+ + 5 e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4 H_2O$	1.510
$Au^{3+} + 3 e^- \rightarrow Au$	1.500
$Cl_2(g) + 2 e^- \rightarrow 2 Cl^-$	1.360
$Cr_2O_7^{2-} + 14 H^+ + 6 e^- \rightarrow 2 Cr^{3+} + 7 H_2O$	1.330
$MnO_2 + 4 H^+ + 2 e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2 H_2O$	1.280
$O_2(g) + 4 H^+ + 4 e^- \rightarrow 2 H_2O$	1.230
$2 IO_3^- + 12 H^+ + 10 e^- \rightarrow I_2 + 6 H_2O$	1.200
$Br_2 + 2 e^- \rightarrow 2 Br^-$	1.090
$OCl^- + H_2O + 2 e^- \rightarrow Cl^- + 2 OH^-$	0.940
$2 Hg^{2+} + 2 e^- \rightarrow 2 Hg$	0.920
$Cu^{2+} + I^- + e^- \rightarrow CuI$	0.850
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.800
$Hg^{2+} + 2 e^- \rightarrow 2 Hg$	0.790
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	0.771
$O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2O_2$	0.680

## ตารางที่ 2 (ต่อ)

ปฏิกิริยารีดอกซ์	ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
$\text{Cu}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{e}^- \longrightarrow \text{CuCl}$	0.566
$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$	0.340
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Hg} + 2 \text{Cl}^-$	0.270
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Hg} + 2 \text{Cl}^- (\text{satKCl})$	0.244
$\text{AgCl} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.222
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}^+$	-0.150
$\text{Sn}^{4+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Sn}^{2+}$	0.130
$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Pb}$	-0.130
$\text{Sn}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Sn}$	-0.140
$2 \text{CuO} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{OH}^-$	-0.150
$\text{AgI} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag} + \text{I}^-$	-0.151
$\text{CuI} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Cu} + \text{I}^-$	-0.170
$\text{Ni}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Ni}$	-0.250
$\text{PbSO}_4 + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.310
$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \longrightarrow 2 \text{Cu} + 2 \text{OH}^-$	-0.340
$\text{Cd}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Cd}$	-0.400
$\text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}$	-0.440
$\text{Cr}^{3+} + 3 \text{e}^- \longrightarrow \text{Cr}$	-0.740
$\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \longrightarrow \text{Zn}$	-0.763

ที่มา: เพ็ญศรี (2539)

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์และสารเคมี

1. วัสดุเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ
  - 1.1 วงจรเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter)
  - 1.2 วงจรขยายสัญญาณ
  - 1.3 วงจรแสดงผลจอดิจิทัล
  - 1.4 ขั้วไฟฟ้าเงิน 99%
  - 1.5 ขั้วไฟฟ้าทอง 99%
  - 1.6 สายไฟ
  - 1.7 ปลอกหุ้มวัดเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ
  - 1.8 แผงพลาสติกซูเปอร์ลีน
  - 1.9 คอมพิวเตอร์
2. อุปกรณ์วิทยาศาสตร์
  - 2.1 บีกเกอร์
  - 2.2 หลอดหยดสาร
  - 2.3 แผงแก้วคน

2.4 กล้องถ่ายภาพความละเอียด 5 ล้านพิกเซล

### 3. สารเคมี

3.1 KCl ความเข้มข้น 0.5 N, 2 N และ 5 N

3.2 น้ำประปา

3.3 น้ำกลั่น

3.4 แผ่นเยื่อได้แก่โพลีเอทิลีน, แผ่นเยื่อของ YSI, แผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON)

### 4. เครื่องมือวัด

4.1 เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON

4.2 เทอร์โมมิเตอร์ปรอท

4.3 โวลต์มิเตอร์

4.4 นาฬิกาจับเวลาเป็นนาฬิกา

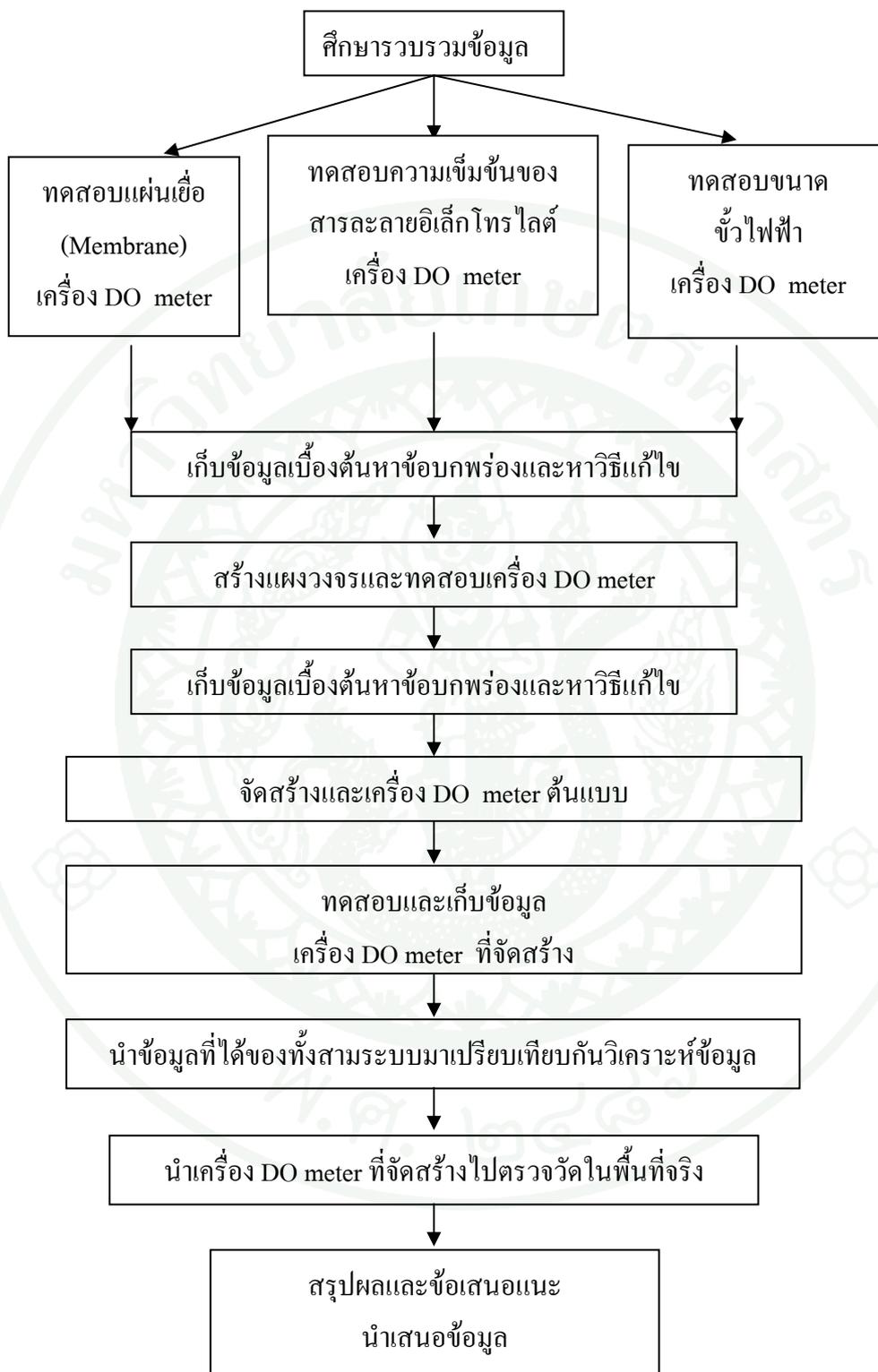
4.5 ถังอ็อกได้น้ำของ HETO

4.6 เครื่อง FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)

4.7 กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) SEM

4.8 กล้องจุลทรรศน์

4.9 ไมโครมิเตอร์



ภาพที่ 8 แผนผังการดำเนินงาน

## วิธีการ

### 1. การทดสอบแผ่นเยื่อ (Membrane)

1.1 ทดสอบทางกายภาพโดยเลือกชนิดแผ่นเยื่อ (Membrane) มา 3 ชนิดคือ 1) แผ่นเยื่อที่มาพร้อมกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON 2) แผ่นเยื่อของ YSI 3) โพลีเอทิลีน คุณลักษณะทางกายภาพวัดความหนาแน่นที่ผลการทดสอบ

1.2 ส่องกล้องจุลทรรศน์ดูพื้นผิวของแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 9 กล้องจุลทรรศน์

1.3 นำแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิดไปส่องกล้องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) SEM



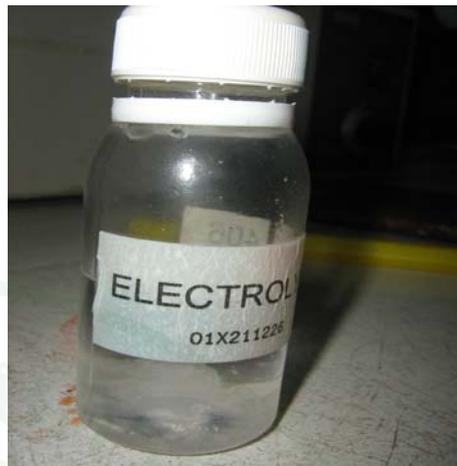
ภาพที่ 10 กล้องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) SEM

1.4 นำแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิดไปทดสอบกับเครื่องFT-IRหาว่าทำจากวัสดุแบบใด



ภาพที่ 11 เครื่องFT-IR

1.5 ทดสอบแผ่นเยื่อทั้ง 3 กับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON โดยใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON โดยวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำกลั่นที่เดิมอากาศทิ้งไว้ 30 นาทีแล้วเปลี่ยนแผ่นเยื่อทีละชนิดแล้วอ่านค่าบันทึกผล



ภาพที่ 12 เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON

2. การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

2.1 ตั้งค่าความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) มาตรฐาน, 5 N, 2 N และ 0.5 N



ภาพที่ 13 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

2.2 ใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON วัดเช็คค่าที่อุณหภูมิห้องในน้ำกลั่นที่เดิมอากาศนาน 30 นาทีใช้แผ่นเชื้อที่มากับตัวเครื่องทดสอบโดยเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ไปเรื่อยๆ จากความเข้มข้นน้อยไปมากจับเวลาแล้วอ่านค่า DO จากเครื่อง



ภาพที่ 14 น้ำกลั่นที่เติมออกซิเจน

### 3. การทดสอบขนาดขั้วไฟฟ้า

3.1 ใช้ขั้วทอง 2 ขนาด 1x2 cm และ 0.4x2 cm ขั้วเงิน 2 ขนาด 1x2 cm และ 0.4x2 cm ต่อเป็นวงจรอย่างง่ายโดยมีการจ่ายแรงดันไฟที่ 5v แล้ววัดแรงดันไฟ



เงิน (Ag)

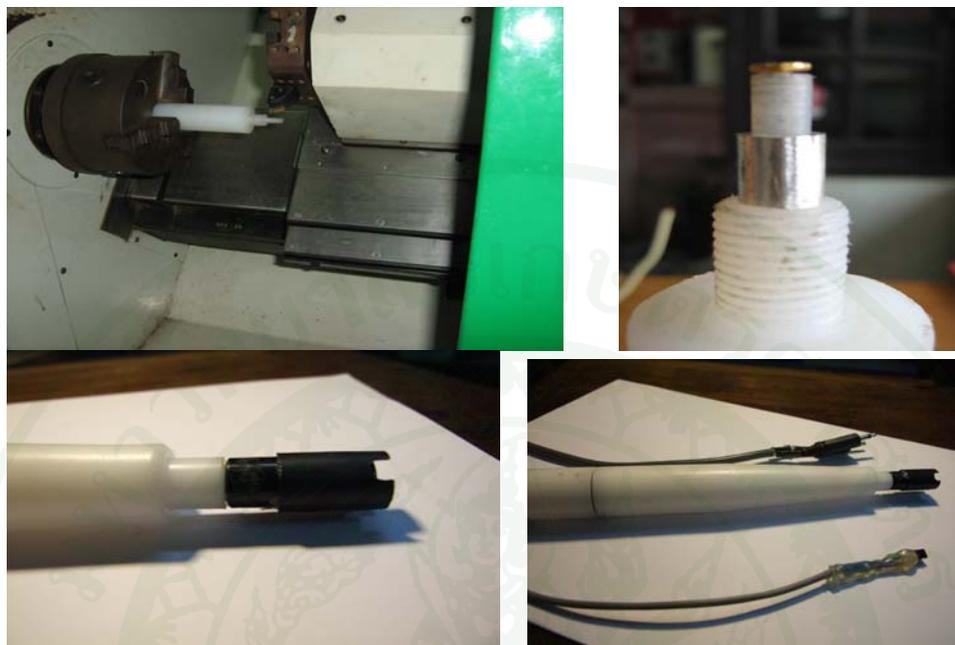


ทอง (Au)

ภาพที่ 15 ขั้วเงินและทอง



#### 4.2 ทำการขึ้นรูปหัววัดโดยใช้เครื่องกลึงCMC แล้วประกอบหัววัด



ภาพที่ 18 หัววัดออกซิเจนละลายน้ำ

#### 5. ทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

5.1 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากการอ่านค่าจาก DO 0 หรือเช็คแรงดันไฟ โดยวัดค่าแรงดันไฟกับค่าการละลายของออกซิเจนแล้วบันทึกผลเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่อง



ภาพที่ 19 น้ำยา DO 0 และเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ

5.2 เตรียมบิกเกอร์ใส่น้ำกลั่นแล้วอัดอากาศลงไปใต้น้ำกลั่นทิ้งไว้ 30 นาที

5.3 เปิดเครื่องใช้เครื่องถังอ็อกซิเจน (water bath) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบ



ภาพที่ 20 น้ำกลั่นที่ควบคุมอุณหภูมิและมีการเติมอากาศจนอิ่มตัว

5.4 นำบิกเกอร์น้ำกลั่นใส่ในเครื่องถังอ็อกซิเจน (water bath) ตั้งค่าที่อุณหภูมิที่ต้องการวัดค่าอุณหภูมิน้ำกลั่นให้หนึ่ง

5.5 วัดค่าอุณหภูมิ ค่าการละลายออกซิเจนในน้ำของทั้งสองเครื่องวัดต้นแบบกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON



ภาพที่ 21 การทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

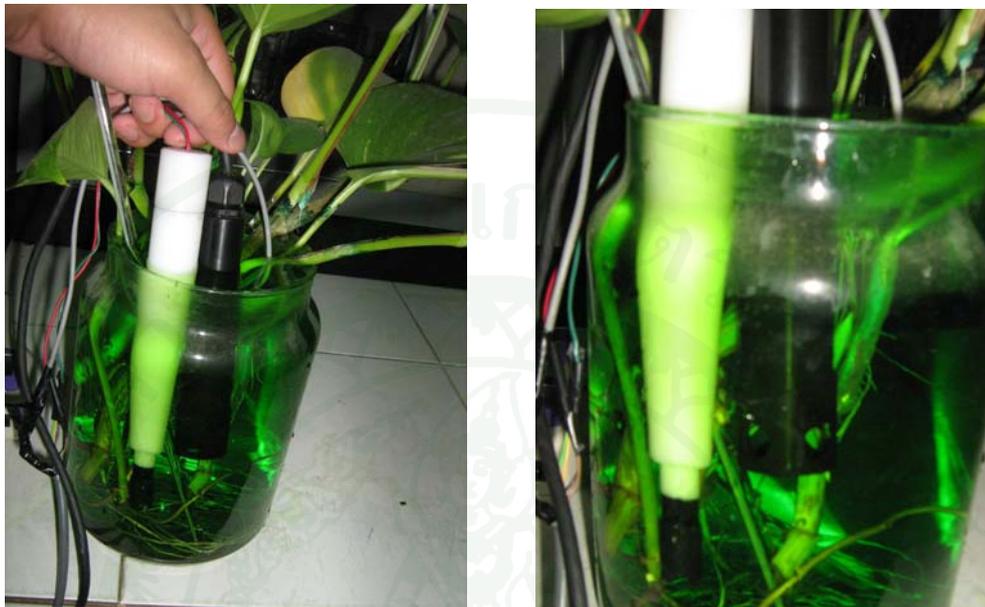
6. ทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ ณ พื้นที่จริง

6.1 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำประปา โดยวัดค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำประปาว่าแตกต่างกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON



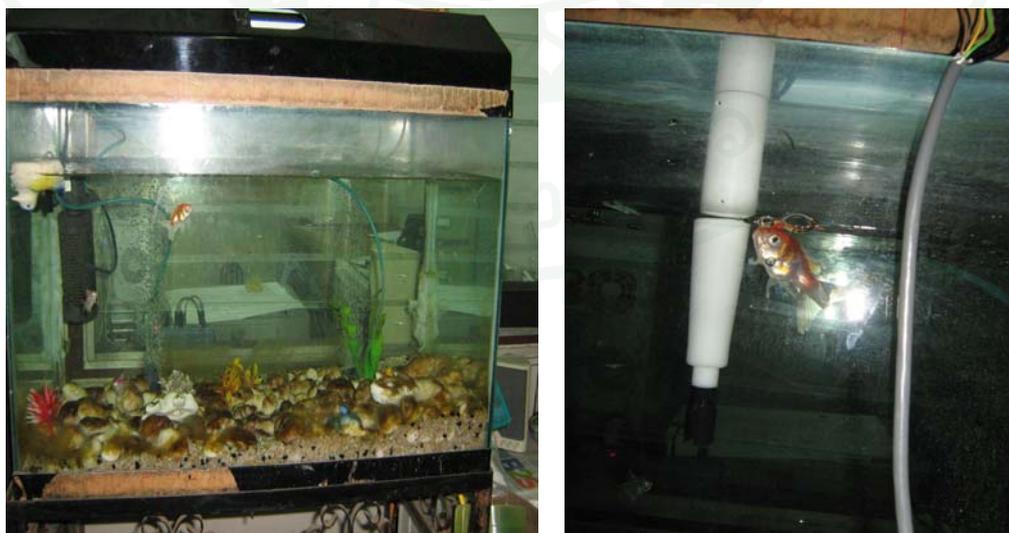
ภาพที่ 22 ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำประปา

6.2 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในกระถางต้นไม้ โดยวัดค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำกระถางต้นไม้ว่าแตกต่างกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON



ภาพที่ 23 ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำกระถางต้นไม้ 4 เดือน

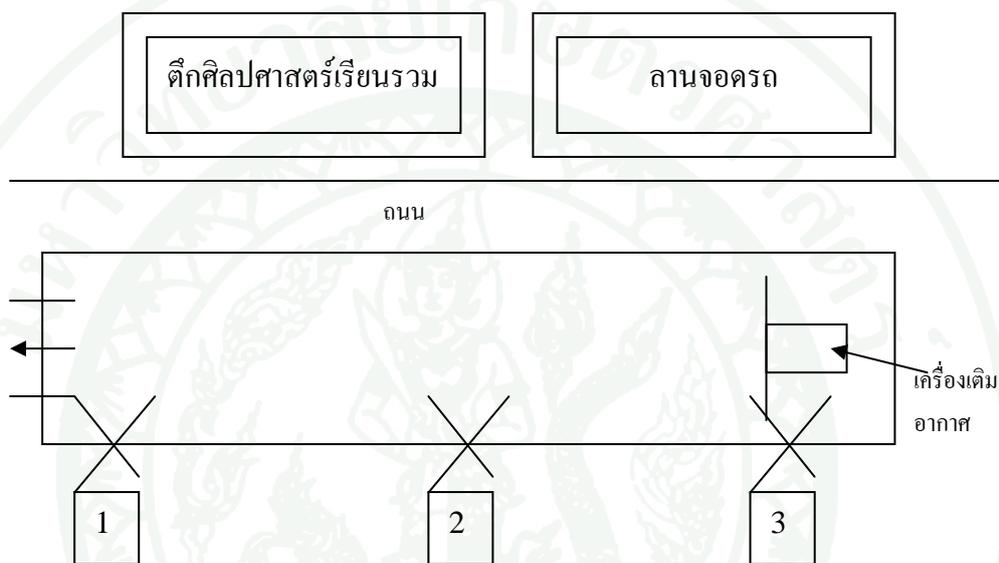
6.3 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในตู้ปลา โดยวัดค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำตู้ปลาว่าแตกต่างกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON



ภาพที่ 24 ทดสอบวัดค่า DO ในน้ำที่ตู้ปลา 2 เดือน

#### 6.4 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในคลองน้ำทิ้ง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุดในคลองน้ำทิ้งตามภาพแล้วใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบวัดเทียบค่ากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON โดยแบ่งจุดเก็บออก 3 จุดตามภาพ 1 เมตรส่วนโดยประมาณ (1cm: 1m)



ภาพที่ 25 จุดเก็บน้ำมาทดสอบ



จุดที่ 1



จุดที่ 2

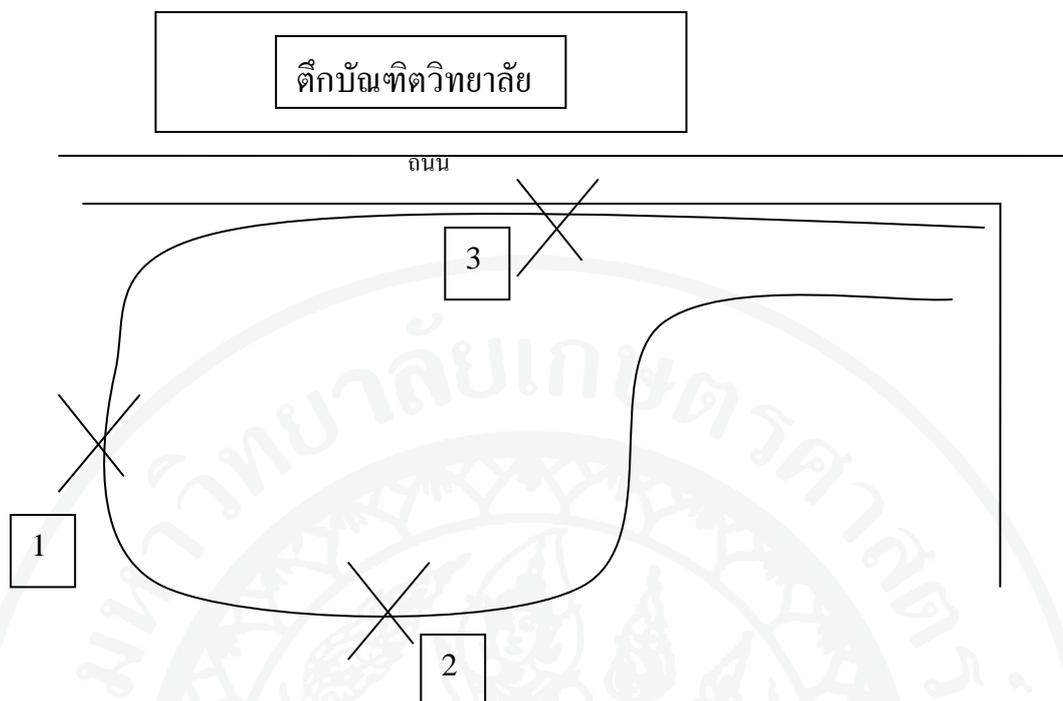


จุดที่ 3

## ภาพที่ 26 ทดสอบวัดค่าDOในน้ำที่คลองน้ำทิ้ง

### 6.5 ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในบึงน้ำนิ่ง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ 3 จุดในบึงน้ำนิ่งตามภาพแล้วใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบวัดเทียบค่ากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON มาตรฐาน โดยประมาณ (1cm: 1m)



ภาพที่ 27 จุดเก็บน้ำมาทดสอบ



จุดที่1



จุดที่2



จุดที่3

ภาพที่ 28 ทดสอบวัดค่าDOในน้ำที่บึงน้ำนิ่ง

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### ผลการทดสอบแผ่นเยื่อ (Membrane)

##### 1. ทดสอบลักษณะทางกายภาพ



1) แผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัด  
ออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น  
DO100ของOAKTON

2) แผ่นเยื่อของ YSI

3) โพลีเอทิลีน

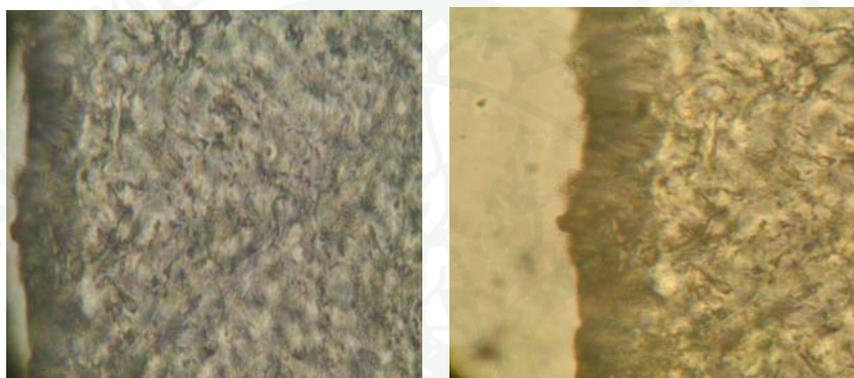
#### ภาพที่ 29 ชนิดของแผ่นเยื่อ (Membrane)

#### ตารางที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นเยื่อ (Membrane)

ชนิดของแผ่นเยื่อ (Membrane)	สี	ความโปร่ง แสง	น้ำซึมผ่าน	ความหนา
1) แผ่นเยื่อที่มากับ เครื่องวัดออกซิเจน ละลายในน้ำรุ่น DO100ของOAKTON	ขาวขุ่น	แสงผ่านได้	ไม่ได้	0.035 mm
2) แผ่นเยื่อของ YSI	ใส	แสงผ่านได้	ไม่ได้	0.025 mm
3) โพลีเอทิลีน	ใส	แสงผ่านได้	ไม่ได้	0.030 mm

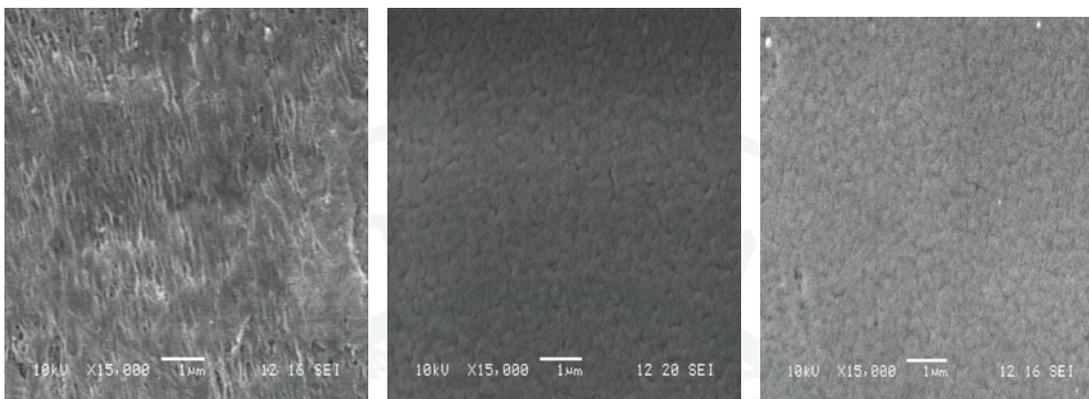
จะเห็นได้ว่าจากตารางที่ 6 ทั้ง 3 แผ่นเยื่อมีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันมาก ต่างกันตรงความขุ่นและความหนา

2. ส่องกล้องจุลทรรศน์ดูพื้นผิวของแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิด เมื่อนำแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 แบบไปส่องกับกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่กำลังขยายสูงสุด 800 เท่า สามารถเห็นได้เพียงแผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON เท่านั้น เนื่องจากอีก 2 ชนิดมีลักษณะใสจึงไม่สามารถมองหาลักษณะพื้นผิวได้



ภาพที่ 30 แผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON ที่กำลังขยาย 800 เท่า

3. นำแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิด ไปส่องกล้องกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) SEM



1) แผ่นเยื่อที่มาจกั้บเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100ของOAKTON

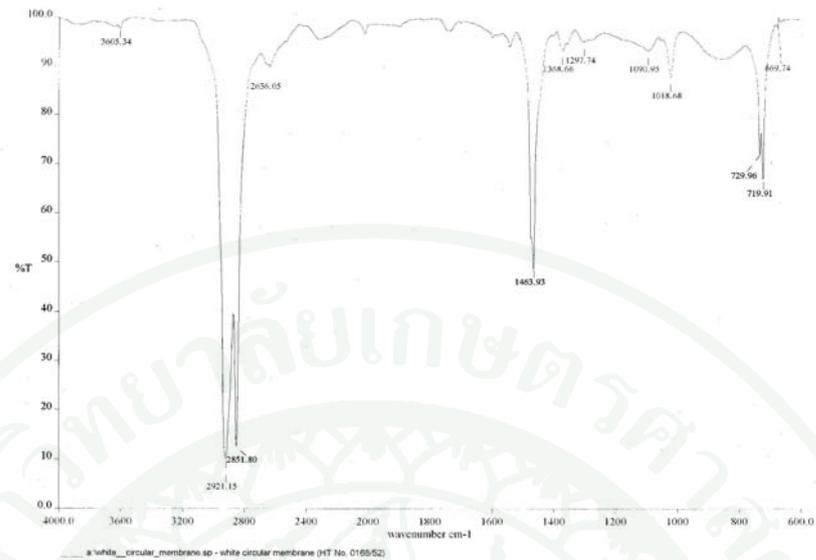
2) แผ่นเยื่อของ YSI

3) โพลีเอทิลีน

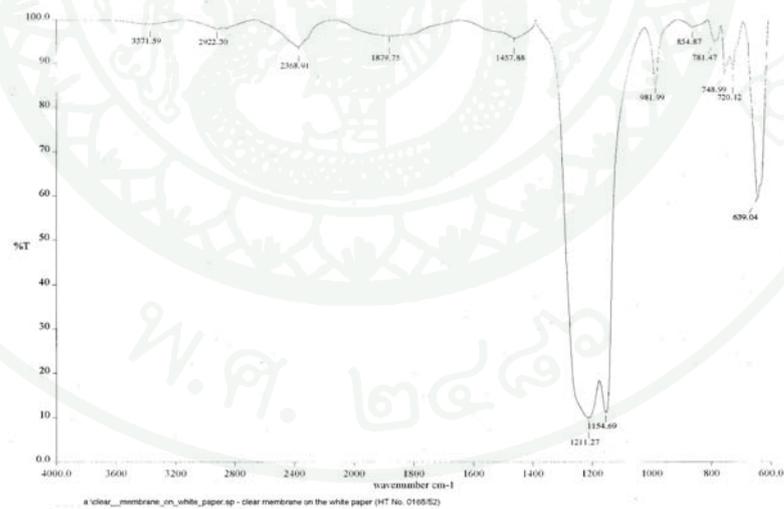
ภาพที่ 31 แผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ที่กำลังขยาย 15000 เท่า

เมื่อนำมาขยายที่ 15,000 เท่าแผ่นเยื่อที่มาจกั้บเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบเรียงตัวไม่เป็นระเบียบคล้ายรอยย่นส่วนแผ่นเยื่อของ YSI และโพลีเอทิลีนใสอีก 2 ชนิดมีลักษณะคล้ายกันเรียงตัวเป็นระเบียบ

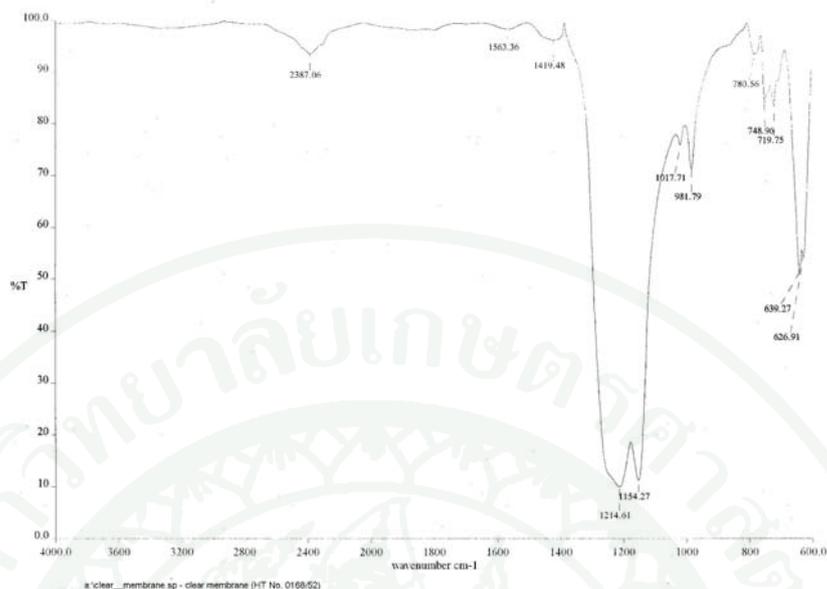
4. เมื่อนำแผ่นเยื่อ (Membrane) ทั้ง 3 ชนิด ไปทดสอบกับเครื่อง FT-IR



ภาพที่ 32 ผลการทดสอบแผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON กับเครื่อง FT-IR



ภาพที่ 33 ผลการทดสอบแผ่นเยื่อ แผ่นเยื่อของ YSI กับเครื่อง FT-IR



ภาพที่ 34 ผลการทดสอบแผ่นเยื่อ โพลีเอทิลีนใสกับเครื่อง FT-IR

จากกราฟแผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON มีลักษณะของกราฟแตกต่างจากแผ่นเยื่ออีก 2 ชนิด โดยแผ่นเยื่อแผ่นเยื่อของ YSI และโพลีเอทิลีนใสที่เหลือมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

#### 5. ทดสอบแผ่นเยื่อทั้ง 3 กับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON

ตารางที่ 4 แสดงค่า DO ของแผ่นเยื่อ (Membrane) ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 24°C ความดัน 1 บรรยากาศ

ชนิดของแผ่นเยื่อ ครั้งที่	แผ่นเยื่อ (Membrane) มาตรฐาน	แผ่นเยื่อของ YSI	โพลีเอทิลีน
1	7.93 mg/l	28.01 mg/l	8.21 mg/l
2	7.82 mg/l	27.47 mg/l	7.89 mg/l
3	7.54 mg/l	27.52 mg/l	7.46 mg/l
เฉลี่ย	7.76 mg/l	27.67 mg/l	7.85 mg/l

การทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้ของทั้ง 3 แผ่นเยื่อ (Membrane) ที่อุณหภูมิ 24<sup>0</sup>C จะได้ค่า DO ของแผ่นเยื่อที่มากับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO100 ของ OAKTON ได้ 7.76 mg/l ค่า DO ของแผ่นเยื่อของ YSI 27.67 mg/l ค่า DO ของโพลิเอทิลีน 7.85 mg/l จะเห็นได้ว่าค่า DO ของแผ่นมาตรฐานใกล้เคียงกับโพลิเอทิลีน

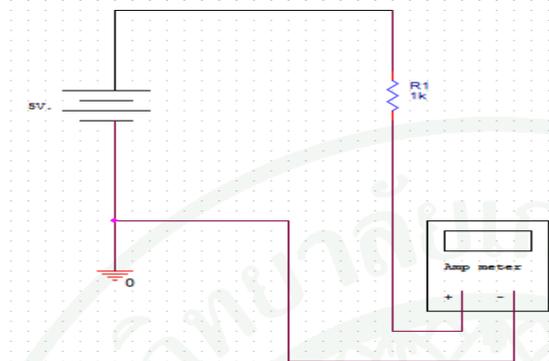
### การทดสอบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

ตารางที่ 5 แสดงค่า DO เมื่อความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ 25<sup>0</sup>C ความดัน 1 บรรยากาศ

ความเข้มข้น ครั้งที่	มาตรฐาน		0.5 N		2 N		5 N	
	เวลา (นาท)	DO Mg/l	เวลา (นาท)	DO Mg/l	เวลา (นาท)	DO Mg/l	เวลา (นาท)	DO Mg/l
1	2	8.54	6	10.27	4	9.70	2	8.44
2	1	8.68	10	10.04	5	10.21	3	8.58
3	2	8.78	8	11.11	5	10.14	4	8.91
เฉลี่ย	1.67	8.67	8	10.47	4.67	10.02	3	8.63

จากการทดสอบเปลี่ยนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ หา ค่า DO เฉลี่ยกับเวลาเฉลี่ย อ่านได้ที่ความเข้มข้นมาตรฐาน ใช้เวลา 1.67 นาที ค่า DO 8.67 mg/l ที่ความเข้มข้น 0.5 N ใช้เวลา 8 นาที ค่า DO 10.47 mg/l ที่ความเข้มข้น 2 N ใช้เวลา 4.67 นาที ค่า DO 10.02 mg/l ที่ความเข้มข้น 5 N ใช้เวลา 3 นาที ค่า DO 8.63 mg/l จากผลจะเห็นได้ว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นมากก็สามารถอ่านค่าได้ไวและเที่ยงตรงกว่าความเข้มข้นน้อย

การทดสอบขนาดขั้วไฟฟ้า



จากการคำนวณ

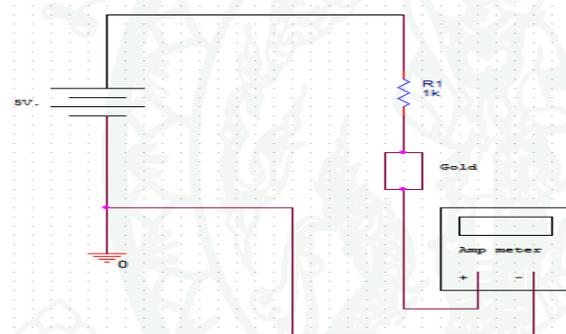
$$V = I / R$$

$$V = 5 / 1k$$

$$V = 5 \text{ v}$$

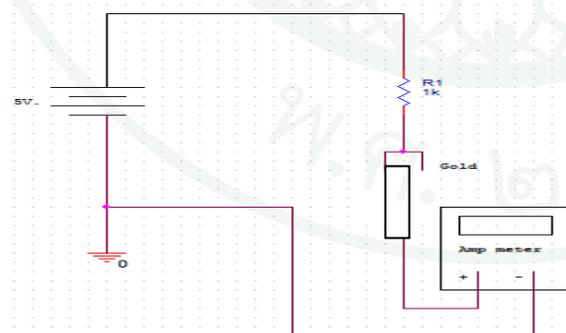
จากการทดลองเมื่อไม่มีทอง

$$V = 4.98 \text{ v}$$



จากการทดลองเมื่อมีทองขนาด 1x2 cm

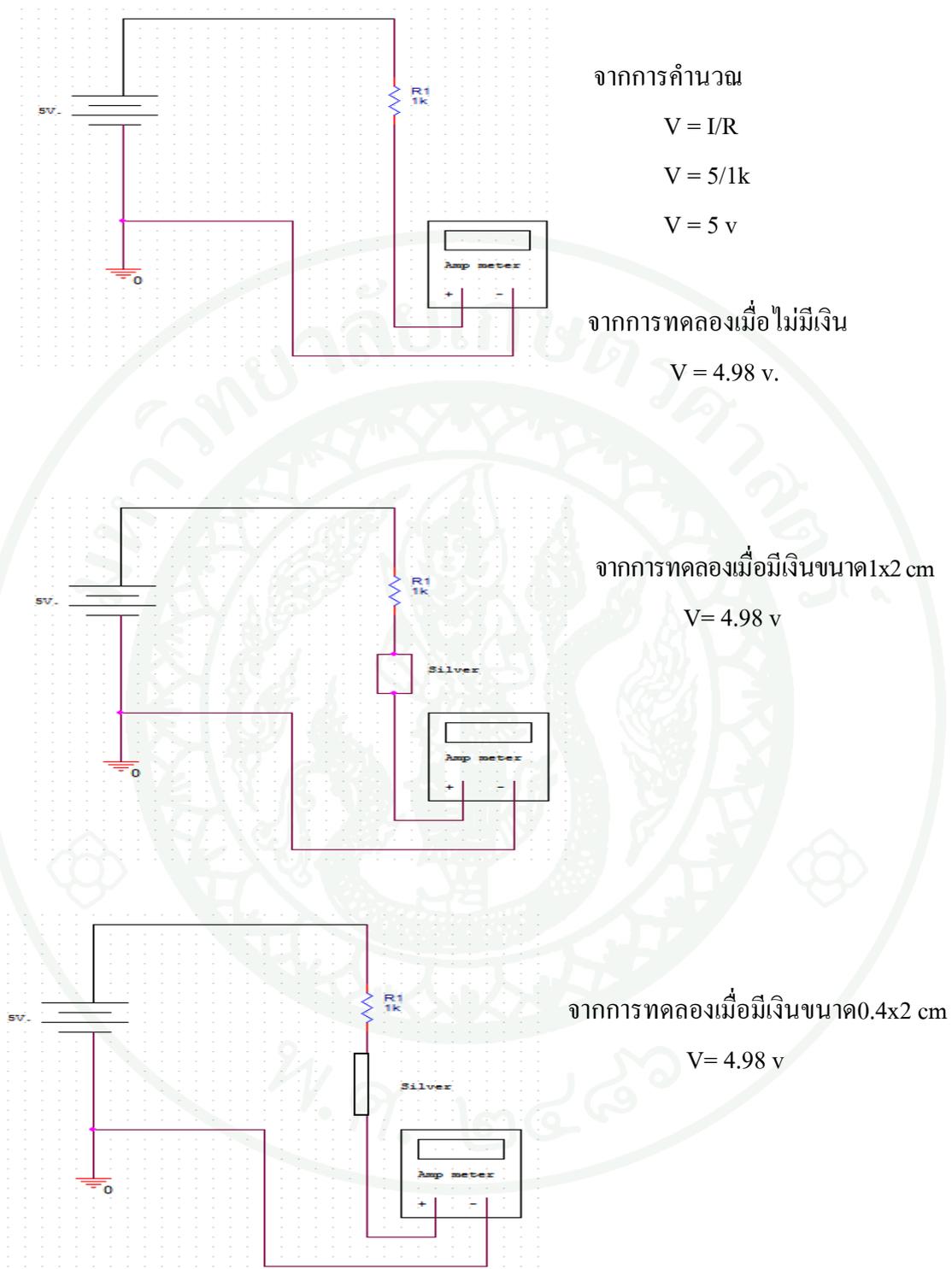
$$V = 4.98 \text{ v.}$$



จากการทดลองเมื่อมีทองชิ้น 0.4x2 cm

$$V = 4.98 \text{ v.}$$

ภาพที่ 35 การทดสอบขนาดขั้วไฟฟ้า



ภาพที่ 35 (ต่อ)

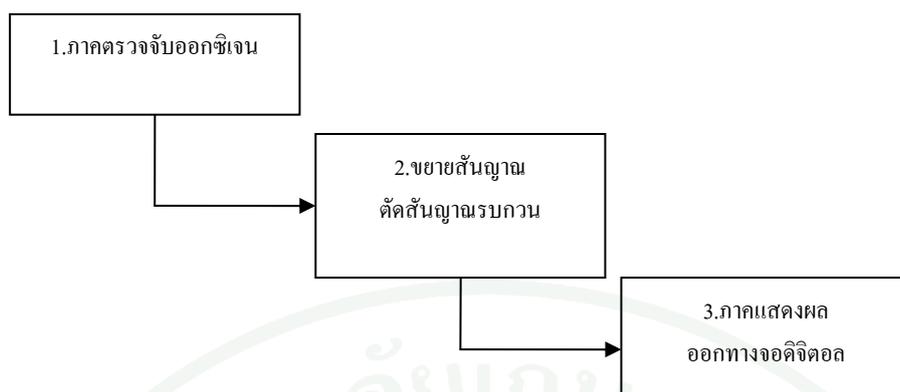
จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดจะได้ค่าของวงจรก่อนและหลังใส่ทอง  
 เข้าในระบบมีค่าแรงดันเท่ากันคือ 4.98 V ทั้งขนาด 1x2 cm กับ 0.4x2 cm และในขั้วเงินค่าที่วัดได้  
 จากโวลต์มิเตอร์ก่อนและหลังใส่เงินในวงจรมีค่าแรงดันไฟเท่ากันคือ 4.98 V ทั้งขนาด 1x2 cm กับ  
 0.4x2 cm ดังนั้นจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าขนาดของขั้วไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้า

### จัดสร้างเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบ



ภาพที่ 36 แผงวงจรเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบและหัววัด

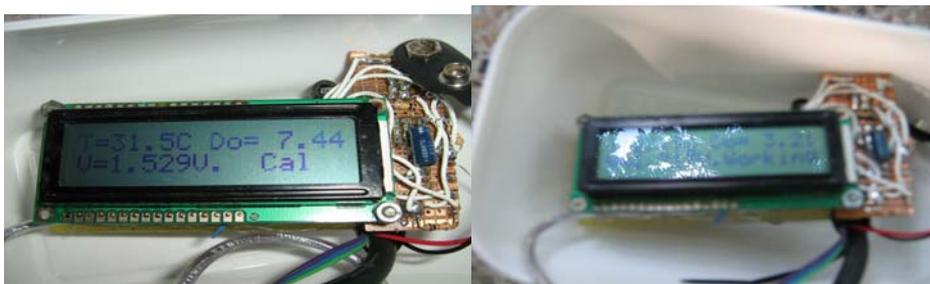
หลักการทํางานและวิธีใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบดังภาพที่ 28



ภาพที่ 37 การทำงานของวงจรเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ

วิธีการใช้เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ

- 1) เสียบสายยูเอสบีเข้าคอมพิวเตอร์หรือต่อถ่าน 9 v เพื่อต่อไฟเข้าเครื่อง
- 2) ขณะยังไม่เสียบหัววัดเข้ากับเครื่องเช็คค่าแรงดันที่อ่านได้ว่าเท่ากับ 0.312 v เป็นการเช็ค  
ว่าเครื่องใช้ได้หรือไม่
- 3) เสียบสายแจ็คหัววัดที่เคมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วเข้ากับวงจร
- 4) ทิ้งไว้ 5-10 นาทีให้หัววัดอ่านค่าแรงดันได้ประมาณ 1.6 v สถานะจะแสดงว่า cal  
ในขั้นตอนนี้
- 5) เมื่อกำลังเอาสายวัดอุณหภูมิจุ่มในน้ำที่ต้องการวัดก่อนแต่หัววัดยังไม่ต้องจุ่ม
- 6) กดปุ่ม cal เพื่อเซตค่าขั้นตอนนี้จะแสดงว่าstoreแล้วกดปุ่มอีกครั้ง
- 7) เมื่อกดปุ่มแล้วก็สามารถอ่านค่าDOได้โดยเอาหัวจุ่มลงในน้ำที่ต้องการตรวจสอบ  
จะแสดงสถานะว่า working เมื่อกำลังจุ่มก็อ่านค่าได้
- 8) สามารถอ่านค่าได้ที่อุณหภูมิ 15-50 °C และวัดค่า DO ที่ไม่ต่ำกว่า 2 mg/l



ภาพที่ 38 หน้าจอแสดงผล

### ทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

1. ทดสอบเครื่อง โดยวัดจากการอ่านค่าจาก DO 0 หรือเช็คแรงดันไฟ

### ตารางที่ 6 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ทดสอบระบบเครื่อง

	ค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ มาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัด ออกซิเจนละลาย ในน้ำรุ่น DO100 ของ OAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>o</sup> C	26.5	26.5	26.2	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ		0.312 v	0 mg/l	
		0.312 v	0 mg/l	
		0.312 v	0 mg/l	
เฉลี่ย		0.312 v	0 mg/l	

จากการทดสอบพบว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON เมื่อจุ่มใน DO 0 อ่านได้ค่า 0 แปลว่าเครื่องทำงานปกติ เนื่องจากเครื่องต้นแบบไม่สามารถอ่านค่า DO ที่ต่ำกว่า 2 mg/l ดังนั้นจึงออกแบบให้เช็คระบบได้โดยปลดสายแจ็คหัววัดออกดูว่าค่าที่ได้เท่ากับ 3.12 v หรือไม่ผลแสดงว่าอ่านได้แปลว่าเครื่องทำงานปกติ

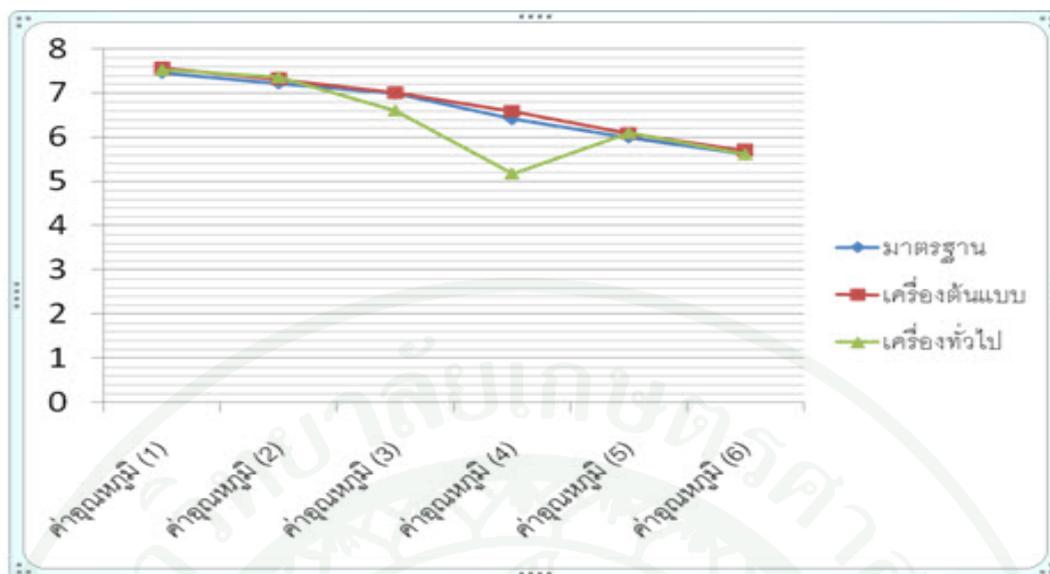
2. ทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบในน้ำกลั่นในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 7 ค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความดันบรรยากาศไม่มีความเค็ม

	ค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ มาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัด ออกซิเจนละลาย ในน้ำรุ่นDO100 ของ OAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	31.5	31.5	29.4	วัดในอากาศ เพื่อสอบเทียบ
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	7.35	7.45	7.70	ในอากาศ
1.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	30.5	30.4	30.3	ในน้ำกลั่น เติมอากาศ นาน30นาที
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	7.46	7.56	7.53	
	7.46	7.56	7.52	
	7.46	7.56	7.53	
เฉลี่ย	7.46	7.56	7.53	
2.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	32.5	32.6	32.3	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	7.22	7.31	7.37	
	7.22	7.31	7.35	
	7.22	7.32	7.35	
เฉลี่ย	7.22	7.31	7.36	
3.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	34.5	34.5	34.1	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	6.99	7.05	6.98	
	6.99	7.05	6.54	
	6.99	6.92	6.31	
เฉลี่ย	6.99	7.00	6.61	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	ค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ มาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัด ออกซิเจนละลาย ในน้ำรุ่นDO100 ของ OAKTON	หมายเหตุ
4.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	40	39.8	37.6	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	6.41	6.62	5.35	
	6.41	6.56	5.13	
	6.41	6.56	5.06	
เฉลี่ย	6.41	6.58	5.18	
5.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	44.5	44.3	40	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	6	6.13	6.21	
	6	6.05	6.13	
	6	6.05	5.96	
เฉลี่ย	6	6.08	6.1	
6.ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	49	48.8	46.7	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l	5.62	5.70	5.72	
	5.62	5.71	5.64	
	5.62	5.68	5.50	
เฉลี่ย	5.62	5.70	5.62	



ภาพที่ 39 ค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศไม่มีความเค็ม

จากตารางทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบเทียบกับค่ามาตรฐานและเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON ที่อุณหภูมิต่าง 6 ค่า จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานและสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้อย่างใกล้เคียงกับเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทด้วยและเมื่อดูจากกราฟ 4 ค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศไม่มีความเค็ม จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบมีค่าความใกล้เคียงกับค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำตามตารางมาตรฐานเฉลี่ยดังสมการที่ 27

$$(0.1+0.09+0.01+0.17+0.08+0.08)/6 = 0.088 \text{ mg/l} \quad (27)$$

และจะเห็นได้ว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบมีค่าความใกล้เคียงกับค่าการละลายของออกซิเจนในน้ำของเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON เฉลี่ยดังสมการที่ 28

$$(0.03+0.05+0.39+1.4+0.02+0.08)/6 = 0.328 \text{ mg/l} \quad (28)$$

## ทดสอบเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบ ณ พื้นที่ต่างๆ

### 1. ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำประปา

#### ตารางที่ 8 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่น้ำประปา

	ค่าออกซิเจนละลาย ในน้ำมาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัดออกซิเจน ละลายในน้ำรุ่น DO100ของ OAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	31	31.2	32.9	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l		7.47	7.26	
		7.45	7.26	
		7.45	7.24	
เฉลี่ย	7.41	7.46	7.25	

จะเห็นว่าค่า DO ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 7.41 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบอ่านได้ 7.46 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON 7.25 mg/l

### 2. ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในกระถางต้นไม้

ตารางที่ 9 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่กระถางต้นไม้ 4 เดือน

	ค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ มาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัด ออกซิเจนละลาย ในน้ำรุ่นDO100 ของOAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	30	30.1	31.1	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l		7.54	7.06	
		7.60	7.25	
		7.58	7.58	
เฉลี่ย	7.54	7.57	7.30	

จะเห็นได้ว่าค่า DO ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 7.54 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบอ่านได้ 7.57 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่นDO 100 ของ OAKTON อ่านค่าได้ 7.30 mg/l

### 3. ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในตู้ปลา

ตารางที่ 10 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตู้ปลา 2 เดือน

	ค่าออกซิเจน ละลายในน้ำ มาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัด ออกซิเจนละลาย ในน้ำรุ่นDO100 ของOAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	31	30.2	30.5	
ค่าออกซิเจน ละลายน้ำ mg/l		7.65	7.82	
		7.70	7.56	
		7.49	7.56	
เฉลี่ย	7.41	7.61	7.65	

จะเห็นได้ว่าค่า DO ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดยค่ามาตรฐานอยู่ที่ 7.41 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ต้นแบบอ่านได้ 7.61 mg/l เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON อ่านได้ 7.65 mg/l

#### 4. ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในคลองน้ำทิ้ง

ตารางที่ 11 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่คลองน้ำทิ้ง+ที่เดิมอากาศ

	ค่าออกซิเจนละลาย ในน้ำมาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัดออกซิเจน ละลายในน้ำรุ่น DO100ของ OAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>o</sup> C	27	27.2	27.8	
จุดที่1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		อ่านค่าไม่ได้	1.02	
			0.75	
			0.20	
เฉลี่ย	7.95		0.67	อ่านค่าไม่ได้ เนื่องจาก น้อยกว่า2mg/l
ค่าอุณหภูมิ <sup>o</sup> C	27	27	27.2	
จุดที่2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		อ่านค่าไม่ได้	0.18	
			0.22	
			0.14	
เฉลี่ย	7.95		0.18	อ่านค่าไม่ได้ เนื่องจาก น้อยกว่า2mg/l
ค่าอุณหภูมิ <sup>o</sup> C	26	26	26.5	
จุดที่3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		6.70	6.46	
		6.56	5.95	
		6.52	6.30	
เฉลี่ย	8.09	6.59	6.24	

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (DO Meter) ดั้งเดิมมาสามารถอ่านค่าจุดที่ 1 และ 2 ได้เนื่องจากค่าDOมีค่าน้อยกว่า 2 mg/l ส่วนจุดที่ 3 สามารถอ่านค่าได้เนื่องจากอยู่ใกล้เครื่องเติมอากาศโดยค่าที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON

#### 5. ทดสอบเครื่องโดยวัดจากน้ำในบึงน้ำนิ่ง

ตารางที่ 12 วัดค่าอุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายน้ำที่หนองน้ำนิ่ง

	ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมาตรฐาน	เครื่องต้นแบบ	เครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่นDO100ของOAKTON	หมายเหตุ
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	28	27.7	27.7	
จุดที่1 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		3.31	3.33	
		3.30	3.23	
		3.27	3.35	
เฉลี่ย	7.81	3.29	3.30	
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	28	28.1	27.8	
จุดที่2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		3.40	3.58	
		3.53	3.40	
		3.45	3.42	
เฉลี่ย	7.81	3.46	3.47	
ค่าอุณหภูมิ <sup>0</sup> C	27.5	27.5	28.1	
จุดที่3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ mg/l		4.01	3.74	
		3.94	4.24	
		4.01	3.80	
เฉลี่ย	7.88	3.97	3.93	

จากการทดสอบวัดค่า DO จากเครื่องที่เป็นต้นแบบกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON มีค่าที่อ่านได้ใกล้เคียงกัน

### วิจารณ์

จากผลการทดสอบการไหลผ่านของแรงดันจะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟไหลผ่านได้เท่ากันไม่ว่าขนาดจะใหญ่หรือเล็กไม่มีผลต่อแรงดันไฟ (เพ็ญศรี, 2539) เมื่อนำมาทดสอบเกี่ยวกับแผ่นเยื่อจะเห็นได้ว่าผลการทดสอบแผ่นเยื่อที่สามารถนำมาใช้ได้ต้องมีคุณสมบัติให้อากาศผ่านได้แต่โมเลกุลของน้ำไม่สามารถผ่านได้ (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550) และเมื่อทดสอบเกี่ยวกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลการทดสอบว่ายิ่งความเข้มข้นมากก็จะสามารถนำผ่านแรงดันไฟฟ้าได้ไวแต่ก็อาจมีผลต่อการสึกกร่อนของขั้วด้วยเช่นกันและยังขึ้นกับวงจรรขยายที่เหมาะสมด้วย (นิพนธ์ และ คณิตา, 2550)

การจัดสร้างเครื่องตรวจวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบในวงจรมีอยู่ 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนรับข้อมูลได้จากหัววัดออกซิเจนละลายในน้ำกับหัววัดอุณหภูมิ ส่วนขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณและลดสัญญาณรบกวนของระบบ ส่วนสุดท้ายคือส่วนแสดงผลเป็นระบบจอ LCD แสดงค่าผลที่ได้จากการวัดค่าละลายออกซิเจนออกมาเป็น mg/l และแสดงค่าอุณหภูมิเป็น °C และแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าออกมาเป็น v (ศุภพร, 2538) และในการจัดสร้างหัววัดได้มีการจัดสร้างโดยใช้วัสดุต่างๆ ดังนี้ ท่อพีวีซี พลาสติกไนลอน พลาสติกเทปลอน พลาสติกซูเปอร์ลีน หลังจากทดสอบในการกลึงและหล่อขึ้นรูปแล้ว พลาสติกที่เหมาะสมได้แก่พลาสติกซูเปอร์ลีน เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานต่อสารเคมีที่มีในน้ำที่ใช้ตรวจวัด และได้ออกแบบให้จับได้ถนัดมือ (ศุภพร, 2538)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องในห้องปฏิบัติการเห็นได้ว่าค่าที่ได้มีความคล้อยคลึงกับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตามตารางมาตรฐาน  $\pm 0.088$  mg/l (ตารางที่ 7) ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Clesceri, 1989) และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องในสภาวะแวดล้อมจริง เห็นได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนต่างกัน  $\pm 0.328$  mg/l (ตารางที่ 7) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบสามารถนำไปใช้งานได้จริงในสภาพแวดล้อมจริงโดยเทียบกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของบริษัท OAKTON

## สรุป

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบที่จัดสร้างขึ้น มีการทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบโดยเมื่อจ่ายไฟเข้าในตัวเครื่องสามารถทำงานได้ตามปกติและเมื่อนำเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำต้นแบบมาทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยเปรียบเทียบกับค่าตารางมาตรฐานของออกซิเจนที่ละลายในน้ำและเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON มีผลออกมาใกล้เคียงกันและเมื่อเทียบกับตารางมาตรฐานของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ จะมีค่าเบี่ยงเบนที่  $\pm 0.088$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7) และเมื่อนำมาทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริง และเปรียบเทียบกับเครื่องวัดออกซิเจนละลายในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON จะมีค่าเบี่ยงเบนที่  $\pm 0.328$  มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 7) ฉะนั้น ถือได้ว่าเครื่องวัดค่าออกซิเจนในน้ำต้นแบบ จะสามารถนำไปใช้งานได้จริงในทุกสภาวะแวดล้อมและมีค่าความน่าเชื่อถือเทียบเท่ากับเครื่องวัดค่าออกซิเจนในน้ำรุ่น DO 100 ของ OAKTON แต่มีราคาถูกกว่า

### ข้อเสนอแนะ

1. ขั้วเงินและขั้วทองสามารถลดพื้นที่ผิวลงได้แต่ความบริสุทธิ์ของขั้วต้องมีความบริสุทธิ์สูงเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ
2. ในการนำไปใช้งานให้เหมาะกับผู้เลี้ยงสัตว์น้ำอาจออกแบบการแสดงผลเป็นแบบไฟให้ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำสามารถเห็นแล้วทราบผลเลยไม่ต้องนำมาเทียบค่า
3. ควรมีสวิตช์เปิดปิดไฟที่ง่ายเข้าวงจรเพื่อสะดวกและถนอมไฟ
4. สามารถใช้วิธีการไตร่ตรองในการทดสอบเพื่อสนับสนุนการทำงานของเครื่อง
5. ในอนาคตสามารถพัฒนาให้มีการเก็บข้อมูลอัตโนมัติ







## รายการราคาอุปกรณ์

### ตารางผนวกที่ ก1 ราคาอุปกรณ์

รายการ	ราคา (บาท)
1. LCD Module 16 x 2 1 ชุด	180 บ.
2. AT Mega8 1 ตัว	55 บ.
3. LM358 2 ตัว	60 บ.
4. LM385 1 ตัว	16 บ.
5. LM 35 1 ตัว	30 บ.
6. 7805 1 ตัว	10 บ.
7. Crystal 16 MHz 1 ตัว	12 บ.
8. Socket 28 ขา 1 ตัว	5 บ.
9. R ¼ W +- 5 % 13 ตัว	3.25 บ.
10. Socket 8 ขา 2 ตัว	12 บ.
11. C 0.1uF 6 ตัว	12 บ.
12. C 10uF/16V.1 ตัว	5 บ.
13. C 330uF/16V. 1 ตัว	10 บ.
14. C 10pF 2 ตัว	4 บ.
15. สาย USB	20 บ.
16. แผ่นปริ้นท์	50 บ.
17.พลาสติกแท่งซุบเปอร์ตีนเมตรละ	300 บ.
18.ข้าวทอง+เงิน	1000 บ.
19.สายไฟ	10 บ.
<b>รวม</b>	<b>1794.25 บ.</b>



## หัววัดในรุ่นต่างๆ ที่จัดทำขึ้น

### รุ่นที่ 1

วัสดุที่ใช้ ท่อ pvc



ภาพผนวกที่ ข1 ปลอกครอบรุ่นที่ 1



ภาพผนวกที่ ข2 ค้ำมจับหัววัดรุ่นที่ 1



ภาพผนวกที่ ข3 ขั้วเงินและขั้วทองรุ่นที่ 1



ภาพผนวกที่ ข4 หัววัดรุ่นที่ 1

## รุ่นที่ 2

วัสดุที่ใช้ แทน ไนลอน



ภาพผนวกที่ ข5 ปลอกครอบรุ่นที่ 2



ภาพผนวกที่ ข6 ค้ำมจับหัววัดรุ่นที่ 2



ภาพผนวกที่ ข7 ขั้วเงินและขั้วทองรุ่นที่ 2



ภาพผนวกที่ ข8 หัววัดรุ่นที่ 2

### รุ่นที่ 3

วัสดุที่ใช้ แท่ง ซุบเปอร์ลีน



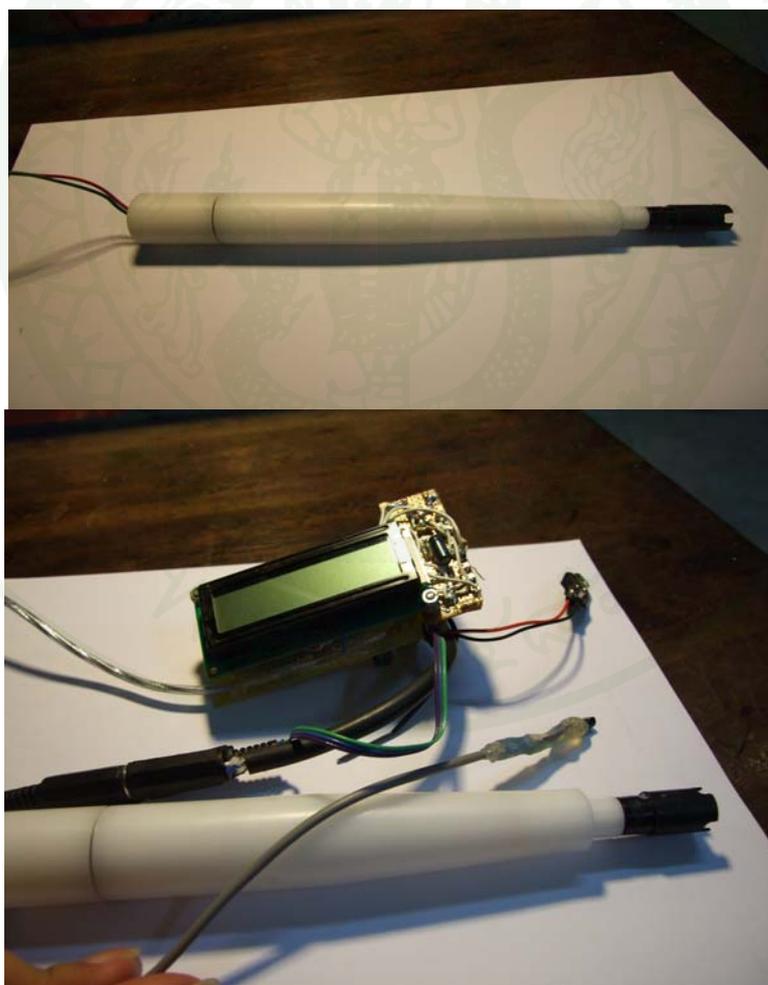
ภาพผนวกที่ ข9 ปลอกครอบรุ่นที่ 3



ภาพผนวกที่ ข10 ด้ามจับหัววัดรุ่นที่ 3



ภาพผนวกที่ ข11 ขั้วเงินและขั้วทองรุ่นที่ 3



ภาพผนวกที่ ข12 หัววัดรุ่นที่ 3

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายพงศกร พิมพะนิตย์
เกิดวันที่	2 พฤษภาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมดินและน้ำ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประวัติการทำงาน	ลูกจ้างชั่วคราวกรมพัฒนาที่ดิน (2548-2549)
ผลงานดีเด่นหรือรางวัลทางวิชาการ	ส่งผลงานปริญาตรีในงาน ipus 2547 ได้รับรางวัล ชมเชย Industrial Vote เรื่อง ระบบแอโร โพนิกส์ทรงกระบอกร
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ปริญาตรีทุน ipus ปริญาโททุนส่วนตัว