

การร่างแบบมาตรฐานในการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ปริญญานิพนธ์

ของ

สุดาพร ตั้งควนิช

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา

พฤษภาคม 2541

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอก
วิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ ดันจุลเวสส)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมสรร วงษ์อยู่น้อย)

คณะกรรมการสอบ

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขงยุทธ ดันจุลเวสส)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมสรร วงษ์อยู่น้อย)
..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์สุภาภรณ์ สิริโสภณา)
..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(ดร. ปรีชาญ์ เฉลยศรี)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)
วันที่ 15 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2541

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันกุลเวสส รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อ่อนน้อย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เบาใจ อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และอาจารย์วราดุล นัทรทอง ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดทั้งการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการวิจัย อย่างดียิ่ง อันเป็นผลก่อให้เกิดความสำเร็จขึ้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความ กรุณาและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการ คณะครูอาจารย์ โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือระหว่างการศึกษาเป็นอย่างดี และ ขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ที่ได้ให้ความร่วมมือในการหาคุณภาพเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่าง การทดลองใช้เครื่องมืออย่างดียิ่ง และขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2540 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร ที่ได้ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร.สนอง ทองปาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล อาจารย์สุนันทา มั่นสมงคล อาจารย์อรอุมา ละมุล คุณอุษา จินเจนกิจ คุณธรรมบุญ วชิรศักดิ์วงษ์ ราน เอ พี เอ็ม มศว โพธิ์ไธล อาจารย์สุนทร วรหาร อาจารย์เทียมใจ อำไพวรรณ คุณวิลาสินี คุ่มพันธ์ คุณวรรณิ อุททิ พื่อน้องชาววิทยาศาสตร์ศึกษา เพื่อน ๆ ชาว กศ.ม. เคมี เคมีชีวภาพ ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุก ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและเป็นกำลังใจในการทำ ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัวดังควนิช ที่ได้สนับสนุนช่วยเหลือเป็นกำลังใจตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์ใด ๆ ที่ได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบเป็นเครื่องบูชา พระคุณแด่บิดา - มารดา ครู - อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดาพร ดังควนิช

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	4
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	4
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	6
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	9
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บและรักษาน้ำตัวอย่าง	17
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัด DO มาตรฐาน	21
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย	26
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอินดิเคเตอร์	30
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสี และสีของน้ำ	39
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสื่อ	41
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน	48
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาคุณภาพของเครื่องมือการวิจัย	53
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อสารการสอนวิทยาศาสตร์	60
3 วิธีดำเนินการวิจัย	63
อุปกรณ์และสารเคมี	63
วิธีเตรียมสารเคมี	65
ขั้นตอนการสร้างแถบสีมาตรฐาน	66
ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน	69

ประชากร	70
กลุ่มตัวอย่าง	70
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	71
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	74
การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ	75
การทดสอบสมมติฐานในการวิจัย	80
การเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้แถบสีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน	80
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่วิเคราะห์โดยใช้แถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน	82
การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าการวัดค่า DO ของน้ำครูเป็นผู้วัด กับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด	82
ผลการสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนหลังการใช้แถบสีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้นในการวัดค่า DO ของน้ำ	82
การสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม	84
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	86
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า	86
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า	86
วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	86
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	87
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	89
อภิปรายผล	90
ข้อเสนอแนะ	93

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก ..	102
ประวัติของผู้วิจัย	160

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงชนิดอินดิเคเตอร์ ช่วงการเปลี่ยนสีและสีที่เปลี่ยนแปลง	36
2 สมบัติของรีดอกซ์อินดิเคเตอร์บางชนิด	39
3 แสดงการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการประเมินความสอดคล้อง ระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้น	76
4 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำที่นักเรียนวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เปรียบเทียบกับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้น	77
5 แสดงผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการจัดรวมกลุ่มแถบสีใหม่ และตัวแทนของกลุ่มแถบสีใหม่ตามผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน.....	80
6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน..	81
7 การสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม	84
8 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 1	118
9 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 2	119
10 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 3	120
11 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 4	121
12 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 5	122
13 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 6	123
14 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 7	124

15	แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 8	125
16	แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 9	126
17	แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 10	127
18	แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่ามัธยฐานของ DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานในน้ำ ตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง	128
19	แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานและวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง โดยวิธีจัดอันดับที่ ...	129
20	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO (อันดับที่) จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานและแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง.....	130
21	แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียนเป็น ผู้วัดในน้ำตัวอย่าง (1-4) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี.....	132
22	แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียน เป็นผู้วัดในน้ำตัวอย่าง (5-8) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี.....	134
23	แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียน เป็นผู้วัดในน้ำตัวอย่าง (9-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี.....	136
24	แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครูเป็นผู้วัด (ผู้วิจัย) ในน้ำตัวอย่าง (1-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี.....	138
25	แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครู เป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด ในน้ำตัวอย่าง (1-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี	139
26	แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครูเป็นผู้วัด กับนักเรียนเป็นผู้วัดในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง โดยวิธีจัดอันดับที่	140
27	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO (อันดับที่) จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้นที่ครูกับนักเรียนเป็นผู้วัด ในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง.....	141

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	แสดงส่วนประกอบและการติดตั้งเครื่องวัด DO มาตรฐาน	22
2	แสดงการติดตั้ง PC เข้ากับระบบ ORION 940	23
3	แผนภูมิแสดงลักษณะของน้ำเสีย	29
4	แสดงสูตรโครงสร้างภายในฟินอลฟทาไลน์	33
5	แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฟินอลเรดในการเปลี่ยนสีครั้งที่สองปรากฏช่วง pH 6.4 - 8.0	34
6	แสดงการเปลี่ยนสีของเมทิลออเรนจ์	35
7	แสดงแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นของ $DO_0 - DO_{12}$	148
8	แสดงแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสำหรับนำไปเก็บข้อมูลการวิจัย	149
9	แสดงการตรวจสอบคุณภาพของแถบสีโดยผู้เชี่ยวชาญ	150
10	แสดงการทดลองวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน	151
11	แสดงการตรวจสอบคุณภาพของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยนักเรียน เป็นผู้วัด	152

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในภาวะที่มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้มีการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ในการผลิตอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมมากมาย และนับวันจะทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ ทั้งนี้เพราะน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะมนุษย์ได้ใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค นอกจากนั้นยังใช้ประโยชน์ในกิจการด้านต่าง ๆ เช่น การเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ การประมง การอุตสาหกรรม และการชลประทาน ทำให้ปริมาณการใช้น้ำมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนเกินขีดจำกัดของความสามารถที่แหล่งน้ำธรรมชาติจะปรับตัวได้ทัน ก่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำ การเสื่อมคุณภาพของน้ำ การเน่าเสียของน้ำ (นิวัติ เรืองพานิช. 2537 : 15) ซึ่งนับว่าเป็นปัญหามลพิษทางน้ำที่รุนแรง ส่งผลกระทบต่อภาวะทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และการปกครอง ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมด เกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งสิ้น ดังนั้นการป้องกันและแก้ปัญหาจึงควรมุ่งพัฒนาประชาชนให้มีความรู้ความเข้าใจมีจริยธรรมและมีจิตสำนึกในความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมร่วมกัน การให้การศึกษาเกี่ยวกับปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะช่วยให้ความสำเร็จของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นได้ยาวนาน ทั้งนี้การให้แกการศึกษาแก่ประชาชนจะเป็นวิธีหนึ่งในการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจ ให้เกิดความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม และจะก่อให้เกิดพลังในการหาวิธีป้องกันและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม (ลัดดาวัลย์ กัณหาสุวรรณ. 2540 : 20)

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2540 - 2544) มีนโยบายให้ชุมชนได้รับรู้สถานะการณ์สิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น และส่งเสริมให้ประชาชนในภูมิภาคและชนบทมีส่วนร่วมในการพัฒนาท้องถิ่นของตนเองมากขึ้น ดังนั้น โรงเรียนซึ่งเป็นสถาบันหลักทางการศึกษาคงจะเป็นแหล่งของฐานข้อมูลด้านต่าง ๆ ตลอดทั้งให้คำแนะนำแก่ชุมชน เพื่อเปิดโอกาสให้ชุมชนได้พัฒนาศักยภาพในการจัดการปัญหาดังกล่าวได้ด้วยตนเองอันจะส่งผลให้สภาพแวดล้อมของส่วนรวมดีขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2539 : 69)

การที่ประชาชนในท้องถิ่นได้รู้คุณภาพของแหล่งน้ำในท้องถิ่นของตน จึงเป็นสิ่งที่สำคัญซึ่งแนวทางที่ประชาชนจะรู้คุณภาพของแหล่งน้ำได้ ก็คือการตรวจสอบคุณภาพ เพราะการตรวจสอบคุณภาพของน้ำก็เป็นวิธีหนึ่งในการป้องกัน ควบคุม ติดตามสภาพการณ์ หรือความเป็นไปของแหล่งน้ำ

และแหล่งระบายน้ำ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผนจัดการเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์มากที่สุด ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพน้ำจึงเป็นการสนับสนุนข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการแก้ไขปัญหาและควบคุมคุณภาพน้ำ มิให้ปนเปื้อนจากสารมลพิษต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อม (กรมอนามัย . 2537 : คำนำ) การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมีที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือ การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) อันเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและดำรงชีวิตแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic) หรือไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (Anarobic) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ ความกดดันของอากาศ และสิ่งเจือปนในน้ำ (Impurities) ซึ่งการหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ สามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วัดโดยใช้เครื่องมือวัด ดีโอมิเตอร์ (DO Meter) หรือออกซิเจนมิเตอร์ (Oxygen Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรได้โดยตรง หรือจะใช้วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่สกปรก เช่น น้ำทิ้ง น้ำในแม่น้ำลำคลอง เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคนอื่น ๆ. 2525 : 48)

การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยวิธี Azide Modification จัดเป็นวิธีมาตรฐาน (Standard Method) วิธีหนึ่ง แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อน และต้องใช้สารเคมีและอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย อีกทั้งในการทดลองต้องมีการไทเทรต แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณ จึงจะทราบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ ทำให้สิ้นเปลืองทั้งเวลาในการทดลองและงบประมาณ และที่สำคัญผู้ที่ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีดังกล่าวได้ ต้องมีพื้นฐานความรู้และความชำนาญแม่นยำเกี่ยวกับการไทเทรตและการคำนวณมากพอสมควร และถ้าใช้เครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เรียกว่า ดีโอมิเตอร์ (DO Meter) หรือออกซิเจนมิเตอร์ (Oxygen Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างสูง โรงเรียนส่วนมากหรือชุมชนที่มีงบประมาณน้อย ไม่สามารถจัดการเรียนการสอนหรือวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยเครื่องมือนี้ได้

วิธีการหนึ่งที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อให้โรงเรียนหรือชุมชนสามารถทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำได้ คือ ใช้แถบสีมาตรฐาน ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก และที่ผ่านมาก็ได้มีการพัฒนาหรือสร้างเครื่องมือเกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. 2539 : 23) ดังเช่น งานวิจัยของ อูมาพร ตันจุลเวสส (2539 : 502) ได้สร้างชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนาม จัดสร้างโดยการนำสารละลายมาตรฐานมาบรรจุลงในหลอดหยดยามาตรฐานที่ผ่านการตรวจสอบความเชื่อมั่น เปรียบเทียบกับวิธีสเปคโตรโฟโตเมตริก ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า การหาค่าความกระด้างของน้ำดื่มแบบภาคสนาม ให้ผลไม่แตกต่างจาก

วิธีสเปคโตรโฟโตเมตริก และจากงานวิจัยของมนทลี กษาชีวะ (2538 : 51 - 54) ได้ศึกษาการหาค่า BOD โดยใช้ถังโหมบรจุน้ำแทนตู้ BOD ผลการวิจัยพบว่า ค่า BOD_5 ในถังโหมบรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องกับค่า BOD_5 ที่อุณหภูมิ $20^\circ C$ ของน้ำเสียไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งสเปคโตรโฟโตมิเตอร์และตู้ BOD (Incubator) เป็นเครื่องมือที่มีราคาสูง และต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ จะเห็นได้ว่างานวิจัยในลักษณะดังกล่าวเป็นสิ่งที่มีความจำเป็น เพราะนอกจากจะเป็นการช่วยลดการขาดดุลทางการค้าแล้วยังเป็นการสร้างเทคโนโลยีขึ้นใช้เอง และสามารถเป็นพื้นฐานและแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทางเคมีให้กว้างขวางยิ่งขึ้นอีกด้วย

ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ว 101 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ได้บรรจุเนื้อหาวิชาเรื่องน้ำเพื่อชีวิตที่เน้นเนื้อหาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำ วิธีการหนึ่งที่จะช่วยบอกให้นักเรียนทราบคุณภาพของน้ำก็คือการหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แต่ในบทเรียนนี้ยังไม่มีบทปฏิบัติการเรื่อง การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งถ้ามีบทปฏิบัติการดังกล่าว ก็จะทำให้ นักเรียนสามารถใช้อุปกรณ์ประกอบการเรียนเพื่อพิจารณาได้ว่า แหล่งน้ำนั้นเสียหรือไม่ และแหล่งน้ำใดมีแนวโน้มที่จะมีคุณภาพดีกว่ากัน เหตุผลที่ยังไม่มีบทปฏิบัติการเรื่องการหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อาจเป็นเพราะผู้ที่ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ ต้องมีพื้นฐานความรู้ ความสามารถเกี่ยวกับการไทเทรต การคำนวณและขั้นตอนการตรวจสอบที่ยุ่งยาก ไม่เหมาะสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จะเห็นได้จากบทปฏิบัติการดังกล่าว จะแทรกอยู่ในวิชาเคมี ว 033 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องมลพิษทางน้ำ ผู้วิจัยมีความเห็นว่าถ้านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีบทปฏิบัติการเรื่อง การหาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งในการเสริมสร้างศักยภาพของนักเรียน ให้เกิดความรู้ความสามารถเบื้องต้นในการตรวจสอบและคาดการณ์คุณภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ในท้องถิ่นของตนว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใด อีกทั้งยังเป็นการประยุกต์เอาบทปฏิบัติการระดับชั้นที่สูงขึ้นไปมาให้กับนักเรียนระดับชั้นที่ต่ำกว่า ซึ่งจะช่วยให้ นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้เร็วขึ้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างแถบสีมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำขึ้น โดยนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น มาตรวจสอบความเชื่อมั่น เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัด DO มาตรฐาน และนำไปศึกษาผลของการทดลองใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของน้ำตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะทำให้ทราบว่านักเรียนที่ไม่มีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการไทเทรต การคำนวณ สามารถทำการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้หรือไม่ และยังเป็นการพัฒนาบทปฏิบัติการที่ยุ่งยากให้ง่ายขึ้นอีกด้วย การวิเคราะห์คุณภาพน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปวัดค่า DO ของน้ำตามแหล่งน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป เช่น แม่น้ำ ลำคลอง

น้ำทั้งตามบ้านเรือน ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อโรงเรียน ในด้านการเรียนการสอนทั้งในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ชุมชน หรือผู้ที่สนใจอยากจะทราบข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำภายในท้องถิ่นของตนเอง โดยที่ผู้ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการไทเทรต และการคำนวณ ก็สามารถทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ เพราะวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ประหยัด และใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่า อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้เยาวชนทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในท้องถิ่นของตน ซึ่งจะก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้เป็นรูปธรรม อันจะส่งผลต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยรวมต่อไป

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำ ที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการวัด DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

การวิจัยครั้งนี้ ทำให้ได้แถบสีมาตรฐาน สำหรับใช้วิเคราะห์ค่า DO ของน้ำให้สะดวกรวดเร็ว และประหยัด สามารถใช้วัดค่า DO ของน้ำได้ถูกต้อง ไม่ต่างจากเครื่องวัด DO มาตรฐาน และสามารถนำไปใช้เป็นบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งไม่มีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์น้ำเสียโดยวิธีไทเทรต ให้สามารถทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำได้ ซึ่งเป็นการประยุกต์บทปฏิบัติการระดับชั้นที่สูงขึ้นไปมาใช้กับนักเรียนระดับชั้นที่ต่ำกว่า และสามารถนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปใช้เป็นบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายระดับอุดมศึกษา นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับชุมชนหรือผู้ที่สนใจอยากจะทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำในท้องถิ่นของตนเอง โดยที่ผู้ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์น้ำเสียโดยวิธีไทเทรตให้สามารถทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้เป็นรูปธรรม อันจะส่งผลต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมโดยรวมต่อไป

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

การวิจัยครั้งนี้มุ่งสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ ซึ่งหาประสิทธิภาพของแถบสีมาตรฐานโดยศึกษาจากค่า DO ของน้ำที่ได้จากแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับค่า DO ของน้ำจากเครื่องวัด DO มาตรฐาน และจากการนำไปทดลองใช้กับนักเรียน ในการวิเคราะห์ค่า DO ของน้ำมีการควบคุมอุณหภูมิ และ pH ของน้ำควบคู่ไปด้วย ซึ่งมีขอบเขตในการศึกษาวิจัยดังนี้

1. แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่า DO ได้ตั้งแต่ $DO_0 - DO_{12}$
2. การวิจัยนี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของน้ำตัวอย่าง ประมาณ $26 - 33^{\circ}\text{C}$ และ pH ของน้ำตัวอย่างอยู่ระหว่าง 5-9

3. น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

3.1 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแถบสีมาตรฐาน เป็นน้ำจากคลองแสนแสบด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร โดยนำน้ำดังกล่าวมาใส่ขวดปิดฝาไว้ประมาณ 2 - 3 วัน เพื่อให้ได้น้ำเสียที่มีค่า DO_0 แล้วนำน้ำเสียที่มีค่า DO_0 มาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า $DO_0, DO_1, DO_2, DO_3, DO_4, DO_5, DO_6, DO_7$, ส่วน DO_7, DO_8, DO_9 เตรียมได้โดยใช้เครื่องเป่าอากาศขนาดเล็กแบบใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลา ซึ่งประกอบด้วย ตัวเครื่องเติมอากาศและหัวกระจายฟองอากาศ จุ่มลงในน้ำ เครื่องเติมอากาศนี้มีหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำ และทำให้เกิดการกวนน้ำภายในถังเติมอากาศ และน้ำที่มีค่า $DO_{10}, DO_{11}, DO_{12}$ เตรียมได้โดยนำน้ำที่มีค่า $DO = 12$ (น้ำในบ่อที่มีสาหร่าย) มาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตามต้องการ

3.2 น้ำตัวอย่างที่นำไปทดลองใช้กับนักเรียน เป็นน้ำตัวอย่างที่สุ่มจากแหล่งน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 12 แหล่ง

4. ในการสร้างแถบสีมาตรฐานวัดค่า DO ทุกครั้ง ด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (Ion Analyzer Meter ของ Orion Research Model 940, USA) และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยวิธี Azide Modification. (Standard Method)

5. ในการถ่ายภาพของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดชนิดของกล้องชนิดของฟิล์ม ความเร็วชัตเตอร์ ความไวแสง และเวลาที่ถ่ายภาพ

6. แถบสีที่ได้จากการวิจัยใช้วัดค่า DO ของน้ำที่มีค่า $DO_0 - DO_{12}$ ซึ่งเป็นน้ำตามแหล่งน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป เช่น แม่น้ำ ลำคลอง สำหรับน้ำที่ตามบ้านเรือนนั้น แถบสีดังกล่าวยังไม่เหมาะที่จะใช้วัดค่า DO กรณีต้องการความละเอียดมาก

7. การเก็บน้ำตัวอย่างตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ เก็บด้วยวิธีแบบจ้วง (Grab Sampling) เพื่อนำไปเตรียมตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลองต่อไป
8. การวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นและเครื่องวัด DO มาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ที่วัด คือ ค่า DO และทำการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างให้เสร็จภายในวันเดียวกัน (ทั้งสองวิธีต่อ 1 ตัวอย่าง)
9. กลุ่มตัวอย่างนักเรียนที่ใช้ในการทดลองใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพธิ์โพธิ์พิทยาคาร อำเภอโพธิ์โพธิ์ จังหวัดอุบลราชธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540 จำนวน 30 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling)
10. ระยะเวลาในการทดลอง ใช้เวลาทดลอง 2 คาบ คาบละ 50 นาที

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ วิธีวัดค่า DO ของน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี
 - 1.1 การวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
 - 1.2 การวัดค่า DO ของน้ำ โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
2. ตัวแปรตาม ได้แก่
 - ค่า DO ของน้ำ (Dissolved Oxygen)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ค่า DO หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen) ซึ่งวัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร การวิจัยครั้งนี้ ศึกษาค่า DO_0 - DO_{12} ซึ่งค่า DO_0 , DO_1 , DO_2 , DO_3 , DO_4 , DO_5 , DO_6 , DO_7 , DO_8 , DO_9 , DO_{10} , DO_{11} , DO_{12} , หมายถึง มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ
2. เครื่องวัด DO มาตรฐาน หมายถึง เครื่องมือสำหรับวัดค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีลักษณะเป็น O_2 electrode (Ion Analyzer meter ของ Orion Research Model 940, USA)
3. แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น หมายถึง แถบสีที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อกำหนดค่า DO ของน้ำ โดยการถ่ายภาพสีของสารละลายที่ทราบค่า DO ของน้ำแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสารละลายที่ต้องการวัดค่า DO ซึ่งแถบสีที่ได้ เมื่อนำไปวัดค่า DO ของน้ำแล้วให้ค่า DO ไม่แตกต่างไปจากวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และผ่านการทดสอบประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ครูและนักเรียน

4. สารละลาย หมายถึง สีของน้ำตัวอย่างเมื่อเติม MnSO_4 2 มิลลิลิตร อัลคาไลด์ - ไฮโอไดด์ - เอไซด์ 2 มิลลิลิตร และ H_2SO_4 2 มิลลิลิตร
5. สารละลายที่เตรียมขึ้น หมายถึง สารละลายที่ได้จากการนำน้ำตัวอย่างมาวัดด้วย เครื่องวัด DO มาตรฐาน เพื่อให้ทราบค่า DO ของน้ำ แล้วเติม MnSO_4 2 มิลลิลิตร อัลคาไลด์ - ไฮโอไดด์ - เอไซด์ 2 มิลลิลิตร และ H_2SO_4 2 มิลลิลิตร
6. น้ำตัวอย่าง หมายถึง น้ำที่เตรียมขึ้นเองภายในห้องปฏิบัติการ และน้ำผิวดิน แม่น้ำ ลำคลอง ที่ผู้วิจัยทำการสุ่มมาทดลอง หรือน้ำผิวดินที่สุ่มมาแล้วปรับปรุงให้มีค่า DO ตามต้องการ
7. น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่วัดด้วยแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นหรือวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐานแล้วให้ค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร
8. คุณภาพของน้ำ หมายถึง ระดับของค่าความสกปรกที่ใช้ในการพิจารณาว่า แหล่งน้ำ นั้น ๆ เสียหรือไม่ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้ระดับของค่า DO เป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของน้ำ
9. ครู หมายถึง ผู้วิจัยซึ่งทำการควบคุมการทดลองของนักเรียน และเป็นผู้ทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ของการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับนักเรียน
10. นักเรียน หมายถึง นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพธิ์โพธิ์พิทยาคาร อำเภอ โพธิ์โพธิ์ จังหวัดอุบลราชธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำ ที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน ไม่แตกต่างกัน
2. ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำ ที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน มีความสัมพันธ์กันทางบวก
3. ค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด มีความสัมพันธ์กัน ทางบวก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในครั้งนี ผู้วิจัยจะนำเสนอตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)
 - 1.1 ทฤษฎี
 - 1.2 ความสำคัญของ DO
 - 1.3 การเก็บตัวอย่างสำหรับค่า DO
 - 1.4 การเลือกสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่า DO
 - 1.5 วิธีการที่ใช้ในการหาค่า DO
2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บและรักษาน้ำตัวอย่าง
 - 2.1 เครื่องมือสำหรับเก็บน้ำตัวอย่าง
 - 2.2 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง
 - 2.3 วิธีเก็บน้ำตัวอย่าง
 - 2.4 การเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง
 - 2.5 การส่งน้ำตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการ
 - 2.6 การเติมออกซิเจนให้กับน้ำ
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัด DO มาตรฐาน
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย
5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอินดิเคเตอร์
6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสี และสีของน้ำ
7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสื่อ
8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน
9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาคุณภาพของเครื่องมือการวิจัย
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อการสอนวิทยาศาสตร์

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

บทสรุป

ออกซิเจนนับเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อแหล่งน้ำมาก เป็นดัชนีคุณภาพของน้ำที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง เพราะออกซิเจนเป็นธาตุที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และป้องกันไม่ให้น้ำเน่าเหม็น ในบรรยากาศจะมีก๊าซออกซิเจนอยู่ร้อยละ 21 โดยน้ำหนัก เป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดี ที่ความดัน 1 บรรยากาศ 0 องศาเซลเซียส ออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส ละลายได้เพียง 7 มิลลิกรัมต่อลิตร (ณรงค์ วุทธเสถียร. 2540 : 28) โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (นันทนา คชเสนี. 2536 : 17)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ดังนี้ (วรวิทย์ ชีวาพร. 2529 : 15)

1. ความกดดันของบรรยากาศ ถ้าความกดดันสูงออกซิเจนจะละลายน้ำได้มาก
2. อุณหภูมิของน้ำ ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูง ออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง
3. ความเข้มข้นของเกลือแร่ในน้ำ ถ้าความเข้มข้นของเกลือแร่สูง ออกซิเจน จะละลายได้น้อย ความเข้มข้นอิมิตัวของออกซิเจนในน้ำอาจประมาณได้

$$\text{จากสูตร} \quad C = \frac{475 - 2.65S}{(33.5 + T)}$$

เมื่อ C_s = ความเข้มข้นอิมิตัว หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

S = ความเข้มข้นของเกลือแร่ (Salinity) หน่วยเป็นกรัมต่อลิตร

T = อุณหภูมิของน้ำหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

การที่ปริมาณการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีความสำคัญต่อการย่อยสลายสิ่งโสโครกในน้ำมาก เนื่องจากอัตราของการออกซิเดชันทางชีวภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง ความต้องการออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะเดียวกันออกซิเจนที่ละลายในน้ำน้อยลง ทำให้เกิดการเน่าเหม็นของน้ำในแหล่งน้ำ เนื่องจากออกซิเจนมีไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายสิ่งโสโครก เกิดการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน ได้ก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น H_2S

ความสำคัญของ DO

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2537 : 138 - 139) ได้กล่าวถึงความสำคัญของ DO ไว้ดังต่อไปนี้

1. DO ในน้ำเสียเป็นตัวชี้ว่าปฏิกิริยาทางชีวะที่เกิดขึ้น จะเกิดโดยจุลชีพ aerobic หรือ anaerobic organism โดยประเภท aerobic organism จะใช้ออกซิเจนอิสระ เพื่อออกซิไดส์สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีอันตราย ในขณะที่ anaerobic organism ทำให้เกิดออกซิเดชัน โดยการรีดิวซ์เกลืออนินทรีย์บางตัว เช่น SO_4^{2-} เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นเหม็น organism ทั้งสองชนิดพบทั่วไปในธรรมชาติ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาสภาวะที่พวก aerobic organism ชอบไว้ (คือมีออกซิเจน) มิฉะนั้น anaerobic organism จะเข้ามาแทนที่ ดังนั้นการหาค่า DO ก็เพื่อที่จะรักษาสภาพ aerobic condition ในน้ำธรรมชาติ ซึ่งจะสามารถรับสิ่งสกปรกจากแหล่งต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการรักษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการ aerobic treatment ด้วย
2. ค่า DO มีความสำคัญในการที่จะรักษาสภาวะของน้ำให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของปลาและสัตว์น้ำอื่น คือให้มี DO ปริมาณพอเหมาะ เช่น ไม่น้อยกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น
3. ค่า DO เป็นพื้นฐานของค่า บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เพื่อหาความสกปรกของน้ำเสีย และอัตราของการออกซิเดชันทางชีวะ ซึ่งวัดได้โดยการหาค่า DO ที่เหลือ ณ เวลาต่าง ๆ
4. ค่า DO เป็นแฟกเตอร์สำคัญในการควบคุมการกักกร่อนของเหล็ก โดยเฉพาะในท่อน้ำประปาและในหม้อต้มน้ำ โดยเฉพาะในหม้อน้ำไม่ควรมี DO เลย แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มี DO ได้ 0.015 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ค่า DO ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาใน aerobic treatment process เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนพอที่จะรักษาสภาวะ aerobic ไว้ได้อีกทั้งป้องกันการใช้ออกซิเจนมากเกินไป นอกจากนี้ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ยังได้กล่าวถึงการเก็บรักษาน้ำตัวอย่างสำหรับหาค่า DO ดังนี้

การเก็บตัวอย่างสำหรับหาค่า DO

ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วระดับ DO ในตัวอย่างที่เก็บจะต่ำกว่าค่าอิมิตัว การปล่อยให้ตัวอย่างนั้นสัมผัสกับอากาศ จะทำให้เกิดการผิดพลาดของผลที่จะหาได้ ด้วยเหตุนี้ขวดที่ใช้เก็บตัวอย่างที่จะหา DO จะต้องยึดหลักที่จะไม่ให้ตัวอย่างที่เก็บมาถูกอากาศ ดังนั้นจุดจึงเป็น ground joint สำหรับน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป การเก็บน้ำตัวอย่าง ควรจะล้าง

ขวดด้วยน้ำตัวอย่างก่อนเก็บตัวอย่างให้เต็มขวดแล้วปิดจุกทันทีเพื่อไม่ให้ฟองอากาศเหลืออยู่ในขวด สำหรับการเก็บตัวอย่างจากความลึกที่มากกว่า 5 ฟุต ควรใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำ ซึ่งบริเวณส่วนบนจะมีรู เมื่อปิดฝาแล้วก็สามารถจะปล่อยน้ำตัวอย่างที่เก็บมาลงสู่ก้นขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร ได้ และควรปล่อยให้น้ำตัวอย่างล้นขวด BOD ประมาณ 2-3 เท่าของปริมาตรขวดก่อนที่จะปิดจุก (ใช้เวลาประมาณ 1 นาที) ต้องระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ และจดอุณหภูมิของน้ำตัวอย่างเป็นองศาเซลเซียสอย่างละเอียด

การเก็บรักษาน้ำตัวอย่างที่จะนำมาหาค่า DO ในกรณีที่ทำการหาค่าทันทีไม่ได้ ควรทำการ "fix" ตัวอย่างทันทีที่เก็บ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนของค่า DO เนื่องจากปฏิกิริยาทางชีวะ ซึ่งทำได้โดยเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) และสารละลายอัลคาไลด์ - ไอโอไดด์ - เอไซด์ ($\text{NaOH} - \text{NaI} - \text{NaN}_3$) ชนิดละ 1 มิลลิลิตรตามลำดับ ปิดจุกขวดกลับปัดกลับมากประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เติมน้ำกลั่นหล่อบนจุกปากขวด BOD ตัวอย่างที่ทำการ "fix" แล้วควรเก็บไว้ในที่มืดและเย็น จนกระทั่งถึงเวลาวิเคราะห์

การเลือกสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการหาค่า DO

กรรณิการ์ สิริสิงห์ (2522 : 152 - 158) กล่าวว่าวิธีที่ใช้หาค่า DO มักขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาที่ปล่อย I_2 ออกมาในปริมาณที่สมมูลกับออกซิเจนที่มีในตัวอย่าง หาค่า I_2 ที่ถูกปล่อยโดยให้ทำปฏิกิริยากับตัวลดออกซิเจนที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนในที่นี้ใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาในการหาออกซิเจนเกี่ยวข้องกับการออกซิเดชันและรีดักชัน น้ำแบ่งจะดูดซับ I_2 จากสารละลายที่เจือจาง เกิดเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นไม่มีสีเมื่อ I_2 ถูกรีดิวซ์ไปเป็น I^-

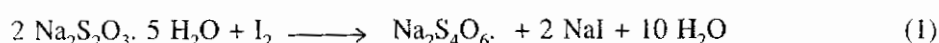
สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่มีความเข้มข้น $\frac{N}{40}$ หรือ 0.025 นอร์มัล

น้ำหนักสมมูลของออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 8 และเนื่องจากนอร์มัลลิตีของ titrant ที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำและน้ำโสโครกจะถูกปรับให้แต่ละมิลลิลิตรของมันสมมูลกับ 1.0 มิลลิกรัมของสารที่จะทำการหา ดังนั้น จึงควรใช้ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่มีความเข้มข้น $\frac{N}{8}$ แต่เนื่องจากสารละลายที่กล่าวมีความเข้มข้นเกินไปที่จะให้ผลแน่นอนในการหาค่า DO นอกจากจะใช้ตัวอย่างเป็นจำนวนมากในการไทเทรต ส่วนใหญ่ในการไทเทรตมักใช้ตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ซึ่งก็คือ $\frac{1}{5}$ ของ 1 ลิตร ดังนั้นถ้าใช้ titrant ที่มีความเข้มข้น $\frac{1}{5}$ ของ $\frac{N}{8}$ และใช้ตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ผลที่ได้ในรูปของมิลลิลิตรของ titrant ที่ใช้จะเท่ากับ เมื่อใช้ตัวอย่าง 1 ลิตร ทำการไทเทรตด้วย titrant ที่มีความเข้มข้น $\frac{N}{8}$ นั่นคือ ถ้าใช้สารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เข้มข้น $\frac{N}{40} \times \frac{1}{8}$ การไทเทรตตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร ค่าของ DO เป็นมิลลิกรัมต่อลิตร จะเท่ากับปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต ทำให้ไม่เสียเวลาในการคำนวณ

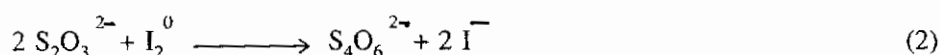
การเตรียมและ standardize 0.025 นอร์มัล $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

เนื่องจากโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ซื้อมาจะอยู่ในรูป $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ทำให้ไม่สามารถที่จะอบให้แห้ง เพื่อชั่งหามวลที่แน่นอนได้ และที่อุณหภูมิห้องที่ความชื้นต่ำ ๆ ก็อาจเกิดการสูญเสียน้ำจากโมเลกุลของโซเดียมไธโอซัลเฟตได้ ดังนั้นในการเตรียมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตจึงควรเตรียมให้เข้มข้นกว่าที่ต้องการ แล้วทำการ standardize ด้วย primary standard

น้ำหนักสมมูลของโซเดียมไธโอซัลเฟต ไม่สามารถคำนวณจากสูตรโมเลกุล เพราะเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนไปตามสมบัติของตัวลคออกซิเจนทั้งหลาย เราสามารถคำนวณน้ำหนักสมมูลของโซเดียมไธโอซัลเฟตจากปฏิกิริยากับตัวเดิมออกซิเจนที่โซเดียมไธโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับ เช่น ในกรณีที่โซเดียมไธโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับไอโอดีน ดังสมการ

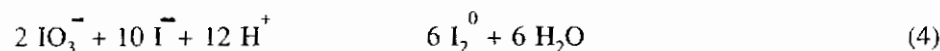
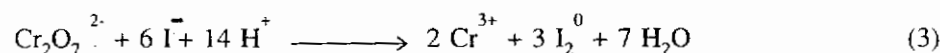


ซึ่งจากสมการนี้ จะเห็นว่าแต่ละโมเลกุลของโซเดียมไธโอซัลเฟตสมมูลกับ 1 อะตอมของไอโอดีน เนื่องจากแต่ละอะตอมของไอโอดีนจะรับอิเล็กตรอน 1 ตัว เพื่อกลายเป็นไอโอดีนอน ซึ่งอิเล็กตรอนตัวนี้ จะได้มาจากโซเดียมไธโอซัลเฟต หลังจากรับอิเล็กตรอนแล้ว จะเปลี่ยนเป็นโซเดียมเตตระไธโอเนต ดังสมการ



ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า น้ำหนักสมมูลของโซเดียมไธโอซัลเฟตเท่ากับน้ำหนักโมเลกุล และในการปฏิบัติการเตรียมโซเดียมไธโอซัลเฟตที่เข้มข้นเกิน 0.025 นอร์มัลเล็กน้อยก็ให้ใช้โดยการชั่ง $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ เกิน 6.205 กรัม เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ปกติใช้ 6.5 กรัม)

สารละลายไธโอซัลเฟตที่ได้อาจทำการ standardize กับ primary standard ตัวใดตัวหนึ่งใน 2 ตัวนี้ คือ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ หรือ $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ เพราะสารเคมีทั้งสองตัวนี้สามารถชั่งได้ในรูปที่บริสุทธิ์ 100% เตรียมสารละลายทั้งสองให้มีความเข้มข้น 0.025 นอร์มัล โดยชั่งน้ำหนักให้แน่นอน และเตรียมโดยใช้ขวดปริมาตรขนาด 1 ลิตร primary standards ทั้งสองตัวนี้จะทำปฏิกิริยากับ I^- ในสารละลายที่เป็นกรดและออกซิไดซ์ I^- เป็นโมเลกุลของ I_2 ดังสมการ



I_2 ที่ถูกขับออกมาจะสมมูลกับตัวเดิมออกซิเจนที่ใช้ไป นั่นคือ ถ้า 20 มิลลิลิตรของ $\frac{N}{40} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ หรือ $\frac{N}{40} \text{KIO}_3 \cdot \text{HIO}_3$ ถูกใช้สำหรับ standardize ถ้าสารละลายไธโอซัลเฟตที่เตรียมมีความเข้มข้น $\frac{N}{40}$ ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเป็น 20 มิลลิลิตรแน่นอน ในกรณีที่สารละลายไธโอซัลเฟตมีความเข้มข้นมากกว่า $\frac{N}{40}$ ให้ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น จนได้ความเข้มข้นเท่าที่ต้องการ

ส่วนใหญ่แล้วมักนิยมทำการ standardize ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต เพราะไม่มีปัญหาเรื่องสีของ end point ในขณะที่ถ้าใช้โพแทสเซียมไดโครเมต Cr^{3+} ที่เกิดจะให้สี greenish - blue ซึ่งขัดขวางกับสีของ end point ที่เกิดจากน้ำแป้ง แต่แก้ได้โดยนำตัวอย่างมาทำการเจือจางก่อน

สารละลายโซโอซัลเฟตถูกทำลายได้โดยปฏิกิริยาของแบคทีเรียและการบอนด์ออกไซด์เกิดตะกอนกำมะถัน แบคทีเรียจะออกซิไดส์โซโอซัลเฟตไปเป็นซัลเฟตภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน และการบอนด์ออกไซด์ จะไปลดพีเอชลงจนกระทั่งสามารถทำให้โซโอซัลเฟต ($\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$) สลายตัวไปเป็น SO_3^{2-} และ S^0 ต่อไป SO_3^{2-} จะถูกเปลี่ยนไปเป็น SO_4^{2-} โดยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลาย ดังนั้น จึงควรเติม NaOH 0.4 กรัม ต่อสารละลายโซโอซัลเฟต 1 ลิตร เพื่อป้องกันปฏิกิริยาดังกล่าว เพราะพีเอชที่สูงขึ้นจะป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ควรหลีกเลี่ยงการเติม NaOH ที่มากเกินไป เพราะจะทำให้สารละลายไม่อยู่ตัว อาจใช้คลอโรฟอร์มแทน NaOH แต่คลอโรฟอร์มไม่สามารถจะป้องกันสารละลายจากการบอนด์ออกไซด์ที่ถูกดูดซึมจากอากาศ

วิธีการที่ใช้ในการหา DO

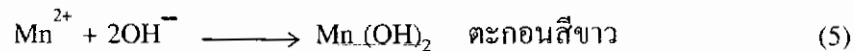
เดิมการวัดค่า DO ทำโดยนำตัวอย่างมาให้ความร้อนเพื่อไล่ก๊าซที่ละลายออกมา เก็บก๊าซที่ออกมาและนำไปวิเคราะห์หาออกซิเจน โดยวิธีที่ประยุกต์ในการวิเคราะห์ก๊าซ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องใช้ตัวอย่างเป็นจำนวนมาก และเสียเวลาในการวิเคราะห์นาน จึงเลิกใช้

ปัจจุบันวิธีที่จัดว่าเป็นมาตรฐานคือ Winkler หรือ Iodometric Method ตลอดจนวิธีอื่น ๆ ที่ดัดแปลงไป หลักของวิธีนี้คือ อาศัยความจริงที่ว่า ออกซิเจนจะออกซิไดส์ Mn^{2+} เป็นไป Mn^{4+} ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส Mn^{4+} นี้สามารถจะออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I_2 อิสระภายใต้สภาวะที่เป็นกรด นั่นคือ ปริมาณของ I_2 อิสระที่ถูกขับออกมาจะสมมูลกับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตอนเริ่มต้น และวัดได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมโซโอซัลเฟต บอกผลในรูปของ DO ซึ่งวิธีที่นิยมวัดค่า DO ที่นิยมในปัจจุบันมี 6 วิธีดังต่อไปนี้ (กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2522 : 156)

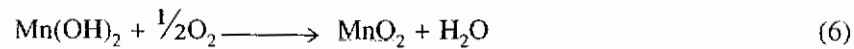
1. The Winkler Method

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ถ้าในน้ำมีตัวเดิมออกซิเจน เช่น NO_2^- , Fe^{3+} ก็จะออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I_2 ทำให้ค่าที่หาได้สูงเกินความจริง ในทำนองเดียวกัน พวกสารที่เป็นตัวลดออกซิเจนในน้ำ เช่น Fe^{2+} , SO_4^{2-} , S^{2-} ก็สามารถจะรีดิวซ์ I_2 ไปเป็น I^- ทำให้ผลที่หาได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ฉะนั้นวิธีนี้จึงใช้กับน้ำที่ค่อนข้างสะอาดไม่มีสารอื่นปนอยู่มากนัก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

1.1 เมื่อเติม MnSO_4 และ alkali - iodide ($\text{NaOH} + \text{KI}$)



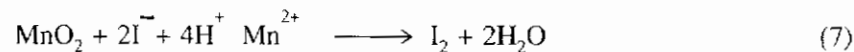
ถ้าในน้ำมี O_2 จะเกิดปฏิกิริยาต่อไปดังนี้



ตะกอนสีน้ำตาล

การออกซิไดส์ Mn^{2+} ไปเป็น MnO_2 เรียกว่า fixation of oxygen จะเกิดซ้ำ ๆ ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้ O_2 ในน้ำทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึง จึงต้องเขย่าขวดแรง ๆ ประมาณ 20 วินาที ปล่อยให้ O_2 ทำปฏิกิริยาจนเรียบรอย เมื่อ floc ตกตะกอนรอนให้มีน้ำใส ๆ อยู่ข้างบนประมาณ 2 นิ้ว

1.2 เมื่อเติมกรดกำมะถันเข้มข้น I^- จะถูกออกซิไดส์ไปเป็น I_2



เขย่าขวดประมาณ 10 วินาที เพื่อให้ปฏิกิริยาสมบูรณ์ และให้ I_2 กระจายไปทั่วขวด

1.3 ไทเทรตด้วย 0.025 นอร์มัล $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เพื่อหาค่า I_2 ที่เกิด



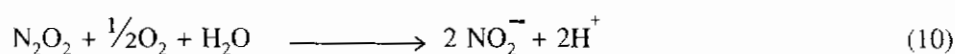
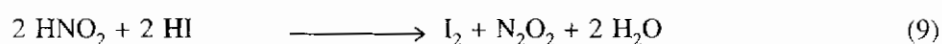
ในการไทเทรตด้วย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ นั้น ตามปกติต้องใช้ตัวอย่าง 200 มิลลิลิตร แต่เนื่องจากน้ำยาที่เติมลงไป (MnSO_4 , alkali - iodide) ทำให้เกิดการเจือจาง ฉะนั้น ปริมาตรของตัวอย่างที่จะนำมาไทเทรตจะต้องมากกว่า 200 มิลลิลิตร ในกรณีที่ใช้ขวด BOD ซึ่งมีความจุ 300 มิลลิลิตร และเติมน้ำยาที่กล่าวข้างต้นลงไปอย่างละ 2 มิลลิลิตร ดังนั้นจะไปแทนที่ตัวอย่าง 4 มิลลิลิตร จึงต้องทำ correction สำหรับปริมาตรจำนวนนี้ (ปริมาตร 2 มิลลิลิตรของกรดกำมะถันเข้มข้นที่เติมตอนหลังไม่นำมาคิด เพราะ oxidised floc ที่เกิดไม่ถูกแทนที่) ทำ corrections โดยคิดเทียบดังนี้

ตัวอย่างจริง ๆ	300 - 4	มิลลิลิตร
คิดเทียบเท่ากับตัวอย่างที่ผสมน้ำยาแล้ว	300	มิลลิลิตร
ตัวอย่างจริง ๆ	200	"
"	"	"
"	"	"
	$\frac{300}{300-4} \times 200$	มิลลิลิตร
	= 203	มิลลิลิตร

นำตัวอย่างที่เติมน้ำยาเรียบร้อยแล้วมา 203 มิลลิลิตร ไทเทรตด้วย 0.025 นอร์มัล $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ปริมาตรเป็นมิลลิลิตรที่ใช้ในการไทเทรต ใช้ออกความเข้มข้นเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ของ DO ได้โดยตรง

2. The Azide Modification of The Winkler Method

เนื่องจากไนไตรต์ ซึ่งเป็นตัวที่พบบ่อยใน effluent จาก sewage treatment plant ที่ใช้ขบวนการทางชีวะ คลอดจนน้ำในแม่น้ำบางแห่ง ซึ่งไนไตรต์นี้เป็นตัวขัดขวางที่สำคัญตัวหนึ่ง ในการหาค่า DO ไนไตรต์เป็นตัวเดิมออกซิเจนซึ่งไม่ออกซิไดส์ Mn^{+2} แต่สามารถออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I_2 ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ปกติจะไม่มีการเกิด เพราะ reduced form ของมันคือ N_2O_2 ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดส์ด้วยออกซิเจน เมื่อทำการไทเทรตและถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์อีก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำให้ผลที่ได้จากการไทเทรตสูงกว่าค่าที่เป็นจริง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

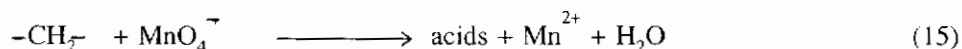
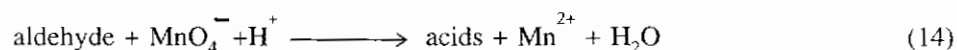
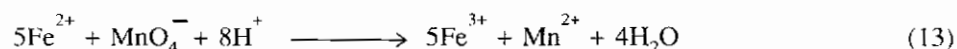
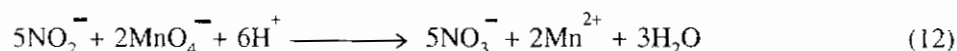


การกำจัด NO_2^- ทำได้โดยเติม NaN_3 (Sodium Azide) ซึ่งใส่รวมกับน้ำยา alkali - iodide เมื่อเติมกรดกำมะถันเข้มข้น NO_2^- จะถูกทำลายไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



3. Rideal - Stewart Modification of the Winkler Method

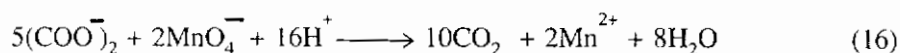
มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดสารซึ่งเป็นตัวลดออกซิเจนในน้ำ (รวมทั้ง NO_2^- ด้วย) ซึ่งขัดขวางการหา DO โดยการ pretreatment ตัวอย่างก่อนด้วย $KMnO_4$ ที่เกินพอภายใต้สภาวะที่เป็นกรด $KMnO_4$ จะไปออกซิไดส์สารซึ่งเป็นตัวลดออกซิเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ ปริมาณที่เกินพอ จะถูกทำลายโดยการเติม potassium oxalate ซึ่งเป็นตัวลดออกซิเจน potassium oxalate จำนวนที่เกินพอเล็กน้อย จะไม่ทำปฏิกิริยากับ I_2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



NO_3^- ที่เกิดขึ้นจะไม่ออกซิไดส์ I^- ภายใต้สภาวะที่ทำการวิเคราะห์

Fe^{3+} ระดับความเข้มข้นที่น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่ขัดขวางการวิเคราะห์ ส่วนใหญ่แก้ปัญหาโดยเติม KF เพื่อให้เกิดเป็น FeF_3 ซึ่งไม่ค่อยแตกตัวเป็นการลด ionic concentration ของมัน

KMnO₄ ที่เกินพอจะถูกทำลายโดยการเติม potassium oxalate



หลังจากนี้หา DO โดยวิธี Winkler Method ธรรมดา นอกจากปริมาณ alkali iodide ต้องการมากขึ้นเพื่อทำลายผลของ H⁺ ในสารละลาย และต้องทำ correction ใหม่สำหรับปริมาณของน้ำยาที่เติมลงไป

4. The Alkaline - hypochlorite Modification

น้ำเสียจากโรงงาน เช่น sulfite pulp industries และน้ำแม่น้ำ จะขัดขวางการหาปริมาณ DO เพื่อให้การหาปริมาณ DO ถูกต้อง และใกล้เคียงค่าความเป็นจริง ซึ่งถูกทำให้สกปรกโดยน้ำเสียเหล่านี้

หลักการคือทำ Pretreatment ตัวอย่างด้วย alkaline - hypochlorite เพื่อเปลี่ยน polythionate → sulfate → S ซึ่งจะไม่ขัดขวางกับการหาค่า DO ปริมาณ hypochlorite ที่เกินพอจะถูกทำลายโดยการเติม KI และ I₂ ที่เกิดจะถูกทำลายโดย Na₂SO₂ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่นิยมเพราะมีข้อผิดพลาดได้มาก

5. Alum Flocculation Modification

ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำที่มี suspended solids สูงมากซึ่งอาจจะทำให้ I₂ demand ในสารละลายกรดสูง suspended solid กำจัดได้โดยการตกตะกอนก่อนด้วย alum

6. Membrane Electrode Method

จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมการหา DO โดยวิธี The Winkler Method หลายอย่าง เพื่อกำจัดหรือลดการขัดขวางการวิเคราะห์โดยสารต่าง ๆ ที่ปะปนมากับน้ำ อย่างไรก็ตามวิธีที่ปรับปรุงใหม่ก็ยังใช้ไม่ได้กับน้ำเสียจากโรงงานบางอย่าง นอกจากนี้ iodometric method ยังไม่เหมาะที่จะใช้ในภาคสนาม (Field) หรือใช้วัด DO ในแม่น้ำ ในงานการวิเคราะห์ ซึ่งต้องวัดเป็นช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดไป

Membrane covered electrode system สามารถลดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งรบกวนต่าง ๆ เหล่านี้ได้ ภายใต้สภาวะที่คงที่ กระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ DO ในน้ำตัวอย่าง Membrane electrode มี 2 ชนิดคือ polarographic และ galvanic ทั้งสองแบบใช้วัดค่า DO ในทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ใช้สำรวจลำธาร ควบคุม industrial effluent ใช้ตรวจหา DO ใน

activated sludge ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดจนใช้ศึกษาเกี่ยวกับสมุทรศาสตร์ นิยมใช้กันมาก เพราะสะดวกในการติดตัวนำไปใช้ในสนามได้ นอกจากนี้ ยังใช้ในการหา BOD ด้วย และจัดว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการหาค่า DO ในน้ำโสโครก น้ำที่มีสีมาก และ effluent ของน้ำเสียที่เข้มข้น

membrane electrode ที่ใช้หา DO ไม่ว่าจะเป็นแบบ polarographic หรือแบบ galvanic จะประกอบด้วย electrode 2 อัน ซึ่งทำด้วยโลหะ ภายในบรรจุ electrolyte ซึ่งแยกจากตัวอย่างน้ำด้วย membrane ความแตกต่างของ 2 ระบบนี้ คือ แบบแรกปฏิกิริยาที่อิเล็กโทรด (Electrode Reaction) เกิดขึ้นเอง ในขณะที่แบบหลังต้องอาศัย voltage จากแหล่งภายนอกเข้าไป polarize indicator electrode ปกติมักใช้ polyethylene และ teflon membrane เนื่องจากยอมให้โมเลกุลของ O_2 ผ่านและทนทานไม่แตกง่าย

ในเครื่องมือที่ใช้วัด DO โดย membrane electrode นี้ กระแสที่แพร่ผ่าน (diffusion current) จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่าง จากกระแสที่ได้อาจเปลี่ยนเป็นหน่วยของความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยการทำ calibration

จากวิธีที่ใช้ในการหาค่า DO พอจะสรุปได้ว่า การหา DO สามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำที่จะตรวจสอบ ทั้งนี้เพื่อลดสิ่งรบกวนต่าง ๆ ตลอดจนความสะดวก ในการใช้แล้วแต่ความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ Azide Modification Method เพราะเป็นวิธีที่นิยมใช้กับน้ำที่ค่อนข้างสะอาด ไม่มีสารอื่นเจือปนมากนัก และเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเรียนการสอนในระดับอุดมศึกษา และระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บและรักษาน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องเป็นตัวแทนของน้ำที่ต้องการจะศึกษาหรือวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพ ในการนี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของน้ำที่จะเก็บ เวลา ชนิด และแหล่งของน้ำที่จะเก็บว่าเป็นน้ำดีหรือน้ำเสีย (รววิทย์ ชีวพร. 2529 : 138) การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ นั้น จะต้องดำเนินการด้วยความรอบคอบและระมัดระวัง ทั้งนี้ เพราะผลการวิเคราะห์จะถูกต้องและสามารถตอบปัญหาที่ต้องการได้ดีหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์ หากเก็บตัวอย่างไม่ถูกวิธี หรือมีปริมาณไม่เพียงพอ ก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไปหรือไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นการเก็บตัวอย่างน้ำ จึงควรคำนึงถึงวัตถุประสงค์ที่ต้องการเป็นหลัก ถ้าต้องการรายละเอียดมากก็จะต้องมีน้ำตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์มากขึ้น (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2528 : 4) ข้อควรพิจารณาในการเก็บน้ำตัวอย่างมีดังต่อไปนี้ : เครื่องมือการเก็บตัวอย่างน้ำ จุดเก็บ วิธีการเก็บ การเก็บรักษา และการส่งน้ำตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการ (ธงชัย พรหมสวัสดิ์. 2525 : 1)

1. เครื่องมือสำหรับเก็บน้ำตัวอย่าง (Water sample)

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ (2528 : 5) ได้กล่าวถึงเครื่องมือสำหรับเก็บน้ำตัวอย่างว่า ปัจจุบันมีเครื่องมือสำหรับเก็บน้ำตัวอย่างหลายแบบด้วยกัน ส่วนมากมักจะทำเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งมีความจุต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปขนาดความจุที่เหมาะสม ควรจะใช้ประมาณ 2 - 3 ลิตร เพราะหากมีปริมาณมากกว่านี้ก็จะมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากจนเกินควร นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือก็ควรจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เช่น พลาสติกใสหรือเทฟลอน (Teflon) เป็นต้น ซึ่งจะทำให้มีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการนำไปใช้ อีกทั้งความโปร่งใสของเครื่องมือ ยังทำให้มองเห็นสภาพของน้ำตัวอย่างที่เก็บมา ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เช่น หากมีเศษสิ่งของบางอย่างติดปะปนมา หรือมีตะกอนดินปนมาด้วย เมื่อเป็นการเก็บน้ำตัวอย่างบริเวณพื้นที่ตื้นที่ระดับลึกต่ำสุด ก็จะช่วยให้ตัดสินใจได้ทันทีว่าจะต้องเก็บตัวอย่างใหม่หรือไม่ นอกจากนี้การใช้เครื่องมือเก็บน้ำที่ทำด้วยพลาสติกใส จะมีความเหมาะสมกว่าชนิดที่ทำด้วยโลหะ เช่น เหล็ก ทองเหลือง หรืออลูมิเนียม เมื่อต้องการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ เพราะอาจจะเกิดการปะปนของโลหะจากเครื่องมือได้ เครื่องมือเก็บน้ำที่จัดได้ว่าเหมาะสมสำหรับการใช้กรณีทั่ว ๆ ไป คือแบบ Van dorn type ซึ่งเป็นกระบอกพลาสติกใสกลวง มีจุกยางขนาดใหญ่ที่จะปิดฝาทั้ง 2 ข้างในระดับความลึกที่ต้องการ และมีน้ำหนักเบา เหมาะแก่การนำติดตัวไปในภาคสนาม ส่วนแบบอื่น ๆ ที่ยังคงนิยมใช้กันอยู่ เช่น Nansen type ซึ่งทำด้วยโลหะก็สามารถใช้ได้ทั่วไป เครื่องปั๊มหรือเครื่องดูด โดยใช้สายยางหย่อนลงไปตามระดับความลึกที่ต้องการแล้วดูดน้ำขึ้นมา โดยใช้กำลังไฟจากแบตเตอรี่หรือไฟฟ้าก็นับว่ามีความเหมาะสมเช่นกัน และสามารถใช้ได้ผลดีกับการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำบางประการที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับอากาศบนผิวน้ำ

2. จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2525 : 2) ได้กล่าวถึงจุดเก็บน้ำตัวอย่าง ดังนี้

2.1 ในการหาลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เก็บน้ำตัวอย่างจากทุก ๆ จุดที่ปล่อยน้ำออกมาและ/หรือที่จุดรวมของน้ำทิ้ง

2.2 ในการตรวจสอบและควบคุมลักษณะของน้ำทิ้ง ให้เก็บน้ำตัวอย่างจากจุดที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองหรือท่อระบายของเทศบาล (Sewer)

2.3 ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชน (Domestic Waste) เพื่อการวิเคราะห์ให้เก็บจากท่อระบายน้ำโสโครกหรือบ่อตรวจระบาย (Manhole)

2.4 ในการตรวจสอบหาประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานของระบบบำบัด (wastewater treatment system) ให้เก็บจากจุดต่าง ๆ ตามขั้นตอนของระบบบำบัด บริเวณที่จะเก็บน้ำตัวอย่างดังกล่าว จะต้องเป็นบริเวณที่ไม่มีการตกตะกอนและน้ำทิ้งควรรวมตัวกันได้ดี

3. วิธีเก็บน้ำตัวอย่าง

การที่จะเก็บน้ำตัวอย่าง ให้ได้ตัวแทนที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียทั้งหมดนั้น จำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บน้ำตัวอย่างที่เหมาะสม ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ. 2525 : 7 - 8)

3.1 การเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) เป็นการเก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วงเอาโดยตรง แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าที่ต้องการทราบ ดังนั้น ตัวอย่างน้ำจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติของน้ำ ณ จุดเก็บเฉพาะเวลานั้นเท่านั้น การเก็บน้ำตัวอย่างแบบนี้มีข้อดี ในกรณีที่น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่องมีการปล่อยทิ้งเป็นครั้งคราว เนื่องจากกระบวนการผลิตเดินเครื่องเป็นช่วง ๆ มีลักษณะสมบัติที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และต้องการหาลักษณะสมบัติบางอย่างของน้ำเสีย ณ จุดที่เก็บเนื่องจากค่าเหล่านั้นเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ค่าพีเอช อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen) ตะกอนหนัก (Settleable Solids) หรือคลอรีนหลงเหลือ (Residual Chlorine)

3.2 การเก็บแบบผสมรวม (Composite Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างหลาย ๆ ครั้ง ต่อช่วงการผลิต โดยแบ่งแต่ละช่วงระยะเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณการเก็บขึ้นกับอัตรา การไหลของน้ำแล้วนำมาผสมลงในถังเก็บใบเดียวกัน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 10°C การเก็บวิธีนี้ มีข้อดีตรงที่ลดจำนวนน้ำตัวอย่างที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์ และเวลาในการศึกษาได้มากแต่ถึงอย่างไรก็มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างนานกว่าวิธีแรกในการเก็บน้ำ ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตอย่างสมบูรณ์ ต้องเก็บทั้งแบบจ้วง และแบบผสมรวม การเก็บไม่เพียงแต่จะเก็บจากท่อน้ำทิ้งรวมเท่านั้น แต่ควรเก็บจากแต่ละจุดในกระบวนการผลิตที่มี น้ำเสียออกมาด้วย

3.3 ช่วงความถี่ของการเก็บน้ำตัวอย่าง และจำนวนครั้งของการเก็บขึ้นอยู่กับอัตรา การไหลและลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้น ๆ สำหรับการเก็บน้ำตัวอย่างแบบจ้วง อาจจะเก็บชั่วโมง ละครั้ง ถ้าน้ำนั้นมีลักษณะสมบัติที่แปรปรวนมาก หรืออาจจะเก็บทุก 2, 4, 8, และ 16 หรือ 24 ชั่วโมงต่อครั้ง ในกรณีที่ลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นไม่ค่อยแปรผัน แต่ถ้าเป็นการเก็บน้ำตัวอย่าง แบบผสมรวม เวลาที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสียและไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง ถาลักษณะสมบัติของน้ำค่อนข้างคงที่ ควรใช้เวลาในการเก็บทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8 - 12 ชั่วโมง

4. การส่งน้ำตัวอย่างเข้าห้องปฏิบัติการ

น้ำตัวอย่างเมื่อเก็บมาแล้ว ต้องรีบส่งเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจวิเคราะห์ทันที แต่ดำเนินการล่าช้าด้วยประการใดก็ตาม ควรเก็บตัวอย่างเหล่านี้ไว้ในที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4°C เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเขียนฉลากติดไว้ที่ข้างขวด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคณะ. 2525 : 13)

4.1 การเขียนฉลาก : หลังจากเก็บตัวอย่างแล้วควรเขียนทันที ตัวอย่างการเขียนฉลากมีดังนี้

ตัวอย่างน้ำของ.....
 จุดที่เก็บ.....
 วิธีการเก็บ.....
 อุณหภูมิ.....พีเอช.....ดีไอ.....(ถ้ามี)
 วิธีการเก็บรักษา.....
 เวลา.....วันที่.....
 ผู้เก็บ.....

4.2 ช่วงเวลาระหว่างการเก็บและการตรวจวิเคราะห์ : โดยปกติแล้วการตรวจวิเคราะห์ควรกระทำทันทีเพื่อมิให้สภาพน้ำที่เก็บมาเปลี่ยนแปลงไป ถ้าเป็นการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพควรทำในขณะที่เก็บหรือในทันทีที่ตัวอย่างถึงห้องทดลอง ระยะเวลาที่ยอมให้มากที่สุดที่จะเก็บตัวอย่างไว้ก่อนวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพเป็นดังนี้

น้ำไม่สกปรก (Unpolluted Waters)	72 ชั่วโมง
น้ำสกปรกเล็กน้อย (Slightly Polluted Waters)	48 ชั่วโมง
น้ำสกปรก (Polluted Waters)	12 ชั่วโมง

การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ

การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ หรือเร่งกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ประเภทที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ เพื่อลดการเน่าเสียของน้ำหรือการบำบัดน้ำเสีย

มนัส อับดุลเลาะ. (2535 : 24) ได้กล่าวถึง การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำมีหลายวิธี ที่นิยมปฏิบัติกันโดยทั่วไป ดังนี้

1. การต่อน้ำให้กระจาย เพื่อเพิ่มพื้นผิวสัมผัสของน้ำกับออกซิเจนโดยใช้เครื่องกล ปกติ น้ำที่อยู่ในภาชนะหรือแหล่งน้ำ เช่น สระน้ำ บึง คลอง แม่น้ำ จะมีการถ่ายเทออกซิเจนระหว่างอากาศกับน้ำตลอดเวลา แต่ทั้งนี้ปริมาณออกซิเจนที่ถ่ายเทโดยธรรมชาติ อาจไม่เพียงพอหรือเกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ อันเนื่องมาจากพื้นผิวน้ำถูกปกคลุมด้วยจอกแหน หรือคราบสกปรกต่าง ๆ ทำให้น้ำขาดออกซิเจนหรือออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการดำเนินกิจกรรม เพื่อการยังชีพของสิ่งมีชีวิตประเภทที่ใช้ออกซิเจน ก็จะทำให้เกิดการเจริญอย่างมากมายของจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้ออกซิเจน เป็นผล

ให้เกิดน้ำเสียในเวลาต่อมา การดีน้ำให้กระจาย เป็นการเพิ่มพื้นผิวสัมผัสของน้ำให้มากขึ้น เพราะน้ำที่แตกกระจายจะได้รับออกซิเจนจากอากาศที่พัดผ่านตลอดเวลา หากมีการกระทำที่ต่อเนื่อง การหมุนเวียนของน้ำในบริเวณภาชนะรองรับน้ำหรือแหล่งน้ำ ก็จะมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การเพิ่มออกซิเจนวิธีนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงาน ในด้านการเกษตร เช่น ฟาร์มกุ้งกุลาดำที่นิยมเลี้ยงกันแพร่หลายอยู่ขณะนี้ มีการติดตั้งเครื่องตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำเป็นจุด ๆ ทำให้เกิดน้ำหมุนเวียนทั่วบ่อ อีกอย่างหนึ่ง ถ้าหากเราเคยนั่งเรือหางยาว หางเสือที่หมุนอยู่ในน้ำและทำให้แตกกระจายก็เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำอีกวิธีหนึ่งเช่นกัน

2. การพ่นหรือฉีดน้ำขึ้นไปในอากาศ วิธีนี้เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำที่เราพบเห็นกันบ่อย ๆ เช่น น้ำพุ น้ำที่ฉีดขึ้นไปและตกลงมานั้น จะดูดซับออกซิเจนในอากาศไปด้วย วิธีนี้เราสามารถนำไปใช้เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำในสระหรือบ่อปลาที่ไม่มีออกซิเจน ในตอนเช้ามืด ซึ่งเราจะสังเกตได้ว่า ปลาในสระจะโผล่หัวขึ้นมาหายใจเหนือผิวน้ำ ทั้งนี้เพราะช่วงเวลากลางคืน พืชน้ำในบ่อหรือสระดึงออกซิเจนมาใช้ในการหายใจด้วย เป็นการแย่งออกซิเจนที่ปลาจะต้องหายใจเช่นกัน ปลาจึงต้องโผล่หัวขึ้นมาจับออกซิเจนที่บริเวณผิวน้ำ ถ้าหากเป็นลักษณะนี้ตั้งแต่กลางคืนและบ่อย ๆ ปลาก็จะขาดออกซิเจน การแก้ไขก็ทำโดยสูบน้ำจากบ่อและพ่นขึ้นไป ในกรณีที่มีบ่อมีขนาดใหญ่ ทำไปสักระยะหนึ่ง เราจะสังเกตเห็นว่า ปลาจะไม่โผล่หัวขึ้นมาหายใจอีกแล้ว หรือเมื่อแสงแดดส่อง พืชสีเขียวในน้ำจะสังเคราะห์แสง ออกซิเจนในน้ำก็จะเพิ่มขึ้นโดยการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ

3. การเพิ่มออกซิเจนแก่น้ำโดยตรงโดยการปั๊มอากาศลงไป เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำที่อยู่ในภาชนะ เช่น ตู้ปลา ซึ่งการถ่ายเทออกซิเจนโดยธรรมชาติเกิดได้ไม่เต็มที่ ออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของปลาที่เลี้ยงอยู่ในตู้ จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องปั๊มอากาศแล้วต่อท่อลงไป ในน้ำโดยตรง

จากการเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ พอสรุปได้ดังนี้ การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำมีหลายวิธีแล้วแต่จะเลือกให้เหมาะสมกับงาน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้การเพิ่มออกซิเจนแก่น้ำโดยตรงโดยการปั๊มอากาศลงไป เพราะเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสม

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัด DO มาตรฐาน

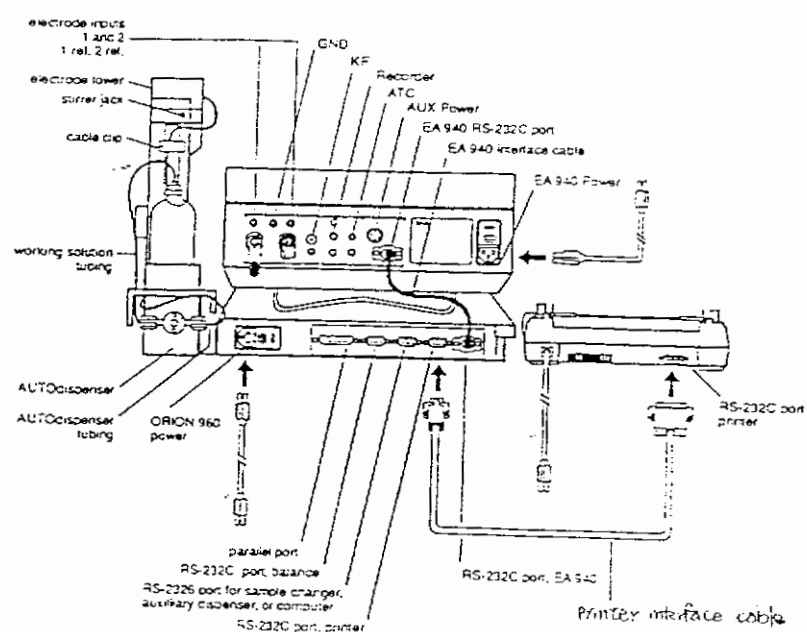
วิธีวิเคราะห์ออกซิเจนละลายโดยวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด

ก. หลักการ

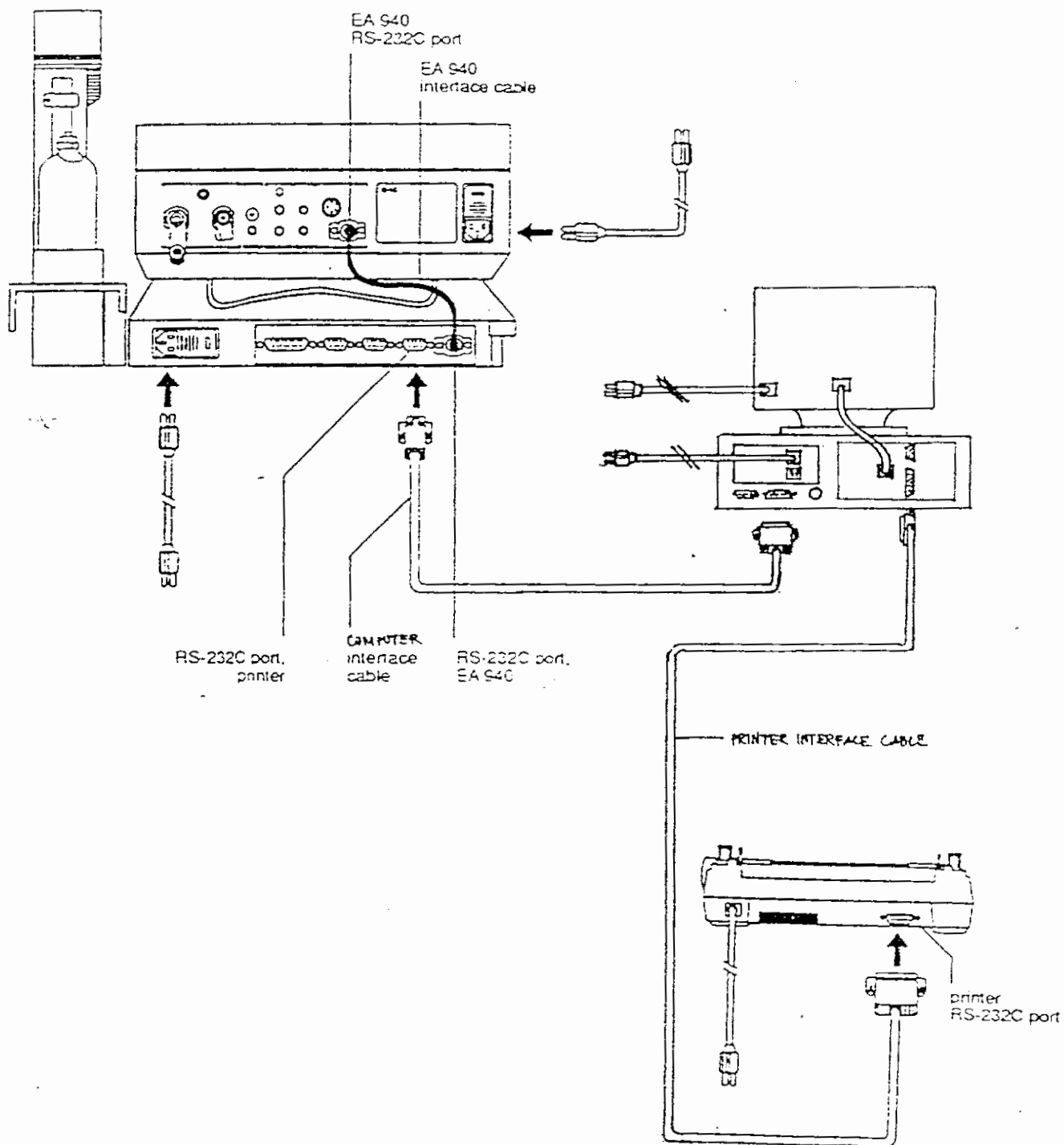
ระบบเมมเบรนอิเล็กโทรดที่ใช้หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่ว่าจะเป็นแบบโพลาร์-โกราฟิค (Polarographic) หรือแบบกัลวานิก (Galvanic) จะประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 อัน ซึ่งทำด้วยโลหะภายในบรรจุอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งแยกตัวอย่างน้ำด้วยเมมเบรน ซึ่งยอม

ให้ออกซิเจนผ่านและกั้นมิให้สิ่งแปลกปลอมผ่านเข้าไปในสถานะที่มีความสมดุล กระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้สามารถเทียบตามความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย โดยกระแสไฟฟ้าที่แพร่ผ่านเข้าไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของโมเลกุลออกซิเจน

ในการวิจัยครั้งนี้ เครื่องวัด DO มาตรฐานที่ใช้เป็น Ion Analyzer Meter ของ Orion Research (รุ่น EA 940, USA) ดังรูป



ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบและการติดตั้งเครื่องวัด DO มาตรฐาน



ภาพประกอบ 2 แสดงการติดตั้ง PC เข้ากับระบบ ORION 940

การ check out เครื่อง Ionalyser รุ่น EA 940

1. เสียบ shorting plug เข้า input ทั้ง 2 ช่อง ซึ่งอยู่ด้านหลังตัวเครื่อง กรณีที่มี ATC probe ให้ถอดออกก่อนทำขั้นตอนต่อไป
2. ถอดปลั๊กเครื่องรอประมาณ 5 วินาที จึงเสียบปลั๊ก หน้าปัทม์จะปรากฏ ORION EA 940 อีกสักครู่จะเปลี่ยนเป็น OPERATOR MENU?
3. กดปุ่ม 2nd และเลข 1 จะปรากฏค่า mV บนหน้าปัทม์ ซึ่งควรจะอ่านได้ 0 ± 0.5 mV
4. ให้ถอด shorting plug ออกสักครู่แล้วเสียบเหมือนเดิม ค่า mV จะวิ่งออกนอก range และกลับมาเป็น 0 ± 0.5 mV เมื่อเสียบ shorting plug เข้าที่แล้ว
5. กด 2nd และเลข 2 เพื่อเปลี่ยนหน้าปัทม์ไปอ่าน channel 2 ทำซ้ำข้อ 3 - 4
6. กด NO จนหน้าปัทม์ปรากฏ OPERATOR MENU? กด YES เพื่อเข้า OPERATOR MENU?
7. กด NO จนหน้าปัทม์ปรากฏ SET TIMER? กด YES และเลข 2
8. เมื่อหน้าปัทม์จะปรากฏ TIMER = 2 SEC IS THIS CORRECT? กด YES
9. กด 2nd และเลข 0 รอ 2 วินาที จะมีเสียง Beep
10. กด Speed 2 หน้าปัทม์จะปรากฏ OPERATOR MENU? ตามเดิม
11. หลังจาก check เครื่องครบทุกข้อแล้ว แสดงว่าเครื่องปกติพร้อมจะใช้งานได้ กรณี check out ไม่ได้ กรุณาติดต่อช่างของบริษัทฯ พร้อมทั้งแจ้งอาการผิดปกติ, หมายเลขของเครื่อง เพื่อช่างของบริษัทฯ จะได้ทำการซ่อมแซมแก้ไขต่อไป

วิธีการใช้ O₂ Electrode

อุปกรณ์และน้ำยาประกอบ

1. pH meter หรือ Ion Analyzer ของ Orion Research ทุก model
2. Magnetic Stirrer
3. ขวด B.O.D.

การเตรียม electrode

1. เอา O₂ electrode ออกจากกล่อง ใช้เหรียญหมุนฝาช่องใส่แบตเตอรี่ทางด้านบน ออกมา
2. ใส่แบตเตอรี่ 2 ก้อน ลงในช่องโดยให้ขั้ว + ของแบตเตอรี่อยู่ทางด้านบน

3. เอา membrane module ออกจาก vial ค่อย ๆ หมุนฝาสีแดงที่ membrane module ออกมา แล้วจึงหมุน membrane module เข้ากับปลาย electrode อย่างช้า ๆ หมุนจนแน่น พอตั้งมือจึงหยุด

4. ใส่น้ำกลั่นลงในขวด B.O.D. ให้มีระดับสูงประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำ O_2 electrode พร้อม Overflow funnel (กรวยสีดํา) มาใส่ในขวดอย่างน้อย 30 นาที ก่อนใช้งาน ระวังอย่าให้น้ำในขวดกระเด็นมาถูก membrane

หมายเหตุ ขวดนี้ใช้สำหรับ Calibrate electrode และเป็นที่พัก electrode ระหว่างการวัดและระหว่างช่วงกลางคืนที่ไม่ได้ใช้งาน

การ Calibrate O_2 electrode ก่อนการวัด

1. เสียบ O_2 electrode เข้ากับเครื่อง pH หรือ Ion Analyzer ของ Orion Research
2. เปิดเครื่อง และเลือก mode pH, Calibrate เครื่องตามวิธีการในคู่มือให้ค่าบนหน้าปัทม์เป็น 7.00

3. หมุนปุ่มเลือก mode บน O_2 electrode ไปที่ Batt CK อ่านค่าบนหน้าปัทม์ ซึ่งควรจะอ่านได้มากกว่า 13.00

4. หมุนปุ่มเลือก mode บน O_2 electrode ไปที่ Zero ใช้ปุ่มปรับที่อยู่ทางซ้าย ปรับจนค่าบนหน้าปัทม์เป็น 0

5. หมุนปุ่มเลือก mode บน O_2 electrode ไปที่ Air ใช้ปุ่มปรับที่อยู่ทางขวา ปรับจนค่าบนหน้าปัทม์เป็นดังนี้

- ที่ระดับน้ำทะเล ปรับเป็น 7.60
- ที่ระดับความสูงอื่น ๆ ปรับเป็น A (A = ความดันบรรยากาศที่วัดจาก บารอมิเตอร์ หารด้วย 100)
- กรณีวัดตัวอย่างที่มีความเค็มเกิน 2 ppt คำนวณค่าที่จะต้องปรับตามวิธีการ และตารางในคู่มือ

6. หลังจากทำตามขั้นตอน 1 - 5 เรียบร้อยแล้ว ขณะนี้ O_2 electrode พร้อมที่จะวัดตัวอย่างแล้ว

การใช้ O_2 electrode วัดตัวอย่าง

1. เก็บตัวอย่างใส่ขวด B.O.D. และนำขวดไปวางบน magnetic stirrer
2. เปิดฝาขวด และค่อย ๆ ใส่ Overflow funnel ลงในขวด
3. ค่อย ๆ หย่อน O_2 electrode ลงใน Overflow funnel

4. เปิด magnetic stirrer ปรับให้มีความเร็วพอเหมาะที่ไม่ทำให้เกิดฟองในขวด B.O.D.

5. หมุนปุ่มเลือก mode บน O_2 electrode ไปที่ H_2O และกดปุ่ม measure ที่เครื่อง รอจนตัวเลขนิ่งและปรากฏคำว่า Ready จึงอ่านค่าบนหน้าปัทม์

6. หลังจากอ่านค่าแล้ว หมุนปุ่มเลือก mode บน O_2 electrode ไปที่ AIR และค่อย ๆ ยก O_2 electrode และ Overflow funnel ออกจากขวดตามลำดับ

วิธีการตรวจเช็ค electrode

1. เตรียม 5% Na_2SO_3 โดยชั่งมา 12.5 กรัม ผสมด้วยน้ำกลั่นจนได้ 250 มิลลิลิตร ใส่ในขวด B.O.D.

2. Calibrate O_2 electrode แล้วนำไปวัดในขวด Na_2SO_3 ควรจะอ่านได้ค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน 2 1/2 นาที

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสียและน้ำทิ้ง

1. ความหมายของน้ำเสีย

ได้มีผู้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้หลายความหมายดังต่อไปนี้

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์ (2534 : 3) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้ว่า น้ำเสีย (Wastewater) หมายถึง น้ำที่ถูกใช้แล้วโดยหมู่ชุมชนและจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ น้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากห้องน้ำ ห้องน้ำ หรือจากบ้านเรือนต่าง ๆ ถูกเรียกกันว่า Domestic wastewater ไม่ใช่มีแค่พวกแร่ธาตุ และสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเท่านั้น ยังมีสิ่งแปลกปลอมอยู่ในน้ำทิ้งอีก ได้แก่พวกกระดาษ สบู่ เศษอาหาร และสารอื่น ๆ อีกมากมาย พวกสารเหล่านี้ อาจแขวนลอยอยู่ในน้ำทิ้ง ในขณะที่บางพวกของสารอาจสามารถละลายอยู่ในน้ำทิ้งได้ หรือสารบางชนิดอาจมีขนาดเล็กมาก ลอยอยู่ในน้ำทิ้งเหล่านี้

ชาญชัย ลิ้มปียากร และคนอื่น ๆ (2536 : 144) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ถูกใช้แล้วโดยประชากรในชุมชน หรือกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ และน้ำเสียเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะทำให้เกิดมลพิษของแหล่งน้ำนั้น ๆ หรือการที่น้ำซึ่งอยู่ในสภาพที่คนใช้ได้ สัตว์น้ำอาศัยอยู่ได้ ตลอดจนวงจรชีวิตมีสภาพที่เลวลงเนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมถูกเติมลงไป

น้ำเสียจากแหล่งชุมชนก็คือ น้ำที่ถูกใช้แล้วที่ปล่อยออกจากบ้านเรือนเป็นน้ำโสโครก รวมทั้งน้ำจากห้องน้ำ ห้องครัวและน้ำซักเสื้อผ้า (Sanitary Wastewater) น้ำเสียจากบ้านเรือนจะไหลรวมกับน้ำทั้งจากตลาดและโรงพยาบาล (Domestic Wastewater) บางครั้งน้ำเสียที่อยู่ในท่อน้ำเสียรวมของเมือง (Municipal Wastewater) ก็รวมน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมย่อยเข้าไปด้วย สำหรับน้ำโสโครกที่อยู่ในท่อบรรบายน้ำของกรุงเทพมหานคร เป็นน้ำโสโครกที่รวมน้ำทั้งจากบ้านเรือน ตลาด โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และน้ำที่ไหลนองเนื่องจากฝนตก รวมเรียกว่า Combined Wastewater

นอกจากนี้ กรมควบคุมมลพิษ (2537 : 2) ได้ให้ความหมายของน้ำเสียไว้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น ครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรและกลีกรรม น้ำเสียจึงมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่มาจากกิจกรรมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของมัน สิ่งที่อยู่ในน้ำเสียเป็นสารต่าง ๆ ที่มาจากวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอาหาร จะให้น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และวัดได้ในรูปของบีโอดีหรือซีโอดี อุตสาหกรรมชุบโลหะให้น้ำเสียที่มีโลหะหนักต่าง ๆ เป็นต้น

จากความหมายเกี่ยวกับน้ำเสียที่ได้กล่าวมาแล้ว พอจะสรุปได้ว่า น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ถูกใช้แล้วโดยประชากรในชุมชนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งน้ำเสียเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะทำให้เกิดมลพิษของแหล่งน้ำ และทำให้แหล่งน้ำนั้นมีสภาพที่เลวลง

2. ความหมายของน้ำทิ้ง

ได้มีผู้ให้ความหมายของน้ำทิ้งไว้หลายความหมาย ดังต่อไปนี้

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่ใช้แล้วและถูกปล่อยทิ้งลงในแหล่งน้ำ ซึ่งอาจได้รับการบำบัดหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ น้ำทิ้งต้องมีคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานน้ำทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ. 2537 : 5)

ธงชัย พรธนะสวัสดิ์. (2530 : 13 - 14) กล่าวว่า น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำซึ่งระบายลงสู่คลองหรือรางหรือท่อระบายสาธารณะ เป็นน้ำซึ่งผ่านการใช้งานและถูกบำบัดมาก่อนหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นน้ำทิ้งอาจมีสภาพหรือลักษณะเช่นเดียวกับน้ำเสียก็ได้ ขึ้นอยู่กับได้รับการบำบัดมาก่อนหรือไม่

เบญญา พวงสุวรรณ (2525 : 4) ได้กล่าวไว้ว่า "น้ำทิ้ง" ตรงกับคำว่า effluent ซึ่งให้คำจำกัดความ ดังนี้

1. ของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งไหลออกจากภาชนะบรรจุ
2. น้ำเสียหรือของเหลวชนิดอื่น ซึ่งผ่านการบำบัดเป็นบางส่วนหรืออย่างสมบูรณ์ หรืออยู่ในสภาพสถานะทางธรรมชาติอย่างเดิม และถูกปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ ถึง ระบบบำบัดน้ำเสีย หรือจากส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารดังกล่าว

3. ท่อย่อย (branch) ปลอยน้ำออกจากลำน้ำประธาน (main stream) หรือทะเลสาบ

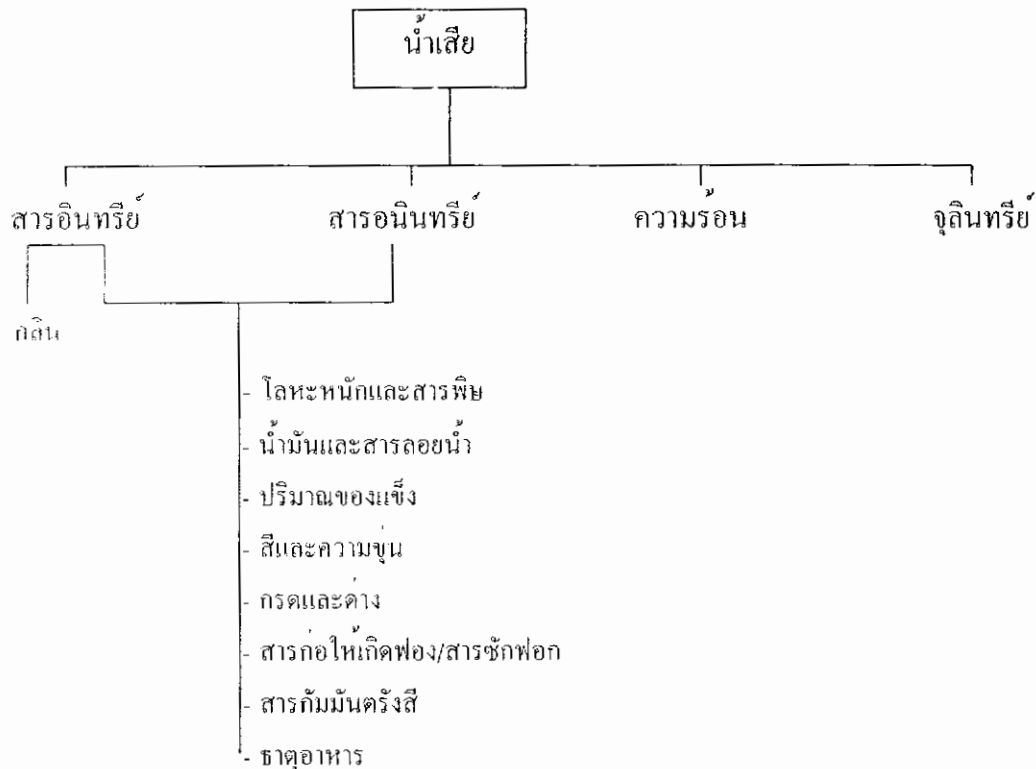
จากความหมายของน้ำทิ้งที่กล่าวมาข้างต้น พอสรุปได้ว่า น้ำทิ้งหมายถึง น้ำที่ถูกใช้แล้ว และถูกปล่อยลงแม่น้ำลำคลอง ซึ่งน้ำนั้นจะถูกการบำบัดมาก่อนหรือไม่ก็ตาม

ลักษณะของน้ำเสีย น้ำที่จัดว่าเป็นน้ำเสียมีลักษณะดังต่อไปนี้ (กรมควบคุมมลพิษ. 2537 : 3 - 4)

1. สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ ฯลฯ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายในน้ำหรือดีโอ (DO, Dissolved Oxygen) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD, Biochemical Oxygen Demand) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากและสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดสภาพน้ำแปดเปื้อน หรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต ฯลฯ

3. โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านซุบโลหะ ตู้ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล ฯลฯ



ภาพประกอบ 3 แผนภูมิแสดงลักษณะของน้ำเสีย

4. น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง และกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่ น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดูและอาจเกิดอันตรายจากอัคคีภัยได้ด้วย

5. ความร้อน ทำให้เกิดแบ่งชั้น (Stratification) ของลำน้ำ เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ อาจทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ประมาณ 25 - 35 องศาเซลเซียส

6. ของแข็ง (Solid) ประกอบด้วยสารแขวนลอย (Suspended Solid), ตะกอนหนัก (Settleable Solid) และของแข็งละลาย (Dissolved Solid) ซึ่งเมื่อจมตัวสู่ก้นลำน้ำ ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

7. สีและกลิ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและกลิ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำ

8. กรดและด่าง วัดโดยค่า pH (พีเอช) ค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึง ความเป็นด่าง ค่าพีเอชน้อยกว่า 7 หมายถึง ความเป็นกรด น้ำสะอาดจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอช มีผลต่อการ

ดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ ค่าพีเอชของน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5 ถึง 9

9. สารก่อให้เกิดฟอง/สารชักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อปลา

10. จุลินทรีย์ (Microorganism) น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ทำให้สามารถลดระดับของดีไอในน้ำในระยะเวลาสั้นได้ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

11. สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์กรของรัฐบางประเภท เป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดมะเร็งได้

12. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงกลางคืน และทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหามกการสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

13. กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงทำปลาป่น โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น พอจะสรุปลักษณะของน้ำเสียได้ดังนี้ น้ำเสียอาจประกอบไปด้วย สารอินทรีย์, สารอนินทรีย์, โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ ความร้อน ของแข็ง สีและความขุ่น กรดและด่าง สารก่อให้เกิดฟองและสารชักฟอก จุลินทรีย์ สารกัมมันตรังสี ธาตุอาหารและกลิ่น

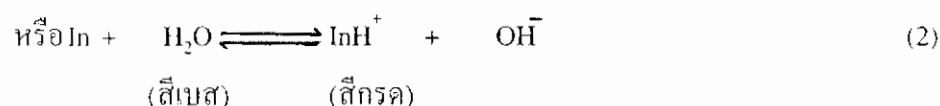
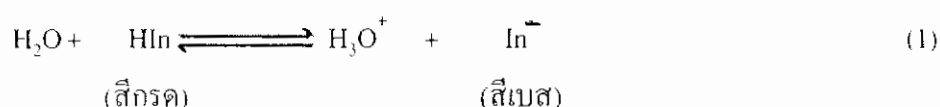
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับอินดิเคเตอร์

อินดิเคเตอร์ (Indicators)

พรพิมล ม่วงไทย. (2530 : 219 - 225) ได้กล่าวถึงอินดิเคเตอร์ว่า อินดิเคเตอร์ เป็นสารประกอบที่มีสีต่าง ๆ กัน อาจเกิดจากการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาทางเคมีหรือเกิดจากธรรมชาติ อินดิเคเตอร์นี้มีสมบัติพิเศษ คือ สามารถจะเปลี่ยนแปลงสีได้ตามสีของสารละลาย จึงทำให้มนุษย์เริ่มนำเอาอินดิเคเตอร์มาใช้ประโยชน์ในการประมาณค่า และใช้เป็นสัญญาณเตือนจุดยุติของปฏิกิริยาการไทเทรต ซึ่งมีทฤษฎีดังต่อไปนี้

ทฤษฎีเกี่ยวกับอินดิเคเตอร์ อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตกรดเบส โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีฤทธิ์เป็นได้ทั้งกรดอ่อนหรือเบสอ่อน การแตกตัวของอินดิเคเตอร์จะเกิดขึ้นภายในโครงสร้าง (Internal Structural Rearrangement) ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนสี

เราสามารถจะเขียนแสดงปฏิกิริยาของอินดิเคเตอร์ได้ดังนี้



HIn และ In^- และ InH^+ เป็นคู่กรด - เบสของอินดิเคเตอร์ ถ้าสารละลายเป็นกรด อินดิเคเตอร์จะอยู่ในรูปของ HIn หรือ InH^+ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะให้สีเป็นสีของกรด ถ้าสารละลายเป็นเบส อินดิเคเตอร์จะอยู่ในรูปของ In^- หรือ In เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะแสดงสีของเบส

ค่าคงที่ของสมดุลของปฏิกิริยาข้างต้น เป็นดังนี้

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{\text{HIn}} = K_a \quad (3)$$

$$\text{และ } \frac{[\text{InH}^+][\text{OH}^-]}{\text{In}} = K_b \quad (4)$$

จัดเทอมใหม่

$$\frac{\text{In}^-}{\text{HIn}} = \frac{K_a}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \quad (5)$$

$$\text{และ } \frac{[\text{InH}^+]}{\text{In}} = \frac{K_b}{[\text{OH}^-]} = \frac{K_b[\text{H}_3\text{O}^+]}{[K_w]} \quad (6)$$

ในสารละลายที่มีอินดิเคเตอร์อยู่จะแสดงการเปลี่ยนแปลงสีตลอดเวลา ถ้ามีการเปลี่ยน pH ซึ่งสายตามนุษย์อาจจะไม่ไวพอที่จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงนี้ นอกจากว่าอินดิเคเตอร์รูปใดรูปหนึ่งมากกว่ากัน 5 - 10 เท่า สายตาเราจึงจะสังเกตเห็น โดยทั่วไปพบว่า ถ้า $[\text{In}^-] > [\text{HIn}]$ ตั้งแต่ 10 เท่าขึ้นไป จะเห็นสีของสารละลายในรูปเบสหรือ In^- และถ้า $[\text{In}^-] < [\text{HIn}]$ ตั้งแต่ 10 เท่าขึ้นไป จะเห็นสีของสารละลายในรูปกรด หรือ HIn

$$\text{นั่นคือ } \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \geq \frac{10}{1} \quad \text{จะเห็นสีเบส} \quad (7)$$

$$\text{และ } \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \leq \frac{1}{10} \quad \text{จะเห็นสีกรด} \quad (8)$$

ถ้า $[\text{In}^-]$ และ $[\text{HIn}]$ มีค่าใกล้เคียงกัน ต่างกันไม่ถึง 10 เท่า ก็จะเห็นสีทั้งสองผสมกัน ตัวอย่างเช่น ฟีนอล์ฟทาเลอิน, HIn ไม่มีสีแดง In^- มีสีแดง

$$\text{เมื่อ } \frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \leq \frac{1}{10} \quad \text{สารละลายไม่มีสี(9)}$$

$$\frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} \geq \frac{10}{1} \quad \text{สารละลายจะเป็นสีแดง} \quad (10)$$

ถ้าปริมาณ $\frac{[\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$ มากกว่า $\frac{1}{10}$ แต่น้อยกว่า $\frac{10}{1}$ ก็จะปรากฏสีทั้งสองผสมกันเป็นสีชมพู

อินดิเคเตอร์จะมีสีใดเมื่ออยู่ในสารละลายจะขึ้นกับ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ หรือ pH ของสารละลาย นั้น ช่วง pH ของสารละลายที่อินดิเคเตอร์ค่อย ๆ เปลี่ยนสีจากสีของกรดไปเป็นสีของเบส หรือช่วง pH ที่อินดิเคเตอร์มีทั้งสีของกรดและสีของเบส จะเรียกว่าช่วง pH (pH Range) หรือ pH Interval หรือ Transition pH Range) ของอินดิเคเตอร์

ถ้าแทนค่าอัตราส่วนทั้ง 2 ลงในสมการ เพื่อจะหาความเข้มข้นของไฮโดรเนียม ไอออนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์

กรณีที่เห็นสีของกรด

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{10} = K_a$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10 K_a$$

และกรณีที่เห็นสีของเบส

$$\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{1} = K_b$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1}{10} K_b$$

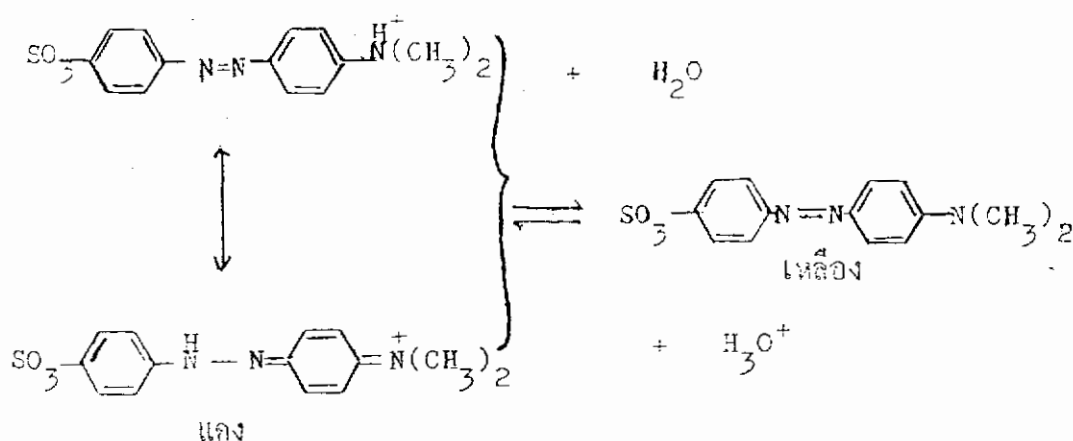
$$\begin{aligned}
 \text{จะได้ว่าช่วง pH ของอินดิเคเตอร์} &= -\log 10 K_a \text{ ถึง } -\log \frac{K_a}{10} \\
 &= -1 + pK_a \text{ ถึง } -(-1) + pK_a \\
 &= pK_a \pm 1 \quad (11)
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ถ้าอินดิเคเตอร์มีค่าคงที่ของการแตกตัวเท่ากับ 1×10^{-5} จะแสดงการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงจาก 4 ถึง 6 การคำนวณช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ชนิดเบสสามารถทำได้ด้วยวิธีเดียวกันกับกรณีกรด

ชนิดของอินดิเคเตอร์กรดเบส

การจำแนกชนิดของอินดิเคเตอร์จะแบ่งตามคุณสมบัติของโครงสร้าง (structural property) สามารถแบ่งได้หลายกลุ่ม ในที่นี้จะกล่าวถึงกลุ่มที่ใช้กันเป็นประจำ

1. กลุ่มอินดิเคเตอร์ฟทาไลน์ (Phthalein Indicators) อินดิเคเตอร์กลุ่มนี้ไม่มีสี เมื่อสารละลายเป็นกรดและมีสีในสารละลายที่เป็นเบส แต่ถ้าเป็นเบสมาก ๆ สีจะค่อย ๆ จางลงอย่างช้า ๆ อินดิเคเตอร์กลุ่มนี้จะละลายน้ำได้น้อยมาก แต่นิยมละลายในแอลกอฮอล์ ตัวอย่างอินดิเคเตอร์กลุ่มนี้ เช่น ฟีนอล์ฟทาไลน์ มีสูตรดังรูป



ภาพประกอบ 4 แสดงสูตรโครงสร้างภายในฟีนอล์ฟทาไลน์

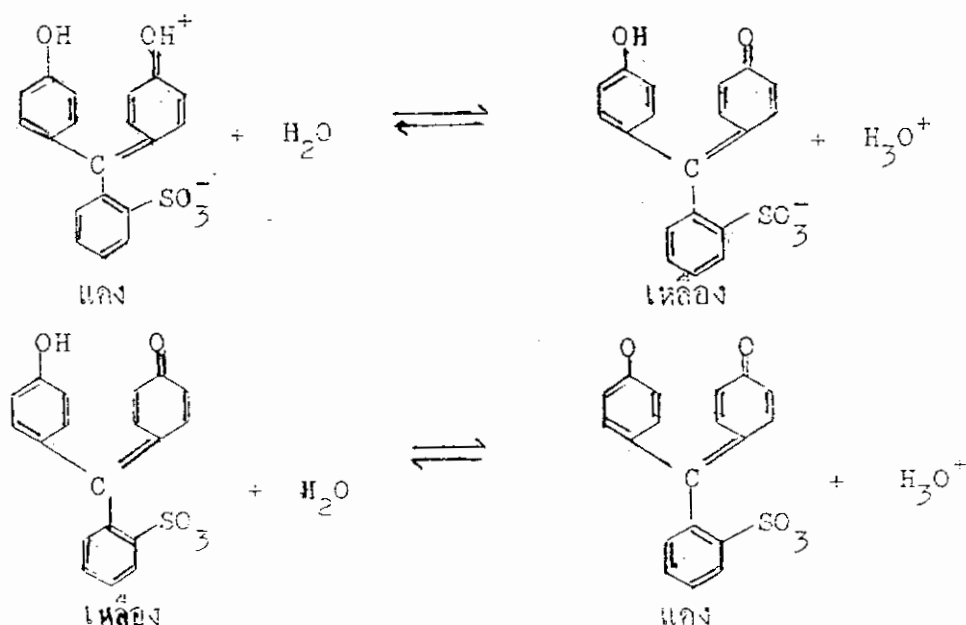
ช่วง pH ของฟีนอล์ฟทาเลอินอยู่ระหว่าง 8.0 ถึง 9.6

อินดิเคเตอร์ตัวอื่นในกลุ่มฟทาเลอิน จะแตกต่างกันตรงที่วงฟีนอลิก ซึ่งจะมีมีกลุ่มฟังก์ชันอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ไทมอล์ฟทาเลอิน มีกลุ่มอัลคิลอยู่ 2 กลุ่ม อยู่บนวงฟีนอลแต่ละวง การเปลี่ยนแปลงสีเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนโครงสร้างคล้ายคลึงกับฟีนอล์ฟทาเลอิน

2. กลุ่มอินดิเคเตอร์ซัลโฟนฟทาเลอิน (Sulfonphthalein Indicators)

อินดิเคเตอร์กลุ่มนี้ มีคุณสมบัติตรงข้ามกับกลุ่มฟทาเลอิน คือ มีช่วง pH ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลาง และสีจะเสถียรมากในช่วงเบส เช่น กลีโอะโซเดียมของซัลโฟนฟทาเลอิน เป็นตัวที่ใช้เตรียมเป็นสารละลายอินดิเคเตอร์ โดยสารละลายซัลโฟนฟทาเลอิน ในสารละลายเจือจางของโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณที่เหมาะสม

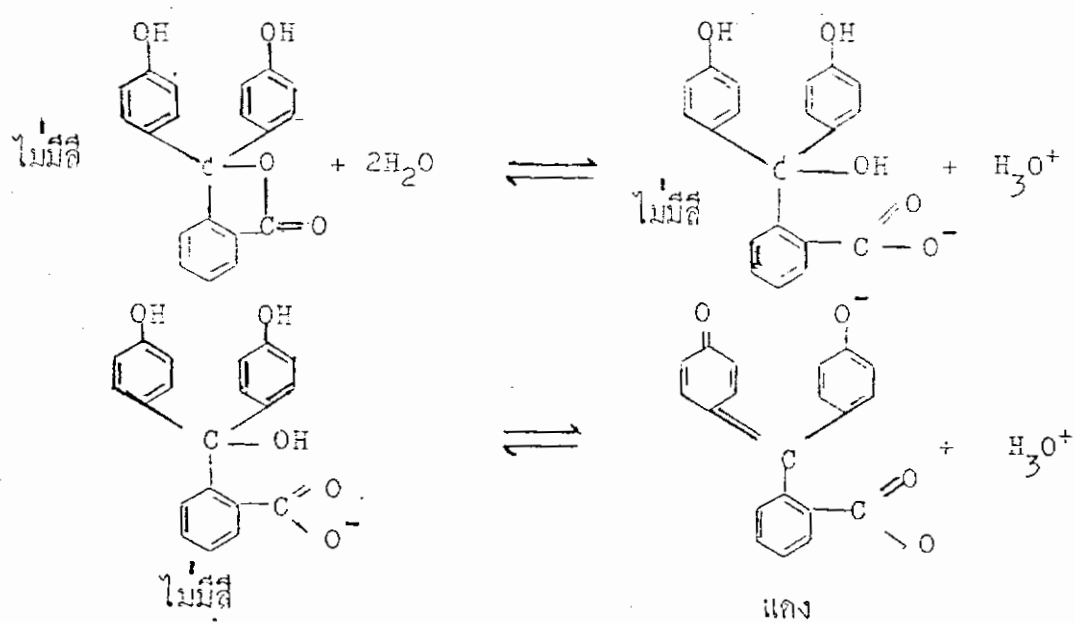
อินดิเคเตอร์ในกลุ่มซัลโฟนฟทาเลอิน ตัวอย่างเช่น ฟีนอลซัลโฟนฟทาเลอิน ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อของฟีนอลเรด



ภาพประกอบ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของฟีนอลเรดในการเปลี่ยนสีครั้งที่สองปรากฏช่วง pH 6.4 ถึง 8.0

3. กลุ่มอินดิเคเตอร์อะโซ (Azo - Indicator)

อินดิเคเตอร์กลุ่มนี้ทั้งหมดเปลี่ยนสีจากแดงเป็นสีเหลือง เมื่อเพิ่มความเป็นเบส ช่วง pH อยู่ในช่วงที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง ตัวอย่างของอินดิเคเตอร์กลุ่มนี้ที่รู้จักกันดี คือ เมทิลออเรนจ์และเมทิลเรด



ภาพประกอบ 6 แสดงการเปลี่ยนสีของเมทิลออเรนจ์

สำหรับตัวอย่างอินดิเคเตอร์ที่น่าสนใจ ดังแสดงในตาราง

ตาราง 1 แสดงชนิดอินดิเคเตอร์ ช่วงการเปลี่ยนสีและสีที่เปลี่ยนแปลง

ชนิดอินดิเคเตอร์	สีที่เปลี่ยนแปลง	ช่วง pH
กรดฟิคริก	ไม่มีสี - เหลือง	0.1 - 0.8
ไทมอลบลู	แดง - เหลือง	1.2 - 2.8
2, 6 - ไดไนโตรฟินอล	ไม่มีสี - เหลือง	2.0 - 4.0
เมทิลเซลโล	แดง - เหลือง	2.9 - 4.0
บรอมฟีนอลบลู	เหลือง - น้ำเงิน	3.0 - 4.6
เมริสออเรนจ์	แดง - เหลือง	3.1 - 4.4
โบรโมครีซอลกรีน	เหลือง - น้ำเงิน	3.8 - 5.4
เมทิลเรด	แดง - เหลือง	4.2 - 6.2
ลิตมัส	แดง - น้ำเงิน	4.5 - 8.3
เมริสเบรอฟีล	ม่วง - เขียว	4.8 - 5.4
พารา - ไนโตรฟินอล	ไม่มีสี - เหลือง	5.0 - 7.0
โบรโมครีซอลเฟรฟีล	เหลือง - ม่วง	5.2 - 6.8
บรอมไทมอลบลู	เหลือง - น้ำเงิน	6.0 - 7.6
ฟีนอลเรด	เหลือง - แดง	6.8 - 8.4
ฟีนอล์ฟทาลีน	ไม่มีสี - แดง	8.0 - 9.6
ไทมอล์ฟทาลีน	ไม่มีสี - น้ำเงิน	9.3 - 10.6

ข้อผิดพลาดในการไทเทรตโดยใช้อินดิเคเตอร์กรด - เบส

สำหรับข้อผิดพลาดของการไทเทรตสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด

1. ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยทราบสาเหตุที่แน่นอนและแก้ไขได้ (Determinate Error)
การผิดพลาดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ผิด กล่าวคือ pH ของการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์แตกต่างจาก pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา เช่น ที่จุดสมมูลของการไทเทรตเบสอ่อนแอมโมเนียด้วยกรดแก่กรดไฮโดรคลอริก มีค่าเท่ากับ 4.98 อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมในการไทเทรต

ควรมีช่วง pH ในช่วงนี้ จากการพิจารณาช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ต่าง ๆ พบว่า เมธิลเรดมีช่วง pH อยู่ระหว่างนี้ จึงควรใช้เมธิลเรด แต่ถ้าผู้ทดลองเลือกใช้อินดิเคเตอร์ผิดไปจากนี้ เช่น ฟีนอล์ฟทาลีน จะพบว่า ผลการไทเทรตผิดพลาดจากความจริงไปมาก การไทเทรตที่ใช้อินดิเคเตอร์อาจทำให้ การไทเทรตได้ผลดี ควรทำอินดิเคเตอร์เบสลง นอกจากนั้นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นอีก คือ การไทเทรต กรดหรือเบสที่เป็นกรดอ่อนหรือเบสอ่อนมาก ๆ หรือสารละลายที่เจือจางมาก ๆ จะปรากฏว่าการ เปลี่ยนแปลง pH ที่จุดสมมูลมีค่าน้อยมาก ทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์เห็นไม่ชัดเจน แม้ว่าเราจะเลือกใช้อินดิเคเตอร์เหมาะสมแล้ว แต่ทำให้ตัดสินว่าถึงจุดยุติเมื่อไร การแก้ไขอาจทำได้ โดยไทเทรตในสารละลายที่ไม่ใช่น้ำ (Nonaqueous Solvent)

ในการไทเทรตบางครั้ง ถ้าต้องการให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ได้ชัดเจน อาจใช้อินดิเคเตอร์ผสม เช่น การไทเทรตคาร์บอเนตจะใช้อินดิเคเตอร์ผสมของเมธิล-ออเรนจ์กับ ไชลิไนไซยานอล เอฟ เอฟ (Xylene Cyanole FF) เพราะไชลิไนไซยานอล เอฟ เอฟ สามารถดูคลิ่น สีบางสีได้

2. ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน (Indeterminate Error) เกิดขึ้นเนื่องจากความสามารถ ในการมองเห็นของผู้ทดลองแต่ละคน

อินดิเคเตอร์ผสม

มุกดา จิรภูมิมินทร์ (2536 : 2 - 9) กล่าวว่า ในทางปฏิบัติมักพบเสมอว่า ในการหา จุดยุติของการไทเทรต บางครั้งมองเห็นสีของสารละลายที่จุดยุติไม่ชัด นักวิทยาศาสตร์จึงมีการ ปรับปรุงใช้ของผสมระหว่างอินดิเคเตอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน เพื่อการมองเห็นสีของ สารละลายที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ชัดขึ้น เช่น ใช้อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมธิลเรดกับบรอมกรีน (Bromocresol Green, BG) ใช้กับการไทเทรตกรดเบสที่จุดสมมูลที่มีพีเอชเป็นกรดใน สารละลายที่เป็นกรดมีสีแดง ส่วนในสารละลายเบส (พีเอชมากกว่า 5.4 ขึ้นไป) ให้สีเขียว ถ้านำ อินดิเคเตอร์หลาย ๆ ชนิดมาผสมกันจะทำให้ช่วงพีเอชของพีเอชกว้างขึ้น อินดิเคเตอร์ผสมนี้ก็จะ มีชื่อว่า universal indicator ที่พีเอชต่าง ๆ กัน อินดิเคเตอร์ก็จะมีสีต่าง ๆ กันด้วย อินดิเคเตอร์ ประเภทนี้ จำเป็นจะต้องมีตารางเทียบสีแต่ละพีเอชให้ด้วย นิยมขายเป็นกระดาษอินดิเคเตอร์ สำเร็จรูปมีกระดาษแข็งที่กล่องให้เทียบสีเพื่อทราบพีเอช อินดิเคเตอร์ประเภทนี้ใช้วัดพีเอชได้แม่นยำ ดีพอควร บางชนิดอาจวัดพีเอชได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เป็นต้น

กรมอนามัย (2537 : 60) กล่าวว่า อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยปริมาตร มี 2 ชนิด คือ ชนิด adsorption (การดูดซับ) และชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงด้วย oxidation - reduction potential ชนิดแรกแสดงได้โดยการใช้สารละลายน้ำแบ่งเพื่อจับออก end point เมื่อทำการไทเทรตสารละลาย

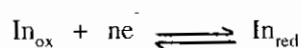
ของ I_2 ด้วย $Na_2S_2O_3$ การไทเทรตดำเนินไปจนกระทั่งสังเกตเห็นว่าสีของสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ (Pale Yellow) ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของไอโอดีนเหลือน้อยมาก จึงเติมน้ำแป้งลงไป ซึ่งจะได้สารละลายสีน้ำเงินเกิดขึ้นแทน สีนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดซับของไอโอดีนที่ผิวของ colloidal starch particle เมื่อทำการไทเทรตต่อไป ไอโอดีนจะถูกปล่อยออกจากน้ำแป้ง เมื่อสีน้ำเงินเปลี่ยนเป็นไม่มีสี ก็แสดงว่าถึง end point ในที่นี้ น้ำแป้งถูกเรียกว่าเป็น adsorption indicator

อินดิเคเตอร์สำหรับการไทเทรตแบบปฏิกิริยารีดอกซ์

การไทเทรตที่เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์บางปฏิกิริยา เช่น การไทเทรตที่เกี่ยวกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ไม่จำเป็นต้องใช้อินดิเคเตอร์ เนื่องจากโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีสีเฉพาะตัวอยู่แล้ว แต่ในปฏิกิริยาอื่น ส่วนใหญ่เราต้องใช้อินดิเคเตอร์ อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตของปฏิกิริยารีดอกซ์แบ่งออกเป็นสองพวก คือ (ศุภชัย ไข่มวยวงศ์. 2539 : 158 - 159)

1. อินดิเคเตอร์เฉพาะสาร (Specific Indicator) การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์พวกนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือสารที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาสารใดสารหนึ่ง เช่น น้ำแป้ง จะให้สีน้ำเงินเมื่อมีไอโอดีนเกิดขึ้นในสารละลาย สำหรับไทโอไซยาเนตไอออน จะให้สารละลายสีแดงเมื่อมี Fe^{3+} เกิดขึ้นในสารละลาย เป็นต้น

2. อินดิเคเตอร์รีดอกซ์ (True Redox Indicator) สารอินทรีย์หลายชนิดที่สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันได้ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีอันเนื่องมาจากเกิดสารที่เป็นตัวออกซิไดส์ และเกิดสารที่เป็นตัวรีดิวส์ขึ้น ซึ่งเขียนแทนด้วยครึ่งปฏิกิริยา (Half Reaction) ดังนี้



In_{ox} และ In_{red} จะต้องมีส่วนแตกต่างกันไป ค่า E° ของครึ่งปฏิกิริยานี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตที่เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ อินดิเคเตอร์ที่เลือกใช้จะต้องศักย์ไฟฟ้าเท่ากับหรือใกล้เคียงที่สุดกับค่าของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุดสมมูลของการไทเทรตของปฏิกิริยานั้น ๆ อินดิเคเตอร์บางชนิด ครึ่งปฏิกิริยาของมันจะมี H^+ เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าขึ้นกับ pH ของสารละลายด้วย

ตาราง 2 สมบัติของรีดอกซ์อินดิเคเตอร์บางชนิด

อินดิเคเตอร์	transition potential (volt) pH = 0	การเปลี่ยนสี	
		reduced	oxidised
Diphenylamine sulphonic acid	0.86	ไม่มีสี	ม่วง - น้ำเงิน
N,N' Diphenylbenzidine sulphonic acid	0.86	ไม่มีสี	ม่วง - น้ำเงิน
Ferroin	1.06	แดง	น้ำเงินอ่อน

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสี

ความหมายของสี และสีของน้ำ

ได้มีผู้ให้ความหมายเกี่ยวกับสี และสีของน้ำไว้คล้ายคลึงกัน ดังต่อไปนี้

สีตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน คือ ลักษณะของแสงที่ปรากฏแก่สายตาเรา ให้เห็นเป็นสีขาว ดำ แดง เขียว ฯลฯ เราสามารถมองเห็นด้วยจักขุสัมผัส หรือสีคือ การสะท้อนรังสีของแสง (Spectrum) มาสู่ตาเรานั้นเอง

ทวีเดช จีวบาง (2536 : 1) นักวิชาการทางทฤษฎีสี ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า สีคือคลื่นของแสงหรือความเข้มของแสงที่มากระทบตาเรา

อารี สุทธิพันธ์ (2528 : 123) ให้ความหมายว่า สี หมายถึง ความเข้มของแสงที่ปรากฏแก่ตาให้เป็นสี เช่น เขียว แดง เหลือง น้ำเงิน ฯลฯ สีที่เราเห็นได้นั้น เป็นรังสีชนิดหนึ่ง ซึ่งมีช่วงแสงระยะหนึ่งที่ตาสามารถรับรู้ได้ เรียกว่า "Visual Rays"

ประเสริฐ ศิลรัตน์ (2525 : 59 - 66) ได้ให้ความหมายของสีว่า สีเป็นการกำหนดชื่อที่ใช้เรียกโดยทั่ว ๆ ไป เป็นแบบสากล มีความหมายกว้างขวาง ไม่เฉพาะหรือกำหนดให้ชัดเจนลงไป ไม่ว่าสีนั้นจะเกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น สีเป็นลักษณะอย่างหนึ่งที่ปรากฏ

ในลักษณะแสง สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทตา โดยอาศัยแสงเป็นตัวส่งสว่าง นอกจากนั้น สียังสามารถกระตุ้นความรู้สึกให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ

ฮาร์เบอร์ และเฮอร์เซนสัน Haber and Harshenson. (1973 : 60) ได้กล่าวว่า สียมีความสำคัญ ครอบคลุมประสบการณ์การรับรู้ในโลกทัศน์ สีไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดผลในด้านอารมณ์ ความรู้สึก ความชอบ แต่สียังก่อให้เกิดผลต่อความสามารถในการเห็นความแตกต่างระหว่างวัตถุด้วย (Trunbull and Baird. 1968 : 272) เราสามารถอธิบายถึงสิ่งหนึ่งสิ่งใดได้อย่างรวดเร็ว เมื่ออ้างถึงสีของสิ่งนั้น มีคำกล่าวอยู่มากมายสำหรับประสบการณ์อันเกี่ยวกับสีของคนเราที่ทำให้เข้าใจในสิ่งที่พูดได้ง่ายกว่าที่จะอธิบายในลักษณะหรือความรู้สึกอื่น ๆ และมีสีอยู่ทั่วไปทุกหนทุกแห่ง ซึ่งมีความสำคัญด้านจิตวิทยาในการประยุกต์ใช้กับชีวิตประจำวันของคนเรา

มันสิน ตันจุลเวศม์ (2538 : 2) ได้กล่าวไว้ว่า สีของน้ำธรรมชาติมักเป็นสีเหลืองน้ำตาล หรือสีชา เกิดขึ้นจากการเน่าเปื่อยของพืช ซึ่งมีสารลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารแทนนิน (Tannin) กรดฮิวมิก (Humic Acid) และสารฮิวเมต (Humates) ซึ่งให้สีเหลืองชา นอกจากนี้สีของน้ำยังเกิดจากอออนของโลหะในน้ำเช่น เหล็ก แมงกานีส และจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับในที่นี้ สีจะหมายถึงสีของน้ำธรรมชาติเท่านั้น สีธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อผู้บริโภคน้ำ แต่ทำให้ดูไม่น่าบริโภค

วรวิทย์ ชีวาพร (2529 : 8) กล่าวว่า สีของน้ำตามธรรมชาติเป็นผลจากการที่น้ำนั้นไหลผ่านสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ทรากสัตว์ ซึ่งเมื่อสลายตัวจะให้สารพวกแทนนิน กรดฮิวมิก และฮิวเมต ซึ่งเป็นสารมีสี นอกจากนี้สียังอาจเกิดจากก้อนของโลหะในน้ำ จากสิ่งมีชีวิต เช่น แพลงค์ตอน และจากการปะปนของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากแนวคิดและความหมายของสีและสีของน้ำ พอดีสรุปความหมายของสีได้ว่า สีหมายถึงลักษณะของแสงที่ปรากฏแก่สายตาเรา ส่วนสีของน้ำ เป็นสีที่เกิดจากน้ำไหลผ่านสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า ที่เกิดการเน่าเปื่อย นอกจากนี้ สีของน้ำยังเกิดจากอออนของโลหะในน้ำหรือสารปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทของสี

ได้มีผู้แบ่งประเภทสีของน้ำ ดังนี้

มันสิน ตันจุลเวศม์ (2538 : 2) กล่าวว่า สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สีปรากฏ (Apparent Color) เกิดจากสารแขวนลอยต่าง ๆ และสีแท้ (True Color) ซึ่งเป็นสีของน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชหรืออนุภาคคอลลอยด์ต่าง ๆ

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. (2528 : 14) ได้แบ่งสีของน้ำออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. สีปรากฏ (Apparent Colour) เป็นสีของน้ำที่ปรากฏให้เห็นแก่สายตาเป็นส่วนใหญ่ โดยเกิดจากการสะท้อนของแสงจากสารแขวนลอยในน้ำ พื้นท้องน้ำ และจากท้องฟ้า
2. สีจริง (True Colour) เป็นสีของน้ำเกิดจากสารละลายชนิดต่าง ๆ โดยอาจจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และธาตุอาหารพืช หรือสารอนินทรีย์ เช่น แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดสีของน้ำต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารดังกล่าว

รววิทย์ ชีวาพร. (2529 : 8) ได้แบ่งสีของน้ำออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สีที่แท้จริง (True Color) เกิดจากการละลายของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ
2. สีที่ปรากฏ (Apparent Color) เกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. (2536 : 39) กล่าวว่า สีของน้ำมี 2 ประเภท คือ

1. สีที่แท้จริง (True Color) เกิดจากการละลายของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ
2. สีที่ปรากฏ (Apparent Color) เกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ หรือไม่ก็ อาจเกิดจากการสะท้อนของท้องฟ้า ซึ่งสารละลายที่ทำให้เกิดสีที่แท้จริงได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และส่วนประกอบของสารทั้งสามประเภทดังกล่าว ส่วนสิ่งที่แขวนลอย ซึ่งทำให้เกิดสีที่ปรากฏ ได้แก่ พืชเล็ก ๆ ในน้ำ เช่น phytoplankton และ zooplankton รวมทั้งสิ่งที่ไม่มีชีวิตบางประเภท เช่น เกล็ดของซากพืชและสัตว์ต่าง ๆ ตะกอนของดินและทราย

จากการแบ่งประเภทสีของน้ำดังกล่าว พอจะสรุปได้ว่า สีของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สีที่แท้จริง ซึ่งเกิดจากการละลายของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำ และสีที่ปรากฏ ซึ่งเกิดจากการสะท้อนของสิ่งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำ หรืออาจจะเกิดจากการสะท้อนของพื้นน้ำหรือท้องฟ้าก็ได้

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับสื่อ

ความหมายของสื่อ

ได้มีผู้ให้ความหมายของสื่อไว้หลายความหมายด้วยกัน ดังต่อไปนี้

สื่อ (Media, Medium) ตามความหมายพจนานุกรม หมายถึง ทำให้ติดต่อกันหรือทำการติดต่อให้ทั่วถึงกัน ชักนำให้รู้จักกัน เช่น สื่อสาร แม่สื่อ ถ้าพิจารณาในแง่ของการสื่อสารแล้ว หมายความว่า สื่อคือ ตัวกลางที่ใช้ในการสื่อความหมายเป็นเครื่องมือที่มาช่วยในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ง่ายขึ้น หรือคือ วัสดุอุปกรณ์ วิธีการหรือเทคนิค รวมถึงบุคคลที่จะมาช่วยแก้ปัญหา ทำให้กิจกรรมต่าง ๆ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี (เชิธรศรี วิวิธศิริ. 2527 : 35)

วารินทร์ รัตมีพรหม. (2531 : 22) กล่าวว่า สื่อ (Medium - Media) คำนี้มาจากภาษาละตินว่า "Between" ซึ่งแปลว่า "ระหว่าง" คำว่าสื่อ จึงหมายถึง สิ่งที่เป็นพาหนะนำข้อมูลจากแหล่งกำเนิดไปสู่ผู้รับ ในแง่ของสื่อ การส่งความหมายถึงกัน (Media of Communication) ที่ใช้กันอยู่คือ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องเสียง ภาพ วัสดุฉาย และสิ่งพิมพ์ สิ่งเหล่านี้ เมื่อนำมาใช้กับการเรียนการสอน เราก็จะเรียกว่า สื่อการสอน

คณะกรรมการฝ่ายส่งเสริมวิชาการผลิตตำรา และสื่อการสอน (2535 : 11) กล่าวว่า สื่อการสอน (Instructional Media) หมายถึง สิ่งใด ๆ ก็ตามที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดความรู้หรือช่วยในการเรียนรู้ ซึ่งผู้สอนและผู้เรียนเป็นผู้ใช้ เพื่อช่วยให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ไชยยศ เรืองสุวรรณ (2526 : 4) ได้ให้ความหมายของสื่อการสอน ไว้ว่า สื่อการสอน หมายถึง สิ่งที่ใช้เป็นตัวกลางในกระบวนการจัดการเรียนการสอน หรือการสื่อสารในการเรียนการสอน เพื่อช่วยให้การเรียนการสอนดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพสมจุดมุ่งหมาย

บุญฤทธิ คงคาเพชร (2526 : 1) กล่าวว่า สื่อ (Media) หมายถึง ตัวกลางหรือตัวพาหนะที่ทำหน้าที่นำสารหรือข้อมูลเรื่องราวต่าง ๆ ที่ผู้ส่งต้องการถ่ายทอดไปสู่ผู้รับ ส่วนสื่อการสอน (Instrument Media) หมายถึง วัสดุอุปกรณ์หรือวิธีการหรือเทคนิคต่าง ๆ ที่เป็นเครื่องช่วยถ่ายทอดหรือนำความรู้จากแหล่งความรู้ที่ครูผู้สอนต้องการไปยังผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ตามจุดมุ่งหมายที่ครูตั้งไว้

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2526 : 5) กล่าวว่า สื่อการศึกษาหมายถึง วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

น้อย สิริโชติ. (2523 : 107) ให้ความหมายของสื่อการศึกษาว่า หมายถึง สิ่งที่น่ามาใช้เป็นตัวกลางในการส่งข่าวสารให้สามารถดำเนินการไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

นิคม ทาแดง (2526 : 81 -84) ได้ให้ความหมายของสื่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึงสิ่งต่าง ๆ ทั้งทางด้านกายภาพและจิตภาพ ที่ก่อให้เกิดสถานการณ์ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เนื้อหาที่เป็นความรู้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ สิ่งต่าง ๆ นั้น ได้แก่ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักรของจริงและสัญลักษณ์ต่าง ๆ รวมทั้งสถานการณ์ที่เกิดจากกิจกรรมของผู้สอนและผู้เรียน

อิริคสัน (Erickson : 1971) กล่าวถึงคุณค่าของสื่อการศึกษา สรุปได้ว่า สื่อการศึกษาช่วยจัดเสริมประสบการณ์ของผู้เรียน ช่วยทำให้เนื้อหาในการเรียนมีความหมายต่อชีวิตผู้เรียน ช่วยให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ที่พึงปรารถนา ผู้เรียนสามารถประกอบกิจกรรมที่แตกต่างกันออกไปได้ และทำให้ผู้สอนสามารถปฏิบัติงานได้รวดเร็วและถูกต้องเพิ่มขึ้น

จากคำจำกัดความข้างต้น พอจะสรุปความหมายของสื่อการสอนและสื่อการศึกษาได้ว่า หมายถึง ตัวกลาง เช่น วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ ที่ช่วยนำและถ่ายทอดความรู้จากผู้สอนหรือจากแหล่งความรู้ไปยังผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตามที่ตั้งไว้ ในจุดมุ่งหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

ประเภทสื่อการสอนวิทยาศาสตร์

นักเทคโนโลยีการศึกษาได้แบ่งประเภทของสื่อการสอนออกเป็นหลายแบบ แตกต่างกัน ตามทัศนะของผู้แบ่งว่า จะยึดหลักการใดเป็นพื้นฐานในการแบ่ง การแบ่งประเภทสื่อการเรียนการสอน ที่น่าจะให้ความสะดวกในการพิจารณาเลือกและใช้ในวิชาวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะประสบการณ์ของผู้เรียน การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะสื่อในกระแสดความคิดของผู้เรียน และการแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะโครงสร้างของสื่อ ดังนี้ (ภพ เลหาไพบูลย์, 2537 : 198 - 201)

1. การแบ่งประเภทสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะประสบการณ์ของผู้เรียน

เดล (Edgar Dale) ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัย โอไฮโอ (The Ohio State University) ได้แบ่งสื่อการเรียนการสอน โดยคำนึงถึงประสบการณ์ที่ผู้เรียนจะได้รับจากการใช้สื่อ จากประสบการณ์ตรงหรือรูปธรรม (Concrete) ไปสู่ประสบการณ์นามธรรม (Abstract) สามารถแบ่งออกเป็น 11 ประเภท แต่ภายหลังได้ปรับปรุงโดยรวมภาพย่นตรงกับโทรทัศน์เป็นประเภทเดียวกัน จึงเหลือเป็น 10 ประเภท เรียกว่า กรวยประสบการณ์ (The Cone of Experience) ตามลำดับจากรูปธรรมไปหานามธรรม ดังต่อไปนี้

1.1 ประสบการณ์ตรงที่ผู้เรียนเจตนาได้รับเป็นสื่อของจริง (Direct Purposeful Experiences) เป็นประสบการณ์จริง ได้แก่ วัตถุ สถานการณ์ ปรากฏการณ์จริงที่ผู้เรียนสามารถรับรู้ และเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ได้สัมผัสด้วยตนเองจากประสาทสัมผัสทั้งห้า เป็นสื่อที่มีความจำเป็นต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เสนอปัญหาขั้นการทดลอง และรวบรวมข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานที่ตั้งขึ้น

1.2 ประสบการณ์จำลอง (Contrived Experiences) เป็นประสบการณ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงของจริงหรือสถานการณ์จริงมากที่สุด ในการเรียนการสอน ผู้สอนไม่สามารถจัดประสบการณ์ตรงให้กับผู้เรียนได้เสมอไป บางครั้งประสบการณ์ตรงนั้นไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้จริง อาจเป็นอันตราย ของจริงอาจมีขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กเกินไป มีความซับซ้อน อยู่ไกลเกินกว่าที่จะนำมาศึกษาได้ จึงต้องจำลองหรือเลียนแบบให้มีลักษณะที่ใกล้เคียงหรือเหมือนจริงที่สุด เพื่อความสะดวก ปลอดภัยและเข้าใจได้ง่าย เช่น สถานการณ์จำลอง หุ่นจำลอง เป็นต้น

1.3 ประสบการณ์นาฏการ (Dramatized Experiences) เป็นการจำลองสถานการณ์อย่างหนึ่ง แต่ไม่คำนึงถึงความเหมือนหรือใกล้เคียงกับประสบการณ์จริงเท่ากับประสบการณ์จำลอง ผู้เรียนได้รับการแสดงด้วยตนเองหรือการชมการแสดง เป็นสถานการณ์จำลองที่ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และกระบวนการบางอย่างได้ดี

1.4 การสาธิต (Demonstrations) เป็นการกระทำหรือแสดงให้ดูเป็นแบบอย่างประกอบการอธิบายหรือบรรยายกระบวนการของการกระทำนั้น ๆ อย่างมีขั้นตอนต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ เป็นประสบการณ์ที่ได้จากสื่อซึ่งอาจเป็นสถานการณ์จำลองหรือสถานการณ์จริง แต่เป็นสื่อที่มีจำนวนน้อย จึงสาธิตให้ดูเป็นกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนได้สังเกตและรวบรวมข้อมูลพร้อมกันหลายคน

1.5 การศึกษานอกสถานที่ (Field Trips) เป็นการพานักเรียนไปศึกษาจากแหล่งความรู้นอกห้องเรียน เป็นประสบการณ์ที่ได้รับจากสื่อการเรียนการสอนที่เป็นวัตถุสถานการณ์หรือปรากฏการณ์จริง เป็นการพาผู้เรียนไปยังแหล่งของสื่อ ทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ในการเรียนรู้หลายด้าน เช่น การศึกษาลักษณะของใบไม้นอกห้องเรียน เป็นการนำเข้าสู่ปัญหาหรือการสรุปบทเรียน เป็นการยืนยันข้อสรุปที่ได้จากการเรียนในห้องเรียน

1.6 นิทรรศการ (Exhibition) สื่อที่ให้ประสบการณ์ในลักษณะการนิทรรศการนี้อาจเป็นทั้งของจริงและสิ่งจำลองต่าง ๆ เพื่อเสนอความรู้ในเรื่องราวต่าง หรือแสดงกระบวนการทำงาน โดยใช้สื่อและเทคนิควิธีการหลายรูปแบบ ซึ่งจะสร้างความเข้าใจให้แก่ผู้ชม เช่น การจัดแสดงผลงานของนักเรียน เป็นต้น

1.7 โทรทัศน์การศึกษาและภาพยนตร์ (Educational Television and Motion Pictures) เป็นประสบการณ์ที่ให้ทั้งภาพเคลื่อนไหวและมีเสียงประกอบ เป็นประสบการณ์ที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการเห็นและได้ยินเสียงเหตุการณ์เรื่องราวต่าง ๆ ทำให้เข้าใจสิ่งต่าง ๆ ได้ดีขึ้น สามารถนำประสบการณ์ที่เป็นอดีตหรืออยู่ห่างไกลมาเรียนรู้ได้ สามารถเรียนรู้ในสิ่งที่ปกติวิสัยของมนุษย์ไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตนเอง เช่น สิ่งที่เกิดขึ้นไปหรือใหญ่เกินไป สิ่งที่เกิดขึ้นเร็วหรือช้ามาก เป็นต้น โทรทัศน์ยังสามารถถ่ายทอดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะนั้นให้เห็นและได้ยินเสียงเหมือนกับอยู่ในสถานการณ์จริง ในขณะที่ภาพยนตร์ไม่สามารถทำได้ เดล จึงลำดับให้โทรทัศน์มีความเป็นรูปธรรมมากกว่าภาพยนตร์ แต่อย่างไรก็ดี ทั้งภาพยนตร์และโทรทัศน์ก็ยังจัดอยู่ในชั้นเดียวกัน คือ สามารถให้เห็นภาพและเสียง

1.8 ภาพนิ่ง วิทยู การบันทึกเสียง (Still Pictures, Radio, Recordings) เป็นประสบการณ์ที่สามารถสัมผัสได้เพียงด้านเดียว เช่น ภาพนิ่ง สัมผัสได้ด้วยการเห็นหรือมองดูเท่านั้น ส่วนวิทยูและการบันทึกเสียง สามารถสัมผัสได้ด้วยการฟังเสียงเพียงด้านเดียวเช่นกัน แต่การ

บันทึกเสียงสามารถนำมาฟังได้หลายครั้ง ในขณะที่วิทยุให้ข่าวสารหรือเรื่องราวที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ดังนั้นภาพนิ่ง วิทยุและการบันทึกเสียง จึงจัดเป็นประสบการณ์ในชั้นเดียวกัน

1.9 ทศนสัญลักษณ์ (Visual Symbols) ประสบการณ์ขั้นนี้มีความเป็นนามธรรมมากขึ้น เป็นสัญลักษณ์ที่สามารถรับรู้ได้ด้วยการมองหรือสัมผัสได้ด้วยตา อาจเป็นสัญลักษณ์ทางภาพ โครงร่างง่าย ๆ ตลอดจนภาพหรือเครื่องหมายต่าง ๆ ได้แก่ แผนภูมิ แผนสถิติ แผนที่ เป็นต้น

1.10 วจนสัญลักษณ์ (Verbal Symbols) ประสบการณ์ขั้นสุดท้ายซึ่งเป็นนามธรรมที่สุด เป็นสัญลักษณ์ทางภาษา ทั้งภาษาพูดและภาษาเขียน ได้แก่ สูตร สัญลักษณ์ คำต่าง ๆ การใช้วจนสัญลักษณ์จะต้องอาศัยการตีความหมาย การใช้ภาษาที่ง่ายต่อการเข้าใจจึงจะได้ผลดี เป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพในการเสนอเนื้อหา มโนคติ หลักการ ทฤษฎี หรือกฎบางอย่างได้ดี

2. การแบ่งประเภทสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะสื่อในกระแสด้านความคิดของผู้เรียน

การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะสื่อในกระแสด้านความคิดของผู้เรียนนี้ แบ่งตามทฤษฎีโครงสร้างความคิดของ บรูเนอร์ (Bruner) ศาสตราจารย์ทางจิตวิทยาแห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ซึ่งอธิบายว่า คนเราจะเกิดความรู้ความเข้าใจสิ่งแวดล้อมได้โดยที่สิ่งแวดล้อมที่เป็นวัตถุ ปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์ทำให้เกิดสื่อหรือสิ่งแทนในกระแสด้านความคิดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสามด้าน ซึ่งได้แก่ ด้านประสบการณ์ตรง (Enactive) ด้านประสบการณ์ภาพ (Iconic) และด้านประสบการณ์สัญลักษณ์ (Symbolic) ดังนั้นสื่อในที่นี้ จึงหมายถึงสื่อที่เป็นวัตถุหรือสถานการณ์กับสื่อที่เป็นลักษณะของความคิด ดังนี้

2.1 สื่อประเภทที่ก่อให้เกิดประสบการณ์ตรง ทำให้เกิดการกระทำเคลื่อนไหวที่ของกลั่นเนื้อ ทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจขึ้น ได้แก่ สื่อของจริง สถานการณ์จำลอง นาฏการ การสาธิต การศึกษานอกสถานที่ นิทรรศการ

2.2 สื่อประเภทที่ก่อให้เกิดประสบการณ์ภาพ เป็นประสบการณ์ที่ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากการสังเกตโดยทางอ้อมจากภาพ ได้แก่ โทรทัศน์ ภาพยนตร์ ภาพนิ่ง วิทยุ การบันทึกเสียง

2.3 สื่อประเภทที่ก่อให้เกิดประสบการณ์สัญลักษณ์ เป็นประสบการณ์ที่ผู้เรียนเรียนรู้จากสัญลักษณ์ ได้แก่ สื่อที่สนสัญลักษณ์ และสื่อภาษา

3. การแบ่งประเภทสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะโครงสร้างของสื่อ

การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะโครงสร้างของสื่อ เป็นการแบ่งประเภทตามเนื้อวัตถุและลักษณะขององค์ประกอบของสื่อนั้น ปัจจุบันนี้แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทวัสดุ ประเภทเครื่องมือหรืออุปกรณ์ และประเภทเทคนิคหรือวิธีการ

3.1 สื่อประเภทวัสดุ (Software or Material) จัดเป็นสื่อเล็ก (Small Media) เป็นสื่อการสอนประเภทสิ้นเปลือง เสียหายได้ง่าย และเป็นสื่อที่บรรจุเนื้อหาสาระ เรื่องราวหรือความรู้ไว้ในลักษณะต่าง ๆ เช่น หนังสือบรรจุเรื่องราวไว้ในลักษณะของตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ ภาพยนตร์ บรรจุเรื่องราวไว้ในรูปภาพเคลื่อนไหวควบคู่กับเสียง เป็นต้น สื่อการสอนประเภทวัสดุยังสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ วัสดุที่ต้องอาศัยเครื่องมือหรืออุปกรณ์จึงจะสามารถเสนอเรื่องราวความรู้ได้ เช่น फिल्म เทปเสียง แผ่นเสียง เป็นต้น กับวัสดุที่สามารถเสนอเรื่องราวความรู้ เนื้อหาสาระไปสู่ผู้เรียนด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือหรืออุปกรณ์แต่อย่างใด เช่น หนังสือ แผนภูมิ รูปภาพ หุ่นจำลอง แผนที่ สารเคมีต่าง ๆ ตัวอย่างวัสดุสิ่งของ เป็นต้น

3.2 สื่อประเภทเครื่องมือหรืออุปกรณ์ (Hardware or Equipment) จัดเป็นสื่อใหญ่ (Big Media) เป็นสื่อการสอนที่เป็นตัวกลาง ซึ่งเป็นทางผ่านของความรู้หรือเรื่องราวเท่านั้น โดยตัวเองแล้วไม่ได้บรรจุเนื้อหาสาระ ความรู้ใด ๆ จึงไม่สามารถจะสื่อความหมายไปยังผู้เรียนได้ แต่ต้องอาศัยสื่อประเภทวัสดุมาใช้ควบคู่กัน เช่น เครื่องฉายภาพยนตร์ เครื่องฉายสไลด์ เครื่องฉายเทปโทรทัศน์ เครื่องมือสำหรับการทดลอง เป็นต้น

3.3 สื่อประเภทเทคนิคหรือวิธีการ (Technique and Method) สื่อการสอนประเภทนี้ ไม่จัดอยู่ในประเภทวัสดุหรือเครื่องมือ แต่อาศัยสื่อประเภทวัสดุหรือเครื่องมืออย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างมาใช้ร่วมกัน ในลักษณะกิจกรรมหรือวิธีการ เช่น การสาธิต การทดลอง เกม การแสดงบทบาทสมมติ การจำลองสถานการณ์ การฝึกปฏิบัติ ทักษะศึกษา การทำกิจกรรม เป็นต้น

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2526) ได้แบ่งสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ ออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภทวัสดุ ประเภทอุปกรณ์ และประเภทวิธีการ แต่ในที่นี้ขอกล่าวเฉพาะสื่อการสอนประเภทวัสดุเท่านั้น สื่อการสอนวิทยาศาสตร์ประเภทวัสดุ หมายถึง วัตถุสาร ประกอบ ตลอดจนวัสดุพวกซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ที่มีการใช้สิ้นเปลือง บอบสลาย ผุพังได้ ซึ่งรวมถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สารเคมีต่าง ๆ สารเคมีที่ใช้ในชีวิตประจำวัน สารพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น กรด ด่าง เกลือ

2. วัสดุแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่าง ๆ เหล่านี้ อาจจัดหามาจากวัสดุที่มีใช้ในชีวิตประจำวัน ของเหลือใช้หรือของที่อาจดัดแปลงขึ้นมา เช่น พวกผงเหล็ก สารไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ แม่เหล็กถาวร แท่งเหล็ก ลวด สังกะสี อะลูมิเนียม ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ ตัวต้านทานไฟฟ้า ตัวประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ เป็นต้น

3. วัสดุเครื่องเขียน ขอลูกสีต่าง ๆ สำหรับเขียนกระดานขอลูก สีเมจิกสำหรับกระดานไวท์บอร์ด สีเขียนเครื่องแก้ว สำหรับทำเครื่องหมายบนภาชนะที่เป็นแก้ว กระดาษสี กระดาษสะท้อนแสง กระดาษเขียนภาพและเขียนแผนภูมิ เป็นต้น

4. ตัวอย่างวัตถุสิ่งของ ได้แก่ ตัวอย่างดิน หิน ทราย แร่ น้ำมันดิบ กระดูกสัตว์ ฯลฯ

5. ตัวอย่างของสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แมลง สัตว์เลี้ยง ปลา สัตว์น้ำต่าง ๆ

6. พวกแผ่นภาพต่าง ๆ ได้แก่ แผ่นกราฟแสดงตัวเลข หรือปริมาณข้อมูลต่าง ๆ ให้พิจารณาเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น

7. ภาพถ่าย ภาพถ่ายเป็นวัสดุการสอนประเภทแผ่นภาพ เพราะภาพถ่ายมีประโยชน์มากต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ภาพถ่ายจะบอกอัตราส่วนเปรียบเทียบขนาดของจริงได้ ภาพสิ่งของวัตถุสิ่งของ ทำให้ผู้เรียนสามารถจำแนกประเภท บอกความแตกต่างได้

8. หนังสือ หนังสือตำรา หมายถึง ตำราเรียน และหนังสือประกอบต่าง ๆ เป็นวัสดุการสอนที่มีความจำเป็นและมีความสำคัญมาก กล่าวได้ว่า เป็นสื่อหลักในการถ่ายทอดเนื้อหาและวิธีการเรียนรู้

9. แผ่นโปร่งใส ภาพแผ่นโปร่งใสสำหรับฉายภาพ โดยเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ (Over Head Projector) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครื่องฉายชนิดหนึ่ง

10. สไลด์และฟิล์มสตริป แม้กระบวนการผลิต และใช้สไลด์และฟิล์มสตริป จะมีราคาแพง ต้องใช้กล้องถ่ายภาพมีกระบวนการล้างฟิล์มและต้องใช้กับเครื่องฉาย แต่ก็มีคุณค่าสูงต่อกระบวนการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ เพราะสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับรูปร่างลักษณะ สี สันของของจริงที่หาดูได้ยาก เป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพ

11. แผ่นเสียงและเทปบันทึกเสียง แผ่นเสียงใช้ฟังเสียงที่หาฟังได้ยากหรือเสียงประกอบขึ้น (Sound Effect) ให้เหมือนเสียงจริง

12. ฟิล์มภาพยนตร์ ฟิล์มภาพยนตร์โดยเฉพาะภาพยนตร์เสียงในฟิล์ม ที่มีแพร่หลายในปัจจุบัน

13. เทปบันทึกภาพ มีประโยชน์ต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์กับภาพยนตร์ แต่การบันทึกการใช้มีความคล่องตัวมากกว่า ไม่ต้องเสียเวลาในการอัดล้างเหมือนภาพยนตร์

จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้นพอจะสรุปการแบ่งประเภทของสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ออกเป็นดังนี้

- การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะประสบการณ์ของผู้เรียน
- การแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะสื่อตามกระแสด้านความคิดของผู้เรียน
- และการแบ่งประเภทของสื่อการเรียนการสอนตามลักษณะโครงสร้างของสื่อ

แบบสัณฐานที่สร้างขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ จัดอยู่ในสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ประเภทสื่อการเรียนการสอน ตามลักษณะโครงสร้างของสื่อและจัดเป็นสื่อประเภทวัสดุ

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

การกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งอาศัยอำนาจตามความในมาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินไว้ดังต่อไปนี้ (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537)

ข้อ 1 ในประกาศนี้

"แหล่งน้ำผิวดิน" หมายถึง ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำสาธารณะอื่น ๆ ที่อยู่ในพื้นแผ่นดิน ซึ่งหมายความรวมถึงแหล่งน้ำสาธารณะที่อยู่ในพื้นแผ่นดินบนเกาะด้วย แต่ไม่รวมถึงน้ำบาดาล และในกรณีที่แหล่งน้ำนั้น อยู่ติดกับทะเลให้หมายความถึงแหล่งน้ำที่อยู่ในปากแม่น้ำหรือปากทะเลสาบ

ปากแม่น้ำและปากทะเลสาบให้ถือแนวเขตตามที่กรมเจ้าท่ากำหนด

ประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 2 ให้แบ่งแหล่งน้ำผิวดินออกเป็น 5 ประเภท คือ แหล่งน้ำประเภทที่ 1 แหล่งน้ำประเภทที่ 2 แหล่งน้ำประเภทที่ 3 แหล่งน้ำประเภทที่ 4 และแหล่งน้ำประเภทที่ 5

(1) แหล่งน้ำประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (ก) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
- (ข) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
- (ค) การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

(2) แหล่งน้ำประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- (ก) การอุปโภคและบริโภคโดยตรงผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- (ข) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
- (ค) การประมง

(ง) การวางน้ำและกีฬาทางน้ำ

(3) แหล่งน้ำประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(ข) การเกษตร

(4) แหล่งน้ำประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(ก) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

(ข) การอุตสาหกรรม

(5) แหล่งน้ำประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ข้อ 3 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ต้องมีสภาพตามธรรมชาติและสามารถใช้ประโยชน์ได้ตามข้อ 2(1)

ข้อ 4 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ต้องมีมาตรฐานดังต่อไปนี้

(1) ไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ซึ่งจะทำให้สี กลิ่นและรสของน้ำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติ

(2) อุณหภูมิ (Temperature) ไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

(3) ความเป็นกรดและเบส (pH) มีค่าระหว่าง 5.0 - 9.0

(4) ออกซิเจนละลาย (DO) มีค่าไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) บีโอดี (BOD) มีค่าไม่เกินกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 5,000 เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 มิลลิลิตร

(7) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) มีค่าไม่เกินกว่า 1,000 เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 มิลลิลิตร

(8) ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน มีค่าไม่เกินกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) ฟีนอล (Phenols) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(11) ทองแดง (Cu) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

- (12) นิกเกิล (Ni) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (13) แมงกานีส (Mn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (14) สังกะสี (Zn) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (15) แคดเมียม (Cd) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (16) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (17) ตะกั่ว (Pb) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (18)ปรอททั้งหมด (Total Hg) มีค่าไม่เกินกว่า 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (19) สารหนู (As) มีค่าไม่เกินกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (20) ไซยาไนด์ (Cyanide) มีค่าไม่เกินกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (21) กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) มีค่ารังสีแอลฟา (Alpha) ไม่เกินกว่า 0.1 เบคเคอเรลต่อลิตร และรังสีเบตา (Beta) ไม่เกินกว่า 1.0 เบคเคอเรลต่อลิตร
- (22) สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides) มีค่าไม่เกินกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (23) ดีดีที (DDT) มีค่าไม่เกินกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (24) บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha - BHC) มีค่าไม่เกินกว่า 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (25) ดิลดริน (Dieldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (26) อัลดริน (Aldrin) มีค่าไม่เกินกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (27) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor) และเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlorepoxyde) มีค่าไม่เกินกว่า 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร
- (28) เอนดริน (Endrin) ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด
- ข้อ 5 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ต้องมีมาตรฐานตามข้อ 4 เว้นแต่
- (1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (3) แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด มีค่าไม่เกินกว่า 20,000 เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 มิลลิลิตร
- (4) แบคทีเรียกลุ่มคอลลิดิฟอร์มทั้งหมด มีค่าไม่เกินกว่า 4,000 เอ็ม.พี.เอ็น ต่อ 100 มิลลิลิตร

ข้อ 6 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 ต้องมีมาตรฐานตามข้อ 4 (1) ถึง (5) และ (8) ถึง (28) เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลาย มีค่าไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดี มีค่าไม่เกินกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 7 คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ต้องมีมาตรฐานไม่ต่ำกว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4

ข้อ 8 การกำหนดให้แหล่งน้ำผิวดินแหล่งใดแหล่งหนึ่งเป็นประเภทใดตามข้อ 2 ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

วิธีการเก็บตัวอย่างและตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ข้อ 9 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพตามข้อ 3 ถึงข้อ 7 ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) แหล่งน้ำไหล ซึ่งได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น ให้เก็บที่จุดกึ่งกลาง ความกว้างของแหล่งน้ำที่ระดับกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบ เว้นแต่แบบที่เรียกกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบบที่เรียกกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

(2) แหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งได้แก่ ทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ให้เก็บที่ระดับความลึก 1 เมตร ณ จุดตรวจสอบแหล่งน้ำที่มีความลึกเกินกว่า 2 เมตร และให้เก็บที่จุดกึ่งกลางความลึก ณ จุดตรวจสอบ สำหรับแหล่งน้ำที่มีความลึกไม่เกิน 2 เมตร เว้นแต่แบบที่เรียกกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบบที่เรียกกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม ให้เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ณ จุดตรวจสอบ

จุดตรวจสอบตาม (1) และ (2) ของแหล่งน้ำที่กำหนดตามข้อ 8 ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 10 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ ตามข้อ 3 ถึงข้อ 7 ให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบอุณหภูมิ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(2) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่าง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter) ตามวิธีการหาค่าแบบอิเล็กโตรเมตริก (Electrometric)

(3) การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลาย ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)

(4) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน

(5) การตรวจสอบค่าแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และค่าแบคทีเรีย กลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มให้ใช้วิธีมัลติเพิล ทิวบ์ เฟอว์เมนต์ชัน เทคนิค (Multiple Tube Fermentation Technique)

(6) การตรวจสอบค่าไนเตรทในหน่วยไนโตรเจน ให้ใช้วิธีแคดเมียม รีดักชัน (Cadmium Reduction)

(7) การตรวจสอบค่าแอมโมเนียในหน่วยไนโตรเจน ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชัน เนสเลอร์ไรเซชัน (Distillation Nesslerization)

(8) การตรวจสอบค่าฟีนอล ให้ใช้วิธีดิสทิลเลชัน 4 - อะมิโน แอนติไพรีน (Distillation, 4-Amino antipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าทองแดง นิกเกิล แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ และตะกั่ว ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน - ไดเรกต์ แอสไพเรชัน (Atomic Absorption - Direct Aspiration)

(10) การตรวจสอบค่าปรอททั้งหมด ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน คอลด์ เวปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(11) การตรวจสอบค่าสารหนู ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์ปชัน แก๊สไฮไดรด์ (Atomic Absorption Gaseous Hydride)

(12) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีไพรีดีน บาร์บิทูริก แอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(13) การตรวจสอบค่ากัมมันตภาพรังสี ให้ใช้วิธีโลว์ แบ็กกราวด์ พร็อพพอร์ชันนอล เคาน์เตอร์ (Low Background Proportional Counter)

(14) การตรวจสอบค่าสารศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด ดีดีที บีเอชซี ชนิดแอลฟา ดีลดริน อัลดริน แสปาทาคลอร์ฮิพอกไซด์ และเอนดริน ให้ใช้วิธีก๊าซ-โครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

ข้อ 11 การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 (20th Percentile Value) ส่วนการตรวจสอบค่าบีโอดี แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและแบคทีเรียกลุ่มคอลลีโคลิฟอร์ม ให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 โดยจำนวนและระยะเวลาสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าว ให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

ข้อ 12 การเก็บตัวอย่างน้ำตามข้อ 9 และการตรวจสอบคุณภาพน้ำตามข้อ 10 จะต้องเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association และ American Water Works Association กับ Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาคุณภาพของเครื่องมือการวิจัย

วิธีการหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

สุภาพ วาดเขียน (2525 : 39) ได้กล่าวถึงการหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัยว่า นักวิจัยที่สร้างเครื่องมือขึ้นมาใหม่ และยังไม่เคยนำออกไปใช้เลย จำเป็นมากที่จะต้องตรวจสอบ หรือทดสอบคุณภาพของเครื่องมือที่จะใช้วัดหรือเก็บข้อมูล ต้องแสดงให้เห็นประจักษ์ชัดว่า เครื่องมือที่จะใช้วัดนั้นเป็นเครื่องมือที่อยู่ในสภาพดี มีความคมชัด มีความเที่ยงตรง และมีประสิทธิภาพในการวัด จึงจะทำให้ผู้อ่านรายงานการวิจัย หรือผู้ที่นำผลการวิจัยไปใช้ เกิดความศรัทธา และให้การยอมรับผลการวิจัยนั้น ๆ ได้อย่างสนิทใจ

วิธีการหาคุณภาพของเครื่องมือวิจัยนั้นมีอยู่หลายวิธี แต่ในการวิจัยครั้งนี้ จะนำมากล่าวไว้เพียง 2 วิธี คือ

1. ใช้ผู้ทรงคุณวุฒิ หรือผู้มีประสบการณ์สูงในเรื่องนั้น ๆ เป็นผู้พิจารณาตัดสิน หรือให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับเครื่องมือที่นำมาใช้

2. ใช้วิธีทางสถิติวิเคราะห์ผลที่ได้จากการนำเครื่องมือไปทดลองใช้

1. ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้มีประสบการณ์ หรือผู้เชี่ยวชาญ (Experts) นั้น หมายถึง ผู้มีทักษะ หรือผู้ที่เคยลงมือปฏิบัติงานใด ๆ จนได้ผลดีที่เป็นประจักษ์ชัดหรือผู้ที่มีทัศนเชิงวิทยาศาสตร์ ในวิชาชีพที่มีพยานประจักษ์ชัดว่าได้ปฏิบัติการในวิชาชีพจนได้รับผลสำเร็จดี หรือเป็นผู้ได้รับการฝึกฝนมีความรู้ ความชำนาญเป็นเลิศในสาขาวิชานั้น ๆ หรือเป็นผู้มีความรู้เป็นพิเศษในสาขาที่สนใจ และดิลก ดิลกานนท์ (2537 : 108) กล่าวว่า ในทางปฏิบัติก็พิจารณาอย่างเป็นอิสระแก่กัน โดยพิจารณาเป็นรายข้อว่า แต่ละข้อคำถามนั้นวัดตรงกับเนื้อหาวิชาที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยให้คะแนนดังนี้

+ 1 ในกรณีที่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดตรงกับเนื้อหาที่กำหนด

0 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดตรงกับเนื้อหาที่กำหนดหรือไม่

- 1 เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามนั้นวัดไม่ตรงกับเนื้อหาที่กำหนด

แล้วนำคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Congruency) หรือค่า IOC ของข้อคำถามแต่ละข้อ ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC แทน ค่าดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความเห็น

โดยวิธีนี้จะเลือกข้อคำถามที่มีดัชนีความสอดคล้องของความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีค่าตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป ส่วนข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ต้องนำมาปรับปรุงแก้ไขให้ตามตรงเนื้อหายิ่งขึ้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้กำหนดเกณฑ์ของดัชนีความสอดคล้องของความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับแบบสอบถามต้องมีค่าตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป ทุกแบบสัถาต่ำกว่า 0.6 ต้องนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้สุภาพ วาดเขียน ยังได้กล่าวถึง การใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์ผลที่ได้จากการนำเครื่องมือไปทดลองใช้ดังนี้

2. การใช้วิธีการทางสถิติ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการนำเครื่องมือไปทดลองใช้

ในการพิจารณาหาคุณภาพของเครื่องมือโดยใช้สถิติวิเคราะห์นั้น มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยทั่วไปมักใช้อยู่ 2 - 3 วิธี คือ

พิจารณาจาก

ก. ความตรงของเครื่องมือ

ข. ความเที่ยงของเครื่องมือ

ค. อำนาจจำแนกของเครื่องมือ

การหาคุณภาพของเครื่องมือดังกล่าวนี้ จะใช้แตกต่างกันตามลักษณะของเครื่องมือ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการและเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยวัดในรูปของออกซิเจนที่ละลายในน้ำและความสกปรกของน้ำ ในรูปบีโอดี สามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธีต่าง ๆ กันทั้งวิธีการและเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

แววตา ทองระอา. (2530 : 7) ได้ทำการสำรวจคุณภาพของน้ำทะเลบริเวณแหลมฉบัง ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2529 ถึงเดือนมกราคม 2530 โดยในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ใช้วิธี Modified Winkler Procedure (Strickland and Persons, 1972) ผลการวิเคราะห์พบว่า DO มีค่าเท่ากับ 6.14 ± 0.91 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2530 : 4 - 5) ได้สำรวจคุณภาพน้ำ แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีน และแม่น้ำนครนายก โดยในการวิเคราะห์ค่า DO ใช้วิธี Azide Modification ค่า BOD (Biochemical Oxygen Demand : BOD) ใช้วิธี BOD Method ผลการวิเคราะห์พบว่า ออกซิเจนที่ละลายในน้ำในแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.9 - 8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD ที่ตรวจพบในแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำปราจีนบุรี และแม่น้ำนครนายก มีค่าอยู่ระหว่าง 0-7.9 มิลลิกรัมต่อลิตร

สุวดี จันทน์นิกร (2530 : 31 - 53) ได้ทดลองหาค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม 4 ประเภท ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตไส้กรอก ผลิตน้ำอัดลม ทอย้อมผ้า และผลิตกระดาษด้วยวิธี The Azide Modification of the Winkler's Method ผลการทดลองพบว่า BOD_5 มีความสัมพันธ์กับ $BOD_{(n<5)}$, $BOD_{(2\leq n<5)}$ และ $BOD_{(3\leq n\leq 5)}$ ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตไส้กรอก ผลิตน้ำอัดลมและผลิตกระดาษ และทอย้อมผ้าตามลำดับในระดับความสัมพันธ์กันทางบวกมีค่ามาก ด้วยขอบเขตความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

นุกุล อินทระสังขา. (2535 : 15) ได้ศึกษาผลกระทบของการขยายชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่อสภาพแวดล้อมทางน้ำในจังหวัดสงขลา โดยในการวิเคราะห์ค่า DO และ BOD ใช้วิธี Azide Modification Method ผลการวิเคราะห์พบว่า DO มีค่าต่ำกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร บางเดือนต่ำจนถึง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD อยู่ในช่วง 0.1 - 19.15 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ $26 - 34^{\circ}\text{C}$ pH 7.1 - 8.1

เรืองเดช วงศ์เสนา. (2535 : 85 - 92) ได้วิเคราะห์น้ำสำหรับบารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพน้ำของลำน้ำมูล โดยค่า DO ใช้วิธี Azide Modification BOD ใช้วิธี Azide Modification ที่ 20°C เป็นเวลา 5 วัน จากการวิเคราะห์ค่า DO ของลำน้ำมูลทั้ง 5 จุด เก็บ 10 เดือน พบว่า ฤดูน้ำหลาก ค่า DO ในเดือนตุลาคม 2534 ต่ำมีค่าประมาณ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร และเดือนพฤศจิกายน 2534 ประมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณที่เกือบเท่ากันตลอดลำน้ำ ในเดือนตุลาคมที่วัดค่า DO ได้น้อย เนื่องจากวัดที่ความลึกมากกว่า จึงทำให้ค่า DO ต่ำกว่าเดือนพฤศจิกายน

ฤดูหนาว จุดที่ 1 มี DO ต่ำ เนื่องจากเป็นปากน้ำชี มีค่า DO ต่ำ วัดได้ 3 - 8 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ BOD มีค่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลออกมาในทิศทางตรงกันข้าม แสดงว่าสารอินทรีย์มีไม่มาก แต่ DO ต่ำ ส่วนจุดอื่น ๆ มีค่า DO สูงมาก ฤดูร้อน ปกติน้ำจะไม่มีปัญหาค่า DO คือ มีค่าสูงกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในระยะที่น้ำเน่าของจังหวัดขอนแก่นไหลผ่านมา DO จะลดลงถึง 0.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะทาง 3 - 6 กิโลเมตร (บริเวณศูนย์กลางและใกล้ศูนย์กลาง) ส่วนบริเวณหัวและท้ายค่า DO จะสูงขึ้น ฤดูฝนค่า DO อยู่ระดับ 4 - 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เดือนมิถุนายน 2535 จุดที่ 5 มีค่า DO ต่ำลงจนถึง 3 - 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นน้ำที่ไหลจากลำโดม

จารุวรรณ สมศิริ. (2536 : 6) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำและสารพิษตกค้างในหนองหารก่อนการพัฒนาปี 2535 ซึ่งในการศึกษาค่า DO วิเคราะห์โดยวิธี Alkali - Iodide - Azide Modification ผลการศึกษาพบว่า ค่า DO อยู่ในช่วง 6.0 - 8.6 มิลลิกรัมต่อลิตร.

อุษา วิเศษสมุน. (2536 : 15 - 21) ได้ศึกษาคุณภาพและปริมาณน้ำทิ้งภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยในการวิเคราะห์ DO ใช้วิธีแบบโพลบ อ่านค่าเป็นตัวเลข และ BOD ใช้วิธี เอสซี โมดิฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 20° ซ. เป็นเวลา 5 วัน ผลการวิจัย พบว่า ลักษณะน้ำเสียของทั้ง 16 จุด บ่งชี้ว่า เป็นลักษณะของน้ำเสียชุมชนโดยทั่วไป คือ มีค่า BOD อยู่ในช่วง 20 - 118 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นน้ำเสียจากโรงอาหารมีค่า BOD เฉลี่ย 769 มิลลิกรัมต่อลิตร

แฟรคาซ มาเหล็ม. (2536 : 51) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำ คุณภาพดิน แพลงตอนและปริมาณน้ำทิ้งในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ค่า DO และ BOD ใช้ Azide Modification Winkler Method ผลการวิจัยพบว่า ในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำมีค่าความผันแปรของค่า DO สูงสุดจากบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำทั้ง 20 บ่อ มีค่าระหว่าง 6.8 - 12.8 มิลลิกรัมต่อลิตร. เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มการเลี้ยงที่มีอัตราความหนาแน่นแตกต่างกัน พบว่า ค่า DO เฉลี่ยของกลุ่มการเลี้ยงทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ทองสิ่งแวดล้อมประมง. (2537 : 3) ได้สำรวจสภาพสิ่งแวดล้อมและการประมงในแม่น้ำหนุมาน โดยในการวิเคราะห์ค่า DO ใช้วิธี Azide Modification ผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า DO เท่ากับ 5.4 - 7 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 26.5 - 34 °C และ pH 6.7 - 7.9

ธนินฐา ธีรภักษ์พันธ์. (2537 : 26) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลก่อนและหลังการบำบัดด้วยหอยแมลงภู โดยในการหาค่า DO ใช้วิธี Azide Modification ผลการวิจัยพบว่า ช่วงที่ 1 ค่า DO ก่อนบำบัดมีค่าเฉลี่ย 4.838 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า DO หลังบำบัดมีค่าเฉลี่ย 2.960 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงที่ 2 ค่า DO ก่อนบำบัดมีค่าเฉลี่ย 5.454 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า DO หลังบำบัดมีค่าเฉลี่ย 2.254 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงที่ 3 ค่า DO ก่อนบำบัดมีค่าเฉลี่ย 5.314 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า DO หลังบำบัดมีค่าเฉลี่ย 1.943 มิลลิกรัมต่อลิตร จากทั้ง 3 ช่วง การเปลี่ยนแปลง

ออกซิเจนของหอยแมลงภู่มิมีความสัมพันธ์กับอัตราความหนาแน่นของหอยที่ใช้ในการบำบัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.050$

มนทลี กษาชีวะ. (2538 : 51 - 54) ได้ศึกษาการหาค่า BOD โดยใช้ถังโฝมบรรจุน้ำแทนตู้ BOD ซึ่งในการหาค่า BOD ในครั้งนี้ใช้วิธี Dilution Method Percent Mixtures หาค่า DO โดยวิธี The Azide Modification of the Winkler Method ผลการวิจัยพบว่า การใช้ถังโฝมบรรจุน้ำอุณหภูมิห้องแทนตู้ BOD อุณหภูมิของน้ำภายในถังโฝมอยู่ในช่วง $29 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเชื้อในถังโฝมบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องคือ 3 วัน ความแตกต่างระหว่าง BOD_5 ในถังโฝมบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องกับ $\text{BOD}_{20^{\circ}\text{C}}$ ของน้ำเสีย ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% หรืออาจกล่าวได้ว่า สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ค่า BOD ซึ่งเพาะเชื้อในถังโฝมบรรจุน้ำ ที่อุณหภูมิห้องไม่แตกต่างกับค่า $\text{BOD}_{20^{\circ}\text{C}}$

สนอง ทองปาน. (2540 : 148) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง บำบัดตัวเอง : กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา ในการวิเคราะห์ค่า DO และ BOD วิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide Modification) ผลการวิเคราะห์พบว่า คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่า DO และ BOD เฉลี่ย 7.19 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 11.21 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

นุกุล อินทรสังขา. (2534 : 11) ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริเวณชายหาด สมิหลา จังหวัดสงขลา ซึ่ง DO วิเคราะห์โดยใช้วิธี Modified Winkler ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ค่า DO มีค่าเท่ากับ 5.4 - 8.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

แหวดดา ทองระอา. (2533 : 2 - 4) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในเขตว่ายน้ำในชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ในการตรวจสอบค่า DO วิเคราะห์โดยใช้ Modified Winkler ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่า DO ของน้ำทะเลชายหาดบางแสน มีค่าอยู่ระหว่าง 5.13 - 8.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และแต่ละสถานีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่า DO ทุกครั้งที่ตรวจพบจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

สายสุนีย์ เหลียวเรืองรัตน์ (2533 : 12 - 16) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำด้วยยางพาราไมเตอร์จากน้ำที่เก็บจากจุดต่าง ๆ 8 จุดจากแม่น้ำกวัง จังหวัดลำพูน ได้วิเคราะห์หาค่า DO และ BOD ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้วิธีของ Winkler ซึ่งเป็นวิธี iodimetry พบว่า DO อยู่ในช่วง 5.20 - 9.20 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD อยู่ในช่วง 0.40 - 1.52 มิลลิกรัมต่อลิตร DO จากการวัดโดยใช้มิเตอร์ ณ จุดเก็บอยู่ในช่วง 5.0 - 11.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่ามาตรฐาน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปกติแล้วค่า DO ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ 0°C จะมีค่า DO 14.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่า DO จะลดลง ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 28°C น้ำตัวอย่าง MK 7 มีค่า DO สูงถึง 11 และ 9.20 มิลลิกรัม

ต่อลิตร เมื่อใช้มิเตอร์วัด และใช้วิธีของ Wrinkler ตามลำดับ จะเห็นว่า การวัด DO ณ จุดเก็บ MK 7 มีความผิดพลาดทั้ง 2 วิธี สำหรับวิธี Wrinkler อาจเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากมีออกซิเจนจากอากาศเข้าไปในขวด DO ขณะทำการทดลอง ค่า DO ที่วัดโดยมิเตอร์มีค่าใกล้เคียงกับค่า DO ที่วัดโดยวิธีของ Wrinkler ค่า pH ของตัวอย่างในน้ำอยู่ในช่วง 6.6 – 7.5 (ค่ามาตรฐาน 5 – 9) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจจะเกิดจากการปล่อยสารอาหารลงในแม่น้ำมากและจากการเก็บน้ำตัวอย่าง สังเกตได้ว่าน้ำในลำโคมใหญ่มีกลิ่นสาบเขียวเป็นจำนวนมาก ส่วนการวิเคราะห์ค่า BOD ของน้ำจำนวน 10 เดือนที่ 5 จุดเก็บ พบว่า ช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม 2534 - มกราคม 2535) ค่าสูงสุดของ BOD คือ 2.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำสุดคือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยคือ 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงฤดูร้อน (มีนาคม - พฤษภาคม 2535) ค่าสูงสุดของ BOD คือ 4.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำสุดคือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยคือ 1.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วงต้นฤดูฝนและฤดูฝน (มิถุนายน - สิงหาคม 2535) ค่าสูงสุดของ BOD คือ 1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าต่ำสุดคือ 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยคือ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร

ส่วนสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. (2527 : 5) ได้สำรวจสภาพสิ่งแวดล้อมและการประมงในแม่น้ำตาปี ซึ่งในการวิเคราะห์ค่า DO ใช้ Portable Water Engineer's Laboratories (Hack DR - EL) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า DO เฉลี่ย 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 31.2°C และ pH 6.5

และสุรินทร์ เศรษฐมานิตและคนอื่น ๆ (2527 : 62) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ในการวิเคราะห์ BOD₅ ตาม Standard methods DO วิเคราะห์โดยเครื่องวัด DELTA SCIENTIFIC, ENVIRONTECH, รุ่น 1010 ผลการวิเคราะห์พบว่า BOD ก่อนบำบัดมีค่าระหว่าง 600 - 650 มิลลิกรัมต่อลิตร BOD เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าระหว่าง 20 - 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. (2528 : 9) ได้สำรวจสภาพนิเวศวิทยาและการประมงในบริเวณพื้นที่โครงการเขื่อนน้ำโจน ในการศึกษาค่า DO ใช้วิธี Titration ผลการศึกษาพบว่า DO เท่ากับ 8.4 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 27°C pH 7

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2530 : 10) ได้สำรวจสภาพนิเวศวิทยาของแม่น้ำบางปะกง ซึ่งในการวิเคราะห์ DO และ BOD ใช้ S-C-T Meter YSI Model 33 ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า DO มีค่าเฉลี่ยเป็น 4.9 – 5.9, 4.4 – 7.2 และ 4.2 – 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD มีค่าเฉลี่ยเป็น 1.2 – 2.6, 1.2 – 2.0 และ 1.4 – 2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของน้ำมีค่าเฉลี่ยเป็น 7.1 – 7.6, 6.7 – 7.2 และ 6.6 – 7.3 ในช่วงน้ำน้อย ช่วงน้ำมาก และช่วงน้ำปานกลางตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิของน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 24.0 - 32.5°C

ศรันย์ เพ็ชรพิรุณ. (2530 : 5) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวระยองปี 2529 - 2530 ในการวัดค่า DO ใช้อ่านด้วยเครื่อง Water Quality Checker ยี่ห้อ HORIBA U-7 ผลการศึกษาพบว่า ค่า DO มีค่าอยู่ในช่วง 5.5 - 5.8 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์ในแต่ละสถานีมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนในแต่ละเดือนนั้น พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

นกร บุญประคอง. (2532 : 159) ได้ศึกษาบทบาทของสาหร่ายที่มีต่อคุณภาพของลุ่มน้ำที่สำคัญบริเวณภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย ในการวิเคราะห์ค่า DO วัดโดยใช้ Oxygen Meter YSI model 54 ARC ณ ระดับความลึกเดียวกัน โดยในการวัดคุณภาพน้ำแบ่งลุ่มน้ำออกเป็น 5 ชั้น ผลการวิเคราะห์ค่า DO ในลุ่มน้ำชั้นที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เป็น 7.53 - 8.13, 6.48 - 7.92, 6.47 - 8.15, 1.93 - 5.47 และ 5.43 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

แววตา ทองระอา. (2532 : 2 - 4) ได้ศึกษาและวิเคราะห์อุณหภูมิและค่า DO วัดโดยใช้เครื่องมือวัดออกซิเจนของ YSI MODEL 57 ซึ่งผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำทะเลบริเวณมาบตาพุดและแหลมฉบัง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 26.8 ± 2.0 และ $26.6 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ส่วนค่า DO บริเวณมาบตาพุด และแหลมฉบัง พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดปีเท่ากับ 7.56 ± 0.77 และ 7.22 ± 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ศุภมิตร จันทร์คำอ้าย. (2533 : 95) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำ โดยไบโอแอดัม ในการวิเคราะห์ค่า DO ทำโดยใช้เครื่องวัด DO ของ Yellow Springs Instrument Co., Inc. Model 51 B ผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า DO ในน้ำในระบบไบโอแอดัมมีค่าสูงมาก (อยู่ในช่วง 6.1 - 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร)

รัชณี เขียวเงิน (2535 : 95) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำ โดยในการวิเคราะห์ปริมาณ DO ใช้เครื่อง Oxygen Meter แบบ YSI 57 และปริมาณ BOD ใช้ Azide Modification ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยตลอดปีที่ทำการศึกษาเป็นดังนี้ DO มีค่า 5.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD มีค่า 7.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการและเครื่องมือในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ค่า DO และ BOD ของน้ำ ซึ่งวัดในรูปของค่า DO นั้นกระทำได้ด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไทเทรชัน ประกอบด้วยวิธี The Winkler Method, The Azide Modification of the winkler Method และวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ดังนี้ S-C-T Meter YSI Model 33, Titration, Portable water Engineer's laboratories (Hack DR - EL), เครื่องวัด DELTA Scientific Environtech รุ่น 1010, Oxygen meter YSI Model 54 ARC, Oxygen Meter YSI Model 57 และ Yellow Springs Instrument CO, Inc model 51B

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสื่อการสอนวิทยาศาสตร์

ได้มีผู้สร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อทดแทนสื่อการสอนที่มีราคาสูงที่สำคัญดังต่อไปนี้

สมชาย เสรีกิจ (2536 : 532) ได้พัฒนาเทคนิคทาง Histochemistry V.S Microtechnique เพื่อช่วยแก้ปัญหาการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้สื่อประสมในโรงเรียนระดับประถมศึกษา ผลการศึกษาพบว่า นักเรียน 2 กลุ่ม ที่มีความสามารถในการเรียนรู้และรับรู้ไม่แตกต่างกัน มีผลสัมฤทธิ์ในการเรียนรู้ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นักเรียนมีระเบียบวินัยมากขึ้น และสามารถประหยัดเวลาในการสอนได้ 5 - 7 เท่า

กัญญา สุกลพัฒนะ และพันธุ์ทิพย์ สุกลพัฒนะ (2536 : 752) ได้สร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ เรื่อง อินดิเคเตอร์จากใบหูกวางสีแดง โดยใช้สอนนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง เรื่องสารละลายกรด - เบส ซึ่งสารละลายของใบหูกวางสีแดง สกัดด้วยเอทานอลเข้มข้น 70% มีสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์คือ $\text{pH} < 2$ เป็นสีแดงสด $\text{pH} > 2(2.9 - 3.8)$ เป็นสีแสด, $\text{pH} = 7$ มีสีผสม แดง - เหลือง - น้ำตาล $\text{pH} > 7$ มีสีน้ำตาลแกมเขียว อินดิเคเตอร์จากใบหูกวางสีแดง ใช้น้ำ pH ได้อย่างหายา เพราะช่วงการเปลี่ยนสีกว้างกว่าอินดิเคเตอร์มาตรฐาน ซึ่งเปลี่ยนสีอย่างฉับไวในช่วงที่แคบมาก และจากผลการวิเคราะห์พบว่า รังควัตถุที่สกัดจากใบหูกวางสีแดงมีสมบัติของอินดิเคเตอร์ที่ดีเพราะมีการเปลี่ยนสีที่ pH ต่าง ๆ สามารถนำไปทดสอบสารละลายกรด-เบส และสามารถนำไปทดสอบสารปลอมปนบางชนิดในน้ำส้มสายชูและผงชูรสได้ และประสิทธิภาพของสื่อสูงตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ เท่ากับ 86.9/91.5 คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 18.3 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) = 0.56

สนอง ทองปาน (2537 : 76) ได้ศึกษาผลการใช้เครื่องอัดขยายภาพขาวดำ ที่พัฒนาขึ้นในการสอนอัดขยายภาพ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี จำนวน 48 คน แยกเป็นกลุ่มควบคุม 24 คน และกลุ่มทดลอง 24 คน ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความสามารถในการอัดขยายภาพขาว - ดำ ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้น กับที่ได้รับการสอนโดยใช้เครื่องอัดขยายภาพมาตรฐาน ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าสามารถนำเครื่องอัดขยายภาพที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีราคาถูกใช้สอนทดแทนเครื่องอัดขยายภาพมาตรฐานที่มีราคาแพงกว่ามากได้

มนทลี คชาชีวะ (2538 : 51 - 54) ได้ศึกษาการหาค่า BOD โดยใช้ทั้งโฟมบรรจุน้ำ แทนตัว BOD ซึ่งในการหาค่า BOD ในครั้งนี้ใช้วิธี Dilution Method Percent Mixtures หาค่า DO โดยวิธี The Azide Modification of the Winkler Method ผลการวิจัยพบว่า การใช้ถังโฟมบรรจุน้ำ ณ อุณหภูมิห้องแทนตัว BOD อุณหภูมิของน้ำภายในถังโฟมอยู่ในช่วง $29 \pm 1^\circ \text{C}$ ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเชื้อในถังโฟมบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องคือ 3 วัน ความแตกต่างระหว่าง BOD_3 ในถังโฟมบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องกับ $\text{BOD}_{20^\circ \text{C}}$ ของน้ำเสีย ไม่นับสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% หรืออาจกล่าวได้ว่า สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ค่า BOD ซึ่งเพาะเชื้อในถังโฟมบรรจุน้ำ ที่อุณหภูมิห้องไม่แตกต่างกับค่า $\text{BOD}_{20^\circ \text{C}}$

อุมาพร ดันทุเลวสส (2539 : 502) ได้สร้างชุดวิเคราะห์และสำรวจความคิดเห็น หลังการใช้ชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนาม การจัดสร้างกระทำได้โดยการนำเอา สารละลายมาตรฐานมาบรรจุลงในหลอดหยดมาตรฐาน ที่ผ่านการตรวจสอบความเชื่อมั่น เปรียบเทียบกับวิธีสเปคโตรโฟโตเมตริก ผลการศึกษาพบว่า การหาค่าความกระด้างของน้ำดื่มแบบ ภาคสนามให้ผลไม่แตกต่างกับวิธีสเปคโตรโฟโตเมตริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับสูง ($t = 1.485 < \infty 0.01, df = 4, t = 3.747$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำ แบบภาคสนามที่จัดสร้างนี้ มีประสิทธิภาพในการใช้งานได้ใกล้เคียงกับวิธีการดูกลั่นแสง ซึ่งเป็น วิธีที่ยุ่งยากและซับซ้อนกว่า และผลจากการสำรวจความคิดเห็นภายหลังการใช้ โดยใช้แบบสอบถาม พบว่า ร้อยละ 93.02 ให้ความเห็นว่ ชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนามที่สร้างขึ้นมานี้ มีความสะดวกต่อการใช้งานและการเคลื่อนย้าย ร้อยละ 88 - 37 มีความเห็นว่ เกณฑ์ที่จัดสร้างขึ้น ละเอียดเพียงพอที่จะนำไปใช้ตรวจวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำดื่มได้ และนักเรียนอีกร้อยละ 72 เชื่อว่ สามารถใช้ชุดวิเคราะห์นี้ด้วยตนเอง

พิณทิพ รื่นวาษา และคนอื่นๆ (2540 : 648 บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพ ของชุดตรวจสอบไอโอเดที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นเองในประเทศกับที่ซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งคณะผู้วิจัย ได้ผลิตชุดตรวจสอบไอโอเดีนแบบขวดเดี่ยว เมื่อหยดน้ำยาบนเกลียวที่มีไอโอเดที่จะเกิดเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไอโอเดที่เพิ่มขึ้นจาก 0 - 100 ppm (ส่วนในล้านส่วน) และสีที่เกิดขึ้น จะมีความคงตัวไม่ต่ำกว่าชั่วโมง ไม่จางหายไป ทำให้ใช้วัดปริมาณไอโอเดท โดยเทียบกับสีจากแผ่นสีมาตรฐานที่มากับชุดทดสอบได้อย่างแม่นยำ

กัญญ์ พานิชพันธ์ และคณะ. (2540 : 650" บทคัดย่อ) ได้ประยุกต์ใช้ชุดทดสอบ ไอโอเดีนในโรงงานเกลือ โดยได้พัฒนาชุดทดสอบไอโอเดทในเกลือเสริมไอโอเดีนขึ้นมา โดยชุด ทดสอบนี้มีชื่อว่า I - KIT เป็นชุดทดสอบภาคสนามที่เป็นน้ำยาขวดเดี่ยว ซึ่งเมื่อผสมกับเกลือที่มี ไอโอเดท จะให้เป็นสีน้ำเงินที่มีความเข้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของไอโอเดีนที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0 - 100

มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถใช้ได้ดีกว่าชุดทดสอบที่ซื้อจากต่างประเทศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน สามารถบอกได้อย่างถูกต้องว่ามีไอโอดีนตามมาตรฐานหรือไม่ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ที่มีความพอใจในคุณภาพของชุดทดสอบมาก เพราะสามารถบอกได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

นราพร หาญจนวงศ์ และคนอื่น ๆ (2540 : 1052. บทคัดย่อ) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยวิธีฟลักซ์แบบปิด แล้วไทเทรตและวิธีเทียบสีโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี โดยการวัดสีค่าการดูดกลืนแสง ในแง่ความถูกต้อง ความแม่นยำ ค่าใช้จ่าย และเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า วิธีฟลักซ์แบบปิดโดยการไทเทรต และวิธีฟลักซ์แบบปิดโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี เมื่อใช้หลอดขนาด 20 x 150 มิลลิเมตร จะเหมาะสมสำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีไอดีอยู่ในช่วง 100 - 500 และ 350 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนมาอยู่ในช่วง 97.50 - 102.10 และ 92.40 - 105.00 ตามลำดับ นอกจากนี้ในด้านความสะดวกรวดเร็ว และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์พบว่า วิธีฟลักซ์แบบปิด โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี มีความสะดวกรวดเร็วมากกว่า และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ต่ำกว่า วิธีฟลักซ์แบบปิดโดยการไทเทรต

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสื่อการสอนวิทยาศาสตร์ เป็นการสร้างสื่อที่สามารถใช้ทดแทนสื่อที่มีราคาสูงได้ ซึ่งพอจะสรุปได้ว่า มีผู้สนใจสร้างสื่อที่ทดแทนสื่อที่มีราคาสูง เช่น การพัฒนาเทคนิคทาง Histochemistry V.S Microtechnique เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายสูงของจุลทรรศน์ โดยการใช้สื่อประสม, การสร้างอินดิเคเตอร์จากไบโกลูโคสสีแดง การพัฒนาเครื่องอัดขยายภาพขาวดำ การหาค่า BOD โดยใช้ถังโฟมบรรจุน้ำแทนตู้บ่มเชื้อ (Incubate) การสร้างชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนาม การศึกษาชุดตรวจสอบไอโอดีนและวิธีวิเคราะห์ค่าซีไอดี และมีแนวโน้มว่าจะมีผู้สนใจมากขึ้นอย่างจริงจังในปี 2540 นี้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากงบประมาณ ความสะดวกรวดเร็ว

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research)

สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการสร้างแถบสีมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ DO ของน้ำที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. กระบอกตวง (Measuring Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 100, 250 และ 1,000 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 20, 50, 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
5. บิวเรต (Buret) ขนาด 50 มิลลิลิตร
6. ปิเปต ชนิด Measuring Pipet ขนาด 1, 5, 10 และ 25 มิลลิลิตร
7. กรวยแก้ว
8. แท่งแก้วคน (Sterring Rod)
9. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) แบบปรอท
10. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ของ Orion Research Model 610, U.S.A.
11. Magnetic Stirrer
12. เครื่องวัด DO (Ion Analyzer Meter ของ Orion Research Model 940, USA.)
13. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
14. เครื่องเป่าอากาศขนาดเล็กแบบใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลา

15. ขวดบิโอดี (Incubation Bottles) ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกแก้วที่เป็น ground joint ปิดสนิท
16. ขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร สำหรับเก็บน้ำ ตัวอย่างน้ำพร้อมฝาเกลียวพลาสติก
17. เตาไฟฟ้า (Hot Plate หรือ Heating Mantle) ของ IKA Labortechnik รุ่น IKAMAG RCT
18. ตู้อบชนิดให้อากาศ (Hot Air Oven ของ Memert) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103°C และ 120°C
19. กล้องสำหรับถ่ายรูปของ Nikon รุ่น FE2
20. ฟิล์มสีโกดัก GOLD 200

สารเคมี

1. แมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. โซเดียมไอโอไดด์ (NaI)
4. โซเดียมไนไตรด์ (NaN_3)
5. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
6. คลอโรฟอร์ม (CHCl_3)
7. โซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)
8. โพแทสเซียมไดโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
9. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
10. น้ำแป้ง (Starch Solution)
11. กรดซาลิซิลิก (Salicylic acid)
12. น้ำกลั่น

วิธีเตรียมสารเคมี

วิธีเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธี Azide Modification ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมดังต่อไปนี้

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไฮโอไดด์-เฮไลด์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม และโซเดียมไฮโอไดด์ (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮโอไดด์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร และละลายโซเดียมเฮไลด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (36 นอร์มัล)

4. น้ำแข็ง

ละลายเบงมันสำปะหลัง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2 - 3 นาที ตั้งค้างคืน เติมกรดซาลิซิลิก (Salicylic Acid) 1.25 กรัมต่อน้ำเบงมันที่ใส 1 ลิตร

5. สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมน้ำได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล

เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) ด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต

7. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล

ละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร

8. การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KI) ประมาณ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวย เติมกรดซัลฟูริก (1+9) 10 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล จำนวน 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ (จากสีน้ำเงินจนไม่มีสี) ซึ่งปกติจะปรับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.0250 นอร์มัล พอดีเพื่อสะดวกในการคำนวณ ถ้าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 0.0250 นอร์มัล พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20.0 มล. พอดี

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัลลิตี, N)} = 0.0250 \times 20 / A$$

ในเมื่อ A = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต, มล.

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ
2. ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลการใช้เครื่องมือ

ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามที่สร้างขึ้นในการวัดค่า DO ของน้ำ มีขั้นตอนการสร้างดังนี้
 - 1.1 ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับค่า DO
 - 1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า DO ของน้ำ
 - 1.3 ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางค่านเคมี คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ดันทุลเวสสภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
 - 1.4 ศึกษาอินดิเคเตอร์ (indicator) และ Oxidizing Agent ที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสี
 - 1.5 ศึกษาหลักการทำงานและวิธีการใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เป็น Ion Analyzer Meter ของ Orion Research Model 940, USA.
 - 1.6 นำรายละเอียดที่ได้จากการออกแบบการทดลองไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญตาม 1.3 เพื่อนำไปทำการทดลอง

1.7 เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เตรียมสารเคมีตามวิธีของ Azide Modification

1.8 ทำการทดลอง

ในการสร้างแถบสีมาตรฐาน น้ำตัวอย่างได้แก่ น้ำจากคลองแสนแสบด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมน้ำตัวอย่างและการสร้างแถบสีมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1.8.1 นำน้ำจากคลองแสนแสบมาใส่ขวดปิดฝาไว้ และเก็บไว้ในที่มืด ประมาณ 2 - 3 วัน เพื่อให้ได้น้ำเสียที่มีค่า DO_0

1.8.2 นำน้ำดังกล่าวมาวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่า DO_0 ที่แน่นอน

1.8.3 เมื่อได้น้ำที่มีค่า DO_0 แล้ว นำน้ำตัวอย่างนั้นมาเติมน้ำที่มีออกซิเจน (เช่น น้ำกลั่น) เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO_1 โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วยวิธีไทเทรชัน (ตามวิธี Azide Modification)

1.8.4 ทำเช่นเดียวกับข้อ 1.8.3 เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่าตั้งแต่ DO_0 , DO_1 , DO_2 , DO_3 , DO_4 , DO_5 , DO_6 และ DO_7

1.8.5 นำน้ำตัวอย่างที่มีค่า DO_7 มาเติมออกซิเจนโดยใช้เครื่องเป่าอากาศขนาดเล็กแบบใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลา เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่า DO_8 และ DO_9 ซึ่งทราบค่า DO_8 และ DO_9 โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐานและตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยวิธีไทเทรชัน

1.8.6 นำน้ำตัวอย่างที่มีค่า DO_{12} (น้ำที่มีสาหร่าย) มาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO_{10} , DO_{11} และ DO_{12} โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือด้วยวิธีไทเทรชัน เมื่อได้น้ำที่มีค่า DO ตามต้องการแล้ว นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี Azide Modification ตามขั้นตอนดังนี้

1.8.6.1 เติมน้ำละลาย $MnSO_4$ 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล - ไอโอไดด์ - เอไซด์ 2 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่างในขวด BOD

1.8.6.2 ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลาย)

1.8.6.3 เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟิวริก 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปยังคอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุก เขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งไว้ 5 นาที

1.8.7 นำสารละลายที่ได้มาทำการถ่ายภาพสีของสารละลายที่มีค่า DO_0 , DO_1 , DO_2 , DO_3 , DO_4 , DO_5 , DO_6 , DO_7 , DO_8 , DO_9 , DO_{10} , DO_{11} , และ DO_{12} , ซึ่งสารละลายแต่ละขวดผู้วิจัยได้ทำการศึกษาย่างหลากหลาย (Varies) ในด้านชนิดของฟิล์ม, ความเร็วชัตเตอร์, ความไวแสง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ เพื่อให้ได้ภาพสีของสารละลายใกล้เคียงกับสารละลายจริงมากที่สุด กล่าวคือ ภาพถ่ายสีของสารละลายที่ได้ทุกค่า DO (ตั้งแต่ DO_0 - DO_{12}) ใช้กล้อง Nikon รุ่น FE2 และทดลองเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขต่าง ๆ ของการถ่ายภาพ เช่น ชนิดฟิล์ม, ความเร็วชัตเตอร์, ความไวแสง และเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อหาเงื่อนไขที่ได้ภาพสีของสารละลายใกล้เคียงกับสีของสารละลายจริงมากที่สุด ซึ่งพบว่า เงื่อนไขดังกล่าว คือ ฟิล์มสี Kodak GOLD 200 ความเร็วชัตเตอร์ 125 ความไวแสง 5.6 และเวลาทำการถ่ายภาพ 13.00 - 15.00 น.

1.8.8 นำภาพถ่ายของสารละลายที่มีค่า DO_0 , DO_1 , DO_2 , DO_3 , DO_4 , DO_5 , DO_6 , DO_7 , DO_8 , DO_{10} , DO_{11} และ DO_{12} ที่ได้มาจัดทำเป็นแถบสีมาตรฐาน

1.8.8 นำแถบสีที่สร้างขึ้นแต่ละระดับของค่า DO (DO_0 - DO_{12}) นำมาเปรียบเทียบกับสีของน้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้นด้วยวิธีเดิม คือ (ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1.8.1 - 1.8.6)

1.8.9 ทำการปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจนได้รับการรับรองคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิชาการ และการถ่ายภาพจำนวน 4 ท่าน ดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เบาใจ, รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ ดันจุลเวสส และอาจารย์สุภาภรณ์ สิริโสภณา

1.8.10 เมื่อได้ผ่านการรับรองเรียบร้อยแล้ว นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปหาคุณภาพโดยให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่างจริง โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ฝ่ายมัธยม)

1.8.11 นำผลการวัดค่า DO ของน้ำที่ใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยนักเรียน มาจัดรวมกลุ่มแถบสีใหม่ (โดยไม่ทำให้ความหมายของแถบสีเปลี่ยนไป) และหาค่าดัชนีความสอดคล้องตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ดังนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เบาใจ, รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ ดันจุลเวสส อาจารย์สุภาภรณ์ สิริโสภณา และอาจารย์วราวุธ นัทรทอง ซึ่งจะได้เป็นแถบสีมาตรฐานที่จะนำไปใช้ทดลองขั้นต่อไป

1.8.12 นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (ตามข้อ 1.8.12) ไปทดสอบสมมติฐานข้อ 1, 2 และ 3

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นการทดลองใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทดลองเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน (ทดสอบสมมติฐานข้อ 1) และหาค่าความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำ ที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน (ทดสอบสมมติฐานข้อ 2) ในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างที่ผู้วิจัยเตรียมขึ้นเอง

2. ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง (ทดสอบสมมติฐานข้อ 3)

1. การทดสอบมาตรฐานข้อ 1 และ 2 ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้ทดลอง โดยกระทำการทดลองดังต่อไปนี้

1.1 สุ่มน้ำตัวอย่างจากคลองแสนแสบ ด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร แล้วนำมาปรับให้มีค่า DO ตามต้องการ จำนวน 10 ตัวอย่าง

1.2 แบ่งน้ำตัวอย่างแต่ละตัวอย่างออกเป็น 2 ขวด โดยใส่ขวด BOD จนน้ำล้น ฟนคอขวดออกมาสักพัก

1.3 นำน้ำตัวอย่างที่ 1 ขวดที่ 1 มาทำการวัดค่า DO ของน้ำด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน บันทึกผลการทดลอง

1.4 นำน้ำตัวอย่างที่ 1 ขวดที่ 2 มาทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี้

1.4.1 เติมสารละลาย MnSO_4 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไลด์ - ไฮโดรไซด์ - ไฮไดรด์ 2 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่างในขวด BOD

1.4.2 ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล ปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลายอยู่)

1.4.3 เปิดจุกออกแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อยๆ ไหลลงตามข้าง ๆ คอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน โดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

1.4.4 นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับสีของสารละลาย
ในข้อ 1.4.3 บันทึกค่า DO ที่ได้จากการทดลอง

1.4.5 ทำการทดลองซ้ำ 20 ครั้ง ค่อน้ำตัวอย่าง 1 ตัวอย่างและทำจนครบ
10 ตัวอย่าง (ตั้งแต่ข้อ 1.2 - 1.4.5) ซึ่งค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
เมื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน แล้วจะต้องมีความคลาดเคลื่อน
ไม่เกินร้อยละ .01 ($\alpha = .01$)

1.4.6 นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ

หมายเหตุ ควรทำการทดลองพร้อม ๆ กันทั้ง 2 ชุด ในแต่ละระดับค่า
DO เพื่อจะได้ค่า DO ของน้ำที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนหรือเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (เพื่อ
ป้องกันการระเหยของออกซิเจน)

2. การทดสอบสมมติฐานข้อ 3 โดยครูและนักเรียน เป็นผู้ทดลอง

การทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ประชากร

ประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร
อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540
และไม่เคยมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับการไทเทรตมาก่อน กลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ได้มาจากการสุ่มอย่าง
ง่าย (Simple Random Sampling) จำนวน 45 คน สุ่มมา 30 คน โดยใช้น้ำตัวอย่างทั้งหมด 12
ตัวอย่าง ทั้งนี้ให้นักเรียนทดลองเป็นรายบุคคล เพื่อนำผลมาเฉลยหาค่า DO ของน้ำตัวอย่าง

2.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ กระทำในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540 ใช้เวลา
ในการทดลองจำนวน 2 คาบ คาบละ 50 นาที โดยเป็นการทดลองใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

2.4 การนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ไปทดลองใช้กับนักเรียน มีขั้นตอน
ดังต่อไปนี้

2.4.1 แบ่งน้ำตัวอย่างทั้ง 12 ตัวอย่าง ออกเป็น 2 ชุด โดย

ชุดที่ 1 ครูเป็นคนทดลอง

ชุดที่ 2 นักเรียนเป็นคนทดลอง

2.4.2 ทั้งครูและนักเรียน ดำเนินการทดลองพร้อมกันรายละเอียดในใบ
งาน ซึ่งมีขั้นตอนโดยสรุป ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 นำน้ำที่จะวิเคราะห์เติมลงในใส่ขวด BOD ให้เต็ม โดยปล่อยน้ำให้ล้นพ้นคอขวดออกมาสักพัก

2.4.2.2 เติมสารละลาย $MnSO_4$ 2 มิลลิลิตร และสารละลาย อัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ 2 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่างในขวด BOD

2.4.2.3 ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรง โดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอน สีขาว แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลายอยู่)

2.4.2.4 เปิดจุกออกแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงตามข้าง ๆ คอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน โดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งไว้ 5 นาที

2.4.2.5 นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น มาเปรียบเทียบกับสีของ สารละลายในขวด BOD อ่านค่า DO ของน้ำจากแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น บันทึกผลการทดลอง

2.4.3 นำผลที่ได้จากการทดลองทั้งของครูและนักเรียนมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติ

ขั้นตอนการสอบถามความคิดเห็นของนักเรียน

การสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนหลังการให้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เป็นการ ศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาประสิทธิภาพของแถบสีในแง่ของความพึงพอใจ ความสะดวก รวดเร็ว และความง่ายในการใช้งาน รวมทั้งความมั่นใจในการแนะนำให้ผู้อื่นใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยให้นักเรียนตอบแบบสอบถามความคิดเห็นที่จัดทำขึ้น

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาค่าเฉลี่ย (mean) ของคะแนนโดยใช้สูตร (ถ้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. 2522 : 59)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{X}$	แทน	คะแนนเฉลี่ย
ΣX	แทน	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
N	แทน	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

2. ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่างโดยใช้สูตร (ดิลก คิลกานนท์. 2537 : 108 - 109)

$$IOC = \frac{\Sigma R}{N}$$

เมื่อ IOC	แทน	ดัชนีความสอดคล้องระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง
ΣR	แทน	ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด
N	แทน	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

3. หาค่ามัธยฐาน (Median) ของคะแนนโดยใช้สูตร (ล้วน สายยศ และ อังคณา สายยศ . 2522 : 63)

$$Mdn = L + \left\{ \frac{N/2 - Fc}{f_m} \right\} I$$

Mdn	แทน	มัธยฐาน
L	แทน	ขอบเขตคะแนนต่ำสุดในแถว Mdn ตกอยู่
N	แทน	จำนวนคะแนนหรือจำนวนข้อมูล
Fc	แทน	ความถี่สะสมก่อนถึงคะแนนขอบเขตต่ำสุดในชั้น Mdn ตกอยู่
f_m	แทน	ความถี่ของชั้นคะแนนที่ Mdn ตกอยู่
I	แทน	อันตรภาคในชั้นหนึ่ง ๆ

4. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

4.1 การทดสอบสมมติฐานใช้การประมาณค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรโดยวิธี Interval Estimation (บุญเรียง ขจรศิลป์. 2539 : 73 - 74) ทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1

โดยใช้สูตร

$$(1 - \alpha)\% \text{ ของความเชื่อมั่นของ } m = \bar{X} \pm t_{n-1} (\alpha / 2) \sqrt{\frac{S}{n}}$$

α คือ ระดับความมีนัยสำคัญ

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

t คือ ค่าที่ ๆ ได้จากตารางการแจกแจง t ที่ Degree of freedom $n-1$

S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

4.2 หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman rang - order correlation coefficient) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน (สมมติฐาน ข้อ 2) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการวัด DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (บุษกร เพชรวิวรรณ. 2529 : 237 - 242) (สมมติฐาน ข้อ 3)

โดยใช้สูตร

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

เมื่อ ρ (Rho) แทน Rank Correlation

N แทน จำนวนคู่ของข้อมูล

D แทน ผลต่างของอันดับที่ของข้อมูลแต่ละคู่

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในบทนี้ จะนำเสนอตามลำดับของความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. เพื่อสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัด DO ของน้ำ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการวัด DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำเสนอเป็นตาราง โดยมีคำอธิบายสรุปผลไว้ในตอนท้ายของตารางแต่ละตาราง สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามนี้ข้างต้นมีดังต่อไปนี้

N	แทน	จำนวนน้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์
IOC	แทน	ดัชนีความสอดคล้องระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง
ρ	แทน	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
t	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการแจกแจงแบบ t
$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่า DO
$\bar{X}_1$	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
$\bar{X}_2$	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
SD	แทน	ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า DO

ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำเสนอตามลำดับดังนี้

1. การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ

การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ สร้างโดยนำน้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมา วัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐานเพื่อให้ทราบค่า DO ของน้ำที่แน่นอน เติมน้ำเกลือตามวิธี Azide Modification (รายละเอียดดังหน้า 67 - 68) ทำการถ่ายภาพสารละลาย จากนั้นนำภาพถ่ายดังกล่าวมาจัดทำเป็นแถบสีมาตรฐาน หากคุณภาพของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่างที่เตรียมด้วยวิธีเดียวกันกับการสร้างแถบสีมาตรฐาน ผลปรากฏดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการประเมินความสอดคล้องระหว่าง
สีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้น

ค่า DO	ระดับความเห็น			IOC
	แน่ใจว่าใกล้เคียง	ไม่แน่ใจว่าใกล้เคียง	แน่ใจว่าไม่ใกล้เคียง	
DO ₁₁	4	-	-	1.00
DO ₁	4	-	-	1.00
DO ₂	4	-	-	1.00
DO ₃	3	1	-	0.75
DO ₄	4	-	-	1.00
DO ₅	3	1	-	0.75
DO ₆	4	-	-	1.00
DO ₇	4	-	-	1.00
DO ₈	4	-	-	1.00
DO ₉	4	-	-	1.00
DO ₁₀	4	-	-	1.00
DO ₁₁	4	-	-	1.00
DO ₁₂	4	-	-	1.00

จากตาราง 3 แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นของ DO₃ กับ DO₅ มีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.75 และแถบสีที่สร้างขึ้นของ DO₀, DO₁, DO₂, DO₄, DO₆– DO₁₂ ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 ทุกค่า เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ของค่าดัชนีความสอดคล้อง ซึ่งกำหนดไว้คือมากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 อาจสรุปได้ว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีความเข้มใกล้เคียงกับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้นทุกแถบสีเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เนื่องจากแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นจากสารละลายที่เตรียม โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน สำหรับวัดค่า DO ของน้ำมีความละเอียดมาก และสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นบางแถบมีความเข้มใกล้เคียงกัน อาจไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในกลุ่มทดลองจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่างจริง จำนวน 40 คน ให้นักเรียนทดลองวัดค่า DO ของน้ำ โดยเปรียบเทียบสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ($DO_0 - DO_{12}$) กับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้น ($DO_0 - DO_{12}$) ซึ่งปรากฏผลดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำที่นักเรียนวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
เปรียบเทียบกับสีของสารละลายที่เตรียมขึ้น

ค่า DO ของแถบ สีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของ สารละลาย ที่เตรียมขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ที่นักเรียนวัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวน นักเรียน (คน)	จำนวน คำตอบที่ ถูกต้อง	ร้อยละของ คำตอบ ที่ถูกต้อง
DO_0	DO_0	DO_0	8	8	20
		DO_1	8	-	-
		DO_2	24	-	-
DO_1	DO_1	DO_0	8	-	-
		DO_1	22	22	55
		DO_2	10	-	-
DO_2	DO_2	DO_0	27	-	-
		DO_1	5	-	-
		DO_2	8	8	20
DO_3	DO_3	DO_3	35	35	87
		DO_4	5	-	-
DO_4	DO_4	DO_4	29	29	72.5
		DO_5	11	-	-
DO_5	DO_5	DO_5	29	29	72.5
		DO_6	10	-	-
		DO_7	1	-	-

ตาราง 4 (ต่อ)

ค่า DO ของแถบ สีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของ สารละลาย ที่เตรียมขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ที่นักเรียนวัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวน นักเรียน (คน)	จำนวน คำตอบที่ ถูกต้อง	ร้อยละของ คำตอบ ที่ถูกต้อง
DO ₆	DO ₆	DO ₅	4	-	-
		DO ₆	19	19	47.5
		DO ₇	16	-	-
		DO ₈	1	-	-
DO ₇	DO ₇	DO ₅	1	-	-
		DO ₆	5	-	-
		DO ₇	24	24	60
		DO ₈	9	-	-
		DO ₉	1	-	-
DO ₈	DO ₈	DO ₈	13	13	32.5
		DO ₉	21	-	-
		DO ₁₀	6	-	-
DO ₉	DO ₉	DO ₈	7	-	-
		DO ₉	18	18	45
		DO ₁₀	15	-	-
DO ₁₀	DO ₁₀	DO ₉	11	-	-
		DO ₁₀	21	21	52.5
		DO ₁₁	7	-	-
		DO ₁₂	1	-	-
DO ₁₁	DO ₁₁	DO ₉	7	-	-
		DO ₁₀	24	24	60
		DO ₁₁	9	-	-

ตาราง 4 (ต่อ)

ค่า DO ของแถบ สีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของ สารละลาย ที่เตรียมขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ที่นักเรียนวัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	จำนวน นักเรียน (คน)	จำนวน คำตอบที่ ถูกต้อง	ร้อยละของ คำตอบ ที่ถูกต้อง
DO ₁₂	DO ₁₂	DO ₉	1	-	-
		DO ₁₀	3	-	-
		DO ₁₁	5	-	-
		DO ₁₂	31	31	77.5

จากตาราง 4 แสดงว่าสารละลายที่มีค่า DO₃, DO₄, DO₅ และ DO₁₂ นักเรียนสามารถวัดค่า DO ของน้ำ โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นได้ใกล้เคียงกับค่า DO ของสารละลายที่เตรียมขึ้น คือวัดได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 70 ส่วนค่า DO₀, DO₁, DO₂, DO₆, DO₇, DO₈, DO₉, DO₁₀ และ DO₁₁ นักเรียนวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นได้ถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 70

จากการที่นักเรียนวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ได้ค่า DO ใกล้เคียงกับสารละลายที่เตรียมขึ้นถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 70 เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นแต่ละช่วง DO ใกล้เคียงกันมากจนนักเรียนไม่สามารถจะจำแนกได้ ผู้วิจัยจึงจัดช่วงกลุ่มแถบสีใหม่ตามผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน โดยไม่ให้ความหมายของแถบสีซึ่งจำแนกน้ำเสียออกจากกันเปลี่ยนไป (ตาราง 4) จากนั้นนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปหาคุณภาพ โดยอาศัยความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน เกี่ยวกับการจัดรวมกลุ่มแถบสีใหม่ และจัดตัวแทนของกลุ่มแถบสีใหม่ตามผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน ซึ่งปรากฏผลดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการจัดรวมกลุ่มแถบสีใหม่และตัวแทนของกลุ่มแถบสีใหม่ตามผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน

ผลการจัดรวมกลุ่ม แถบสีใหม่ตามผลการ วัดค่า DO ของน้ำ โดยนักเรียน	ตัวแทน ของกลุ่ม แถบสีใหม่	รหัส แถบสี	ความเห็นของ ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการ จัดรวมกลุ่มแถบสี			Ioc
			เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ	ไม่เห็นด้วย	
$DO_0 - DO_2$	DO_1	แถบสี A	5	-		1.00
DO_3	DO_3	แถบสี B	5	-		1.00
DO_4	DO_4	แถบสี C	5	-		1.00
DO_5	DO_5	แถบสี D	5	-		1.00
$DO_6 - DO_9$	DO_7	แถบสี E	3	-	2	0.6

จากตาราง 5 แสดงว่า ผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยว่าควรจัดรวมกลุ่มแถบสี สำหรับ $DO_{10} - DO_{12}$ ผู้เชี่ยวชาญส่วนใหญ่เห็นว่าในการศึกษาครั้งนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้แถบสีดังกล่าว เนื่องจากน้ำตามแหล่งน้ำผิวดินมีค่า DO อยู่ระหว่าง $DO_0 - DO_9$ จึงไม่จำเป็นต้องมีแถบสีในช่วงดังกล่าว ดังนั้นแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นชุดใหม่หลังจากจัดรวมกลุ่มบางแถบสีเข้าด้วยกันแล้วมี 5 แถบสี ดังนี้ แถบสี A มีค่าอยู่ในช่วง $DO_0 - DO_2$ โดยใช้ตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_1 แถบสี B แทนค่า DO_3 ตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_3 แถบสี C แทนค่า DO_4 ตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_4 แถบสี D แทนค่า DO_5 ตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_5 และแถบสี E มีค่าอยู่ในช่วง $DO_6 - DO_9$ ตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_7

เมื่อได้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นแล้ว (ตาราง 5) ผู้วิจัยนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นดังกล่าวไปทดลองใช้เพื่อนำผลไปทดสอบสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

2. การทดสอบสมมติฐานในการวิจัย

2.1 การเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน (สมมติฐานข้อ 1)

ผู้วิจัยได้เตรียมสารละลายที่มีค่า DO ตามค่าตัวแทนของแต่ละกลุ่มแถบสี โดยเตรียมกลุ่มละ 2 ตัวอย่าง รวมจำนวน 10 ตัวอย่าง เพื่อนำมาวัดค่า DO ของน้ำ โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น และวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน ทั้งนี้ได้ทำการทดลองซ้ำ 20 ครั้ง ต่อตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดดังภาคผนวก ข (ตาราง 8 - ตาราง 17) นำข้อมูลที่ได้ มาหาค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบความแตกต่างค่า DO ของน้ำ ผลปรากฏดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน

น้ำ ตัวอย่าง ที่	ค่า DO ของน้ำ ที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน			ค่า DO ของน้ำ ที่วัดโดยใช้แถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้น			ความคลาดเคลื่อน จากการวัด ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$)	ความคลาด เคลื่อนที่ระดับ $\alpha = .01$
	N	$\bar{x}_1$	SD	N	$\bar{x}_2$	SD		
1	20	5.02	0.5	20	5	0	.02	± 0.10
2	20	7.01	0.01	20	7	0	.01	± 0.01
3	20	4.01	0.01	20	4	0	.01	± 0.01
4	20	7.01	0.02	20	7	0	.01	± 0.01
5	20	5.01	0.03	20	5	0	.01	± 0.01
6	20	3.01	0.01	20	3	0	.01	± 0.01
7	20	1.01	0.01	20	1	0	.01	± 0.01
8	20	4.01	0.01	20	4	0	.01	± 0.01
9	20	3.01	0.020	20	3	0	.01	± 0.01
10	20	1.01	.06	20	1	0	.01	± 0.01

จากตาราง แสดงว่า ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($\alpha = .01$)

2.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (สมมติฐานข้อ 2) ในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นอยู่ในมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval Scale) ดังนั้นจึงปรับข้อมูลทั้งสองให้อยู่ในมาตราเดียวกัน คือ มาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) โดยหาค่ามัธยฐาน (Median) ของค่า DO ของน้ำตัวอย่าง แต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำมาจัดเรียงอันดับและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ผลจากการศึกษา พบว่า ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = 0.99$, $r = 19.85$) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2 ที่กำหนดไว้ (รายละเอียดดังภาคผนวก ข)

2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (สมมติฐานข้อ 3) ในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง เนื่องจากค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัดมีจำนวนผู้วัดไม่เท่ากัน จึงนำค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัดมาหาตัวแทนโดยใช้ค่ามัธยฐาน จากนั้นนำมาจัดอันดับและหาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการหาค่าความสัมพันธ์ของอันดับ ผลการศึกษา พบว่าค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = 0.99$, $r = 22.07$) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อ 3 ที่กำหนดไว้ (รายละเอียดดังภาคผนวก ข (ตาราง 21 - ตาราง 27))

ผลการสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนหลังการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ผลการสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนหลังการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นในการวัดค่า DO ของน้ำ จากการนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540 จำนวน 30 คน ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำจำนวน 12 ตัวอย่าง หลังจากทำการทดลองแล้ว ให้นักเรียนตอบแบบสอบถาม (ภาคผนวก) ซึ่งปรากฏผลดังนี้

1. เมื่อนักเรียนอ่านข้อความจากใบงานแล้ว
 - สามารถทำตามได้มาก 27 คน คิดเป็นร้อยละ 90
 - สามารถทำตามได้ปานกลาง 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10
2. นักเรียนทุกคนไม่เคยทราบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในชุมชน คิดเป็นร้อยละ

100

3. นักเรียนทุกคนสามารถบอกปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ เมื่อใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นคิดเป็นร้อยละ 100

4. นักเรียนทุกคนแสดงความคิดเห็นว่า ถ้ามีชุดตรวจสอบคุณภาพน้ำ (แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น และสารเคมี) นักเรียนสามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำภายในชุมชน และสามารถแนะนำให้ผู้อื่นใช้ได้ เพราะเห็นว่าเป็นวิธีที่ง่าย ขั้นตอนการทดลองไม่ซับซ้อน คิดเป็นร้อยละ 100

5. ความชัดเจนของแถบสีมาตรฐาน
 - นักเรียนที่ตอบว่าชัดเจนมาก 27 คน คิดเป็นร้อยละ 90
 - นักเรียนที่ตอบว่าชัดเจนปานกลาง 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10
6. ความสะดวกต่อการใช้งานของแถบสี
 - นักเรียนที่ตอบว่าสะดวกมาก 26 คน คิดเป็นร้อยละ 86.66
 - นักเรียนที่ตอบว่าสะดวกปานกลาง 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33

จากผลการวิจัยที่นำเสนอข้างต้น สามารถสรุปโดยภาพรวมได้ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 การสรุปผลการวิจัยโดยภาพรวม

ประเด็นที่ศึกษา	ข้อค้นพบ
1. การสร้างแถบสีมาตรฐาน	อยู่ในเกณฑ์ของค่าดัชนีความสอดคล้อง คือมากกว่า 0.06
2. ผลการเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน	ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($\alpha = .01$)
3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO น้ำ	
3.1 ความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัดมาตรฐาน	ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p = 0.99$, $t = 19.85$)
3.2 ความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น	ค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด มีความสัมพันธ์กันทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 ($p = 0.99$, $t = 22.07$)

จากตาราง 7 สามารถสรุปผลการวิจัยโดยรวมได้ว่า

1. แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ได้อยู่ในเกณฑ์ของค่าดัชนีความสอดคล้อง คือมากกว่า 0.60 โดยเป็นชุดแถบสี ที่ประกอบด้วย 5 แถบสี วัดค่า DO ของน้ำได้ 5 ช่วง
2. ผลการเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($\alpha = .01$) โดยใช้น้ำตัวอย่างที่มีค่า DO เท่ากับ DO ของตัวแทนของแต่ละกลุ่มแถบสี
3. ความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยใช้น้ำตัวอย่างที่มีค่า DO เท่ากับ DO ของตัวแทนของแต่ละกลุ่มแถบสี

4. ความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำ ที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำ ที่นักเรียนเป็นผู้วัด มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p = 0.99$, $t = 22.07$)

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำซึ่งพอจะสรุปลำดับขั้นตอนและผลการศึกษา ได้ดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดค่า DO ของน้ำ
2. เพื่อเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการวัด DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า

1. ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานไม่แตกต่างกัน
2. ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานมีความสัมพันธ์กันทางบวก
3. ค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัดมีความสัมพันธ์กันทางบวก

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1.1 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแถบสีมาตรฐานของ $DO_0 - DO_7$ เป็นน้ำจากคลองแสนแสบ ด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่นำมาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO ตามต้องการ น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแถบสีมาตรฐานของ $DO_8 - DO_9$ เป็นน้ำกลั่นที่นำมาเติมออกซิเจนด้วยเครื่องเป่าอากาศขนาดเล็กและน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการสร้าง ส่วนแถบสีมาตรฐานของ $DO_{10} - DO_{12}$ เป็นน้ำจากบ่อที่มีสาหร่ายแล้วมาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO ตามต้องการ ส่วนน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่วัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐานกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เป็นน้ำที่เตรียมจากน้ำคลองแสนแสบด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร และนำมาปรับด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO ตามต้องการ จำนวน 10 ตัวอย่าง

1.2 น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียน เป็นน้ำตัวอย่างที่ลุ่มจากแหล่งน้ำผิวดินทั่ว ๆ ไป ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 12 ตัวอย่าง

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2540 จำนวน 30 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัด DO มาตรฐาน
2. แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
3. ใบงานประกอบการทดลองใช้
4. แบบสอบถามความคิดเห็นหลังการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วนดังนี้
การสร้างแถบสีมาตรฐาน ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องกับค่า DO
2. ศึกษาอินดิเคเตอร์ (Indicator) และ oxidizing agent ที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสี

3. ทำการทดลองสร้างแถบสีมาตรฐาน

ในการสร้างแถบสีมาตรฐาน น้ำตัวอย่าง ได้แก่ น้ำจากคลองแสนแสบด้านหลังตึก 15 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

3.1 นำน้ำจากคลองแสนแสบมาใส่ขวดปิดฝา แล้วเก็บไว้ในที่มืด ประมาณ 2 – 3 วัน เพื่อให้ได้น้ำเสียที่มีค่า DO_0

3.2 นำน้ำดังกล่าวมาวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐานเพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่า DO ที่แน่นอน

3.3 เมื่อได้น้ำที่มีค่า DO_0 แล้วนำน้ำตัวอย่างนั้นมาเติมน้ำที่มีออกซิเจน (เช่น น้ำกลั่น) เพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า DO_1 โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน

3.4 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3 เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่า $DO_0 - DO_7$

3.5 นำน้ำตัวอย่างที่มีค่า DO_7 มาเติมออกซิเจนโดยใช้เครื่องเป่าอากาศขนาดเล็ก แบบที่ใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลา เพื่อให้ได้น้ำตัวอย่างที่มีค่า $DO_8 - DO_9$ โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน

3.6 นำน้ำตัวอย่างจากบ่อที่มีสาหร่าย ซึ่งมีค่า DO_{12} มาปรับด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้ได้น้ำที่มีค่า $DO_{10} - DO_{12}$ โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน

3.7 นำน้ำตัวอย่างที่ได้ค่า $DO_0 - DO_{12}$ ตามข้อ 3.2-3.6 มาวิเคราะห์ตามขั้นตอน ดังนี้

3.7.1 นำน้ำตัวอย่างที่ทราบค่า DO โดยการวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน แล้วมาเติมสารละลาย $MnSO_4$ 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล - ไอโอไดค์ - เอไซด์ 2 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่างในขวด BOD

3.7.2 ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าอย่างแรง โดยการกลับขวดไป ประมาณ 15 ครั้ง

3.7.3 เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงไปข้าง ๆ คอขวด ให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุกขวดให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งไว้ 5 นาที

3.7.4 นำสารละลายที่ได้ ตั้งแต่ $DO_0 - DO_{12}$ มาทำการถ่ายภาพด้วยกล้อง Nikon รุ่น FE 2 ฟิล์มสีโกดัก GOLD 200 ความเร็วชัตเตอร์ 125 ความไวแสง 5.6 เวลาที่ทำการถ่ายภาพ 13.00 - 15.00 น

3.7.5 นำภาพถ่ายที่ได้ในข้อ 3.7.4 มาจัดทำเป็นแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เพื่อทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

3.7.6 เตรียมสารละลาย โดยวิธีเดิม (ตามข้อ 3.1 - 3.7.3) เพื่อให้ได้สารละลาย ที่มีค่า $DO_0 - DO_{12}$ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (ได้ตามข้อ 3.7.5) โดยผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน (รายละเอียดหน้า 68) ซึ่งแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นทุกแถบสีต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป

3.7.7 นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ได้ ไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ให้นักเรียนวัดค่า DO ของน้ำ โดยเปรียบเทียบสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นดังกล่าว กับสีของสารละลายที่เตรียม โดยวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน

3.7.8 นำผลการวัดค่า DO ของน้ำที่วัดโดยนักเรียน (ตามข้อ 3.7.7) มาจัด รวบรวมแถบสีและตัวแทนของแถบสีใหม่ โดยไม่ทำให้ความหมายของแถบสีเปลี่ยนไป หาดัชนี ความสอดคล้องตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน (รายละเอียดหน้า 68) ซึ่งกลุ่มแถบสี และ ตัวแทนของแถบสีใหม่ต้องมีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.6 ขึ้นไป

3.7.9 นำแถบสีมาตรฐานที่ได้ในข้อ 3.7.8 ไปทดสอบสมมติฐาน

4. การทดสอบสมมติฐาน

4.1 เปรียบเทียบค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานและหาความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้ แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำ ที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน ในน้ำตัวอย่าง จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นน้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น

4.2 หาความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำ ที่ครูเป็นผู้วัดกับค่า DO ของน้ำที่ นักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ในน้ำตัวอย่างจำนวน 12 ตัวอย่าง ซึ่งมีทั้งน้ำ ตัวอย่างที่สูมจากแหล่งน้ำผิวดิน และน้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ได้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสำหรับวัดค่า DO ของน้ำในช่วง $DO_0 - DO_9$ ซึ่งผลการ ทดลองใช้ พบว่า ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ที่ได้ จากการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($\alpha = .01$)

2. ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำ ที่ได้จากการวัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็น ความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = .99, t = 19.85$)

3. ค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัด กับค่า DO ของน้ำที่นักเรียนเป็นผู้วัดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = .988$, $t = 22.065$)

การอภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัยครั้งนี้กระทำโดยลำดับตามความมุ่งหมายของการวิจัยดังนี้

1. การอภิปรายผลเกี่ยวกับการสร้างแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

จากผลการวิจัยพบว่า แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นเพื่อวัดค่า DO ของน้ำ หากคุณภาพโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน (รายละเอียดหน้า 68) ปรากฏว่า แถบสีมีค่าดัชนีความสอดคล้องตามเกณฑ์ที่กำหนด แถบสีของ DO_3 กับ DO_5 มีดัชนีความสอดคล้อง 0.75 และแถบสีของ $DO_0, DO_1, DO_2, DO_4, DO_6-DO_{12}$ ได้ดัชนีความสอดคล้อง 1.00 ทุกค่าตามลำดับ ซึ่งเกณฑ์ของดัชนีความสอดคล้อง คือ มากกว่า หรือเท่ากับ 0.60 (ดิลก ดิลกานนท์, 2537 : 108 - 109)

อย่างไรก็ตามตามความเห็นที่แตกต่างกันไปในช่วงของค่า DO ดังกล่าวอาจมีผลเนื่องจาก สีของสารละลายที่เกิดขึ้นมีความใกล้เคียงกันมากบางช่วง คือแตกต่างกันที่ความเข้มของสี และความสามารถของแต่ละบุคคลในการอ่านสีอาจมีข้อจำกัด หรือมีความแตกต่างกัน เพราะแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นได้นำไปเปรียบเทียบกับสีของสารละลายที่สร้างโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานเป็นตัววัดค่า DO ของน้ำมีความละเอียดมาก และการที่แถบสีที่ได้บางช่วงมีความเข้มของสีใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองโดยอาศัยหลักการออกซิไดส์สารละลายแมงกานีส (II) ด้วยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปเป็น แมงกานีส (VI) ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส แมงกานีส (VI) นี้สามารถออกซิไดส์ I^- ไปเป็น I_2 ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำตอนเริ่มต้นจะสมมูลกับปริมาณของ I_2 ที่ถูกขับออกมา และความเข้มของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ดังนั้นเมื่อเติมสารละลายแมงกานีส (II) ภายใต้สภาวะที่เป็นเบส และละลายตะกอนด้วยกรดแล้วจึงให้ความเข้มของสีตามปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522 : 154) ถ้าค่า DO ของน้ำใกล้เคียงกันสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นก็มีความเข้มใกล้เคียงกันในช่วง ไม่เหมาะที่จะนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่างจริง แต่เมื่อให้นักเรียนวัดค่า DO ของน้ำ พบว่า ในบางช่วงนักเรียนวัดได้คลาดเคลื่อนจากที่เป็นจริง อย่างไรก็ตามเหตุผลที่นักเรียนไม่สามารถเปรียบเทียบสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลาย ที่เตรียมขึ้นจากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน อาจเป็นเพราะสีของสารละลาย

แต่ละช่วงใกล้เคียงกันมากจนนักเรียนไม่สามารถจำแนกความแตกต่างได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ชัยพร วิชาวุธ (2518 : 3) ที่กล่าวว่า หากความเข้มของสิ่งเร้าลดลงเพียงเล็กน้อย จะทำให้ผู้รับการทดลองไม่เห็นความแตกต่างเลย ซึ่งการเปรียบเทียบที่ใกล้เคียงกันนี้ อาจเปรียบเทียบได้กับความเข้มของสีของสารละลายและสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น สีที่ใกล้เคียงกันในบางช่วงทำให้นักเรียนจำแนกความแตกต่างไม่ได้ และสาเหตุอีกประการหนึ่งนักเรียนในวัยนี้ยังมีประสบการณ์ในการจำแนกสีค่อนข้างน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ สุวัฒน์ นิยมคำ (2531 : 416) ที่ได้สรุปสาระสำคัญของทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์ไว้ว่า ความสามารถในการคิดและเข้าใจเรื่องราวต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับวัยและประสบการณ์ของเด็ก นั่นคือ วุฒิภาวะทางร่างกายมีสหสัมพันธ์กับความสามารถในการคิดและตัดสินใจของเด็ก ดังนั้นจึงจัดช่วงของแถบสีใหม่เป็น 5 ช่วง ซึ่งช่วงค่า DO ของแถบสีที่จัดใหม่มีความเข้มแตกต่างมากพอที่จะทำให้เกิดความรู้สึกว่าแตกต่างกันได้ (Threshold) นอกจากนี้แถบสีดังกล่าวยังสามารถแยกช่วงของน้ำดี น้ำเสียออกจากกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับ นันทนา กษเสนี (2536 : 17) กล่าวว่า โดยทั่วไปน้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติมีค่า DO ที่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำที่มีค่า DO ต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำเสียและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่สามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินได้ ดังที่พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 (ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 11 ตอนที่ 160 วันที่ 24 ก.พ. 2537) ได้กำหนดค่า DO ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินทั้ง 5 ประเภทไว้แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง คือ ไม่น้อยกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น 5 แถบ สามารถวัดค่า DO ของน้ำได้ในช่วง $DO_0 - DO_9$ และแถบสีของ $DO_{10} - DO_{12}$ นั้นตัดช่วงสามารถอภิปรายได้ดังนี้

ค่า DO ของน้ำผิวดินปกติมีค่าไม่ถึง DO_{10} น้ำที่มีค่า DO สูง ๆ คือ $DO_{10} - DO_{14}$ ต้องเป็นน้ำที่เตรียมขึ้นหรืออยู่ในสถานะที่มีการควบคุม แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นของ $DO_{10} - DO_{12}$ จึงไม่จำเป็นต้องมี ดังนั้นจึงตัดช่วงของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่มีค่า $DO_{10} - DO_{12}$ ซึ่งสอดคล้องกับ ณรงค์ วุทธเสถียร (2540 : 28) กล่าวว่าที่ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำมีค่า DO ได้สูงสุดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ 0 °C น้ำมีค่า DO 14.63 มิลลิกรัมต่อลิตร, 7 °C น้ำมีค่า DO 12.13 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ 15 °C น้ำมีค่า DO 10.07 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติในประเทศไทยโดยทั่วไปมีค่าสูงกว่า 15 °C และเมื่อนำการตัดช่วง $DO_{10} - DO_{12}$ ไปหาดัชนีความสอดคล้องตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 0.6 แสดงว่า ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าควรตัดช่วงแถบสีดังกล่าวออกเช่นเดียวกัน ส่วนแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นยังคงแถบสีของ $DO_7 - DO_9$ ไว้

เพราะอุณหภูมิปกติของน้ำตามธรรมชาติมีค่า 25°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ออกซิเจนสามารถละลายได้ ดังที่ ฌอร์จ วุทเธียร์ (2540 : 28) กล่าวไว้เกี่ยวกับความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 20°C น้ำมีค่า DO สูงสุด 9.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 26°C น้ำมีค่า DO สูงสุด 8.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่อุณหภูมิ 34°C น้ำมีค่า DO สูงสุด 7.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นแถบสีที่ได้ในการวิจัยครั้งนี้ จึงสามารถวัดค่า DO ของน้ำในช่วง $\text{DO}_0 - \text{DO}_9$

2. การอภิปรายผลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบและการหาความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน สามารถอธิบายได้ดังนี้ เนื่องจากค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่า DO ของน้ำได้ไม่แตกต่างจากเครื่องวัด DO มาตรฐาน เพราะในกระบวนการสร้างแถบสีมาตรฐาน ผู้วิจัยเตรียมสารละลายที่จะนำมาถ่ายภาพโดยนำน้ำตัวอย่างมาวัดด้วยเครื่องวัด DO มาตรฐาน เพื่อให้ทราบค่า DO ที่แน่นอน ในการถ่ายภาพมีการศึกษาและควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของการถ่ายภาพ เช่น ชนิดฟิล์ม ความเร็วชัตเตอร์ ความไวแสง และเวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ภาพสีของสารละลายใกล้เคียงกับสีของสารละลายจริงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับไพโรจน์ เบาใจ (2521 : 72) ที่กล่าวไว้ว่า เวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพนั้นอยู่ในช่วง 9.00 - 11.00 น. และ 13.00 - 16.00 น. เพราะแสงที่ได้จะทำให้ภาพชัดเจนเหมือนจริงมากที่สุด และสาเหตุอีกประการหนึ่งคือน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำชนิดเดียวกัน ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เพียงแต่วัดคนละวิธีเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ อุมพร ตันกุลเวสส (2539 : 502 บทคัดย่อ) ที่เปรียบเทียบค่าความกระด้างของของน้ำที่วิเคราะห์ โดยชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนามที่จัดสร้างขึ้น กับวิธีมาตรฐานแบบสเปกโตรโฟโตเมตริก (Spectrophotometric Method) พบว่าทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของมนทลิกษาชีวะ (2538 : 51 - 54) ที่ได้ทดลองเปรียบเทียบค่า BOD_5 โดยใช้ถังโฟมบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้อง แทนตู้ BOD กับค่า BOD_5 ที่อุณหภูมิ 20°C ของน้ำเสีย พบว่า ไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับพิณทิพย์ รื่นวงษา และคนอื่น ๆ (2540 : 648 บทคัดย่อ) ที่ได้เปรียบเทียบคุณภาพชุดตรวจสอบไอโอเดทที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นเองในประเทศกับที่ซื้อจากต่างประเทศ พบว่า ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่า DO ของน้ำแทนเครื่องวัด DO มาตรฐานได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และประหยัด

3. การอภิปรายผลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำที่ครูเป็นผู้วัด กับนักเรียนเป็นผู้วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

การที่ครูและนักเรียนวัดค่า DO ของน้ำได้ผลเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่าแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเรียนการสอน ชุมชน หรือผู้ที่สนใจ

อยากทราบข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ ก็สามารถนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นดังกล่าวไปตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ เพราะจากการวิจัย พบว่า นักเรียนซึ่งไม่เคยมีประสบการณ์ก็ให้ผลการวัดเช่นเดียวกับครู แสดงว่า แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การอภิปรายผลจากการสอบถามความคิดเห็นหลังการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ผลการศึกษา พบว่า ครูและนักเรียนสามารถใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นวัดค่า DO ของน้ำได้ แม้จะมีพื้นความรู้ไม่เท่ากัน ทำให้ผู้วิจัยคิดที่จะตรวจสอบเพิ่มเติมในเชิงคุณภาพว่า นักเรียนมีความรู้สึกอย่างไรต่อการใช้แถบสีนี้ และสามารถนำไปแนะนำให้ผู้อื่นใช้ได้หรือไม่ ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นไปในทางบวก ถิ่นจะคาดการณ์ได้ว่า บุคคลทั่วไปก็จะใช้แถบสีนี้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการสร้างแถบสีมาตรฐาน ในการวัดค่า DO ของน้ำทำให้ทราบว่า การตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยวัดค่า DO ของน้ำ สามารถทำการตรวจสอบเบื้องต้นได้สะดวก รวดเร็ว และประหยัด ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์น้ำเสียโดยวิธีไทเทรต ก็สามารถทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง ดังนั้น ถ้าหากจะมีการวิจัยต่อไป ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรศึกษาการนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปใช้ในการหาค่า DO เพื่อคำนวณหาค่า BOD ของน้ำ เปรียบเทียบกับวิธีวัดค่า BOD มาตรฐาน
2. ควรศึกษา Oxidizing agent ที่ทำให้วิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ สะดวก รวดเร็วยิ่งขึ้น
3. จัดทำสารละลายหรือสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นชุด เพื่อใช้ในการเรียนการสอน
4. ควรนำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปผลิตเป็นการค้า เพื่อให้ได้แถบสีมาตรฐานที่คงรูป จำนวนมาก ๆ (ใช้เทคนิคการพิมพ์สีให้เหมือนกับต้นฉบับ)

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรณีการ สิริสิงห์. เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและวิธีวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : บริษัทสารมวลชน จำกัด, 2522.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. คู่มือผู้ให้บริการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์, 2537.
- _____. โครงการจัดทำคู่มือดำเนินงานระบบบำบัดน้ำเสีย และการใช้มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์, 2537.
- สาธารณสุข, กระทรวง. คู่มือตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2537.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. รายงานผลการวิเคราะห์การนำเข้าอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในช่วงครึ่งปีแรกของกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 2/2540. 18 หน้า.
- กองสิ่งแวดล้อมประมง. การสำรวจสภาพสิ่งแวดล้อมและการประมงในแม่น้ำหูนาน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1. กรมประมง, 2537.
- กัญญา ศุกลพัฒนะ และพันธุ์ทิพย์ ศุกลพัฒนะ. “อินดิเคเตอร์จากใบหูกวางสีแดง,” วารสารประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19. ปี 2536. จังหวัดสงขลา ; 2536. (บทคัดย่อ).
- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์ พิมพ์ครั้งที่ 2, 2534.
- จารุวรรณ สมศิริ. การศึกษาคุณภาพน้ำและสารพิษตกค้างในหนองหาวก่อนการพัฒนาปี 2535. เอกสารวิชาการฉบับปีที่ 149. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด. กรมประมง, 2536.
- ฉัตรไชย รัตนไชย. การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ชัยพร วิชชาวุธ. จิตวิทยาความรู้สึกลึก. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2518.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. ระบบสื่อการสอน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- ชาญชัย ลิ้มปียากรและคนอื่น ๆ. คลอง...สายน้ำที่รอคอยความห่วงใย. กรุงเทพฯ : เอ็ดดิสัน เพรส โปรดัก จำกัด, 2536.
- เชิธรศรี วิวิธศิริ. สื่อสำหรับการศึกษาผู้ใหญ่และการศึกษานอกโรงเรียน. ภาควิชาการศึกษาผู้ใหญ่ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2527.

- ไชยยศ เรืองสุวรรณ. เทคโนโลยีการศึกษา : หลักการและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพฯ : วัฒนาพานิช, 2526.
- โซ สาลีนัน. การสร้างอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ทดแทนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2528.
- ณรงค์ วุทธเสถียร. การปรับสภาพน้ำในอุตสาหกรรมและหม้อไอน้ำ. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์, 2540.
- ดิลก ดิลกานนท์. วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2537.
- ดุสิต สังข์ร่วมใจ. การจัดหาสื่อ : สื่อทัศนวัสดุ. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 16(1) : 45 - 47 ; มกราคม - มีนาคม 2531, หน้า 45 - 47.
- ทวีเดช จีวบาง. เรียนรู้ทฤษฎี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2536.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือวิเคราะห์หน้า. พิมพ์ครั้งแรก. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- ธนิษฐา ชิริภษพันธ์. การทดลองใช้หอยแมลงภู่เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งทะเลแบบพัฒนา. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2537. อัดสำเนา.
- นกร บุญประกอบ. บทบาทของสารายที่มีต่อคุณภาพน้ำของกลุ่มน้ำที่สำคัญบริเวณภาคใต้ตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์. วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2532. อัดสำเนา.
- นราพร หาญจนวงศ์ และคณะ. "การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ค่าซีไอดี โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิดแล้วไทเทรต และวิธีเทียบสีโดยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี. วารสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 ณ โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว จ.เชียงใหม่. ; 2540. บทคัดย่อ.
- น้อย สิริโชติ. การทำสไลด์และฟิล์มสตริป. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา, 2523.
- นันทนา คชเสนี. คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- นิคม ทาแดง. "หน่วยที่ 10 การใช้สื่อการสอนวิทยาศาสตร์," เอกสารการสอนชุดวิชา การสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ยูไนเต็ดโปรดักชั่น ; 2526.

- นิวัติ เรืองพานิช. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์รวีเจิว, 2537.
- นุกูล อินทรสังขา. การสำรวจคุณภาพน้ำทะเลทางจุลชีววิทยาบริเวณชายหาดสมิหลา จังหวัด สงขลา. รายงานการวิจัย สงขลา : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา, 2534.
- _____. การศึกษาผลกระทบของการขยายชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมต่อสภาพแวดล้อมทางน้ำในจังหวัดสงขลา. รายงานการวิจัย. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา, 2535.
- บุษกร เพชรวิวรรณ. วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย. สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2529.
- บุญยฤทธิ์ คงคาเพชร. การผลิตสื่อการสอน. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน, 2526.
- บุญเรียง ขจรศิลป์. สถิติวิจัย 1. พิมพ์ครั้งที่ 6. คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539.
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16. วันที่ 24 กุมภาพันธ์ ; 2537.
- ประเสริฐ ศิลรัตน์. ความเข้าใจในศิลปะ. กรุงเทพฯ : โอ เอส พริ้นติ้งเฮาส์ จำกัด. 2525.
- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- ฝ่ายคุณภาพน้ำ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์การศาสนา, 2534.
- พรพิมล ม่วงไทย. เคมีวิเคราะห์พื้นฐาน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2530.
- พนิตทิพย์ รื่นวงษา และคนอื่น ๆ. "การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของชุดตรวจสอบไอโอเดท ที่คณะผู้วิจัยผลิตขึ้นเองในประเทศกับที่ซื้อจากต่างประเทศ," วารสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 ณ โรงแรมโลดส์ ปางสวนแก้ว เชียงใหม่. ; 2540. (บทคัดย่อ).
- ไพโรจน์ เบาลือ. การถ่ายภาพเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2521.

แฟรงค์ มาเลเซีย. การศึกษาปริมาณบีโอดี คุณภาพน้ำและคุณภาพดินบางประการจากบ่อเลี้ยงกุ้ง
กุลาดำแบบพัฒนาที่มีอัตราความหนาแน่นแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ :
มหาวิทยาลัยมหิดล, 2536. อัดสำเนา.

ภพ เลหาไพบูลย์. แนวการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช, 2537.

ภิญโญ พานิชพันธ์และคณะ. "การประยุกต์ใช้ชุดทดสอบไอโอดีนในโรงงานเกลือ," วารสารการ
ประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 ณ โรงแรม
โลตัส ปางสวนแก้ว เชียงใหม่. ; 2540. (บทคัดย่อ)

มนทลี คชาชีวะ. การหาค่า BOD โดยใช้ถังโฟมบรรจุน้ำแทนตู้ BOD. วิทยานิพนธ์ วท.ม.
กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2538. อัดสำเนา.

มนัส อับดุลเลาะ. "การเติมอากาศ" ชัยพฤกษ์วิทยาศาสตร์. 39(263) : พฤษภาคม 2535.

มันสิน คณกุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

มุกดา จิรภูมิมิตร. เคมีวิเคราะห์ปริมาณเล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3 ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรม
การเกษตรแห่งชาติ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

_____. เคมีวิเคราะห์ปริมาณเล่ม 2. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

พิมพ์ครั้งที่ 3 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. และจรรุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการ
ประมง. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ชุมนุม
สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2528.

รัชณี เขียวเงิน. การศึกษาชนิดของสาหร่ายและคุณภาพของน้ำในสระแก้ว และบึงราชนก จังหวัด
พิษณุโลก. ปริญญานิพนธ์, กศ.ม. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2535.
อัดสำเนา.

เรืองเดช วงศ์เสนา. ผลกระทบของโรงงานอุตสาหกรรม แหล่งเกษตรกรรมและชุมชนที่มีต่อ
คุณภาพน้ำของลำน้ำมูล ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (ตุลาคม 2534 - สิงหาคม 2535).
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. วิทยาลัยครูอุบลราชธานี.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. สถิติวิทยาทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. ไทยวัฒนาพานิช,
2522.

ลัดดาวัลย์ กัณหสุวรรณ. แนวคิดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมศึกษาบนพื้นฐานของขนบธรรมเนียมและ
ประเพณีไทย. เอกสารบรรยายวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา, 2540. 25 หน้า.

วรวิทย์ ชีวาพร. เอกสารคำสอนวิชา 442 มลภาวะในแหล่งน้ำ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตพลศึกษา, 2529.

- วารินทร์ รัชมิพรหม. สื่อการสอน : เทคโนโลยีทางการศึกษาและการสอนร่วมสมัย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2531.
- วิชัย วงษ์ใหญ่. เอกสารประกอบการเรียนศิลปะเบื้องต้น. คณะวิชาการศึกษา วิทยาลัยการศึกษา ประสานมิตร บุรพาศิลป์, 2515.
- วิเชียร เกตุสิงห์. สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. ไทยวัฒนาพานิช, 2525.
- วิภาวดี บุญโต. สภาพและปัญหาการใช้สื่อการสอนที่บ้านของครูโรงเรียนประถมศึกษาในภาค ตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง. วิทยานิพนธ์. ค.ม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537. อุดลำนนา.
- แววตา ทองระอา. การศึกษาคุณภาพน้ำทะเลในเขตอ่าวน้ำชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ปี 2532. เอกสารงานวิจัยเลขที่ 41/2533 สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัย บุรพา ; 2533.
- แววตา ทองระอา. คุณภาพน้ำบริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จังหวัดระยองและ แหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี. ปี 2531. เอกสารงานวิจัยเลขที่ 38/2532 สถาบัน วิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบุรพา ; 2532.
- สรันย์ เพ็ชรพิรุณ. คุณภาพน้ำทะเลบริเวณอ่าวระยองปี 2529 - 2530. รายงานวิชาการฉบับที่ 5/2530. ศูนย์พัฒนาประมงทะเลฝั่งตะวันออก, 2530.
- สุกชัย ไข่เทียมวงศ์. ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ ครั้งที่ 5, 2539.
- _____. เคมีวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- สุกมิตร จันทร์คำอ้าย. การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอ็ม₁₀โดยไบโอรีแอกเตอร์. วิทยานิพนธ์. วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533. อุดลำนนา.
- ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. เอกสารประกอบการสอนวิชา วิทยาศาสตร์. สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ; 2526.
- ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, สถาบัน. การสำรวจสภาพนิเวศวิทยาและการประมงในบริเวณพื้นที่ โครงการเขื่อนน้ำโจน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 60, 2528.
- ประมงน้ำจืดแห่งชาติ, สถาบัน. การสำรวจสภาพสิ่งแวดล้อม และการประมงในแม่น้ำตาปี. เอกสารวิชาการฉบับที่ 27. กรมประมง, 2527.

สมชาย เสร็จกิจ. การพัฒนาเทคนิคทาง Histochemistry V.S Microtechnique เพื่อช่วยแก้ปัญหาการใช้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้สื่อประสมในโรงเรียนระดับประถมศึกษา. วารสารประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. ครั้งที่ 19 ปี 2536 จังหวัดสงขลา. (บทคัดย่อ).

สนอง ทองปาน. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง : การศึกษาเพื่อพัฒนามทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา. ปริญญาทิพนธ์ กศ.ค. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2540. อุดลำนเา.

_____. การศึกษาผลการใช้เครื่องอัดขยายภาพขาวดำที่พัฒนาขึ้นในการสอนอัดขยายภาพสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. ปริญญาทิพนธ์ กศ.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2537. อุดลำนเา.

สายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์. การศึกษาคุณภาพแม่น้ำกวัง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2533.

คณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, สำนักงาน. แผนพัฒนาการศึกษาแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540 - 2544). กรุงเทพฯ : อรรถพลการพิมพ์, 2539.

คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักงาน. แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540 - 2544). 2539.

สุโขทัยธรรมมาธิราช, มหาวิทยาลัย. สารัตถะและวิทยวิธีทางวิทยาศาสตร์. หน่วยที่ 8 - 12 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2537.

_____. สื่อการสอนระดับมัธยมศึกษา. หน่วยที่ 1 - 5. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2529.

_____. เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา. หน่วยที่ 1 - 5. พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2527.

_____. การพัฒนาและการใช้สื่อการศึกษานอกระบบ หน่วยที่ 1- 8. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, 2534.

สุภาพ วาดเขียน. เครื่องมือวิจัยทางสังคมศาสตร์ ลักษณะที่ดี ชนิดและวิธีการหาคุณภาพ. ไทยวัฒนาพานิช, 2525.

สุทธิเจตน์ จันทรศิริ. "ใช้แบบที่เรีเืองแสดงเป็นดัชนีตรวจสอบคุณภาพน้ำ" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 9(1) : มกราคม - เมษายน, 2537.

- สุวลิ จันทร์นิกร. การประมาณค่า BOD₅ จาก BOD_(t<5) ของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท. วิทยานิพนธ์ วท.ม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2530. อัดสำเนา.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. ทฤษฎีและทางปฏิบัติในการสอนวิทยาศาสตร์ แบบสืบเสาะความรู้เล่ม 2. กรุงเทพฯ : เลานอรัลบุคส์, 2531.
- สุรินทร์ เศรษฐมานิต และคณะ. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการกอนแทคสเตปป์ไลเซชัน โครงการระยะที่ 2. สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. โครงการศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำแม่น้ำสายหลัก (บางปะกง). รายงานย่อย ฉบับที่ 3 งานคุณภาพน้ำ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530.
- _____. โครงการศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำแม่น้ำสายหลัก (บางปะกง). รายงานย่อย ฉบับที่ 2 งานคุณภาพน้ำ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2530.
- อารี สุทธิพันธุ์. ศิลปะนิยม. พิมพ์ครั้งที่ 3 กระดาษสา : 2528.
- อุษา วิเศษสุน. การศึกษาคุณภาพและปริมาณน้ำทิ้งภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2536.
- อุมาพร ตันจุลเวสส. “การสร้างชุดวิเคราะห์และการสำรวจความคิดเห็นหลังการใช้ชุดวิเคราะห์ความกระด้างของน้ำแบบภาคสนาม,” วารสารประชุม วิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 ปี 2539. ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่า, กรุงเทพฯ.
- Feachem, R., D.D. Mara, and M.Mcgarrry, Water, Waste and Health in hot Climates. Chichester : John Wiley & Son., Ltd., 1978.
- G. Svehla. Vogl's qualitative inorganic analysis. 6th New York : John wiley & Sons., Inc, 1987.
- Haber, N.R. and M. Hersenson. The Psychology of Visual Perception. New York, Reinhart and Winston, Inc., 1973.
- Kenneth, Stoub. Official methods of analysis of the association of the Association of official analytical chemists. Volume one. 15th. The Association of Official Analytical Chemists, 1990.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง

แบบวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยนักเรียน

แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญกับการจัดกลุ่มแถบสีตามความคิดเห็นของนักเรียน

แบบสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนในเรื่องการใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

ใบงาน เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง
ระหว่างสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง

คำชี้แจง

ให้พิจารณาว่าสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นแต่ละแถบมีความเข้มใกล้เคียงกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่างมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาให้คะแนนดังต่อไปนี้

- +1 ถ้าแน่ใจว่าสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นใกล้เคียงกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่างมากที่สุด
- 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีความเข้มใกล้เคียงกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง
- 1 ถ้าแน่ใจว่าสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นมีความเข้มไม่ใกล้เคียงกับสีของสารละลายน้ำตัวอย่าง

ค่า	คะแนนความใกล้เคียงของความเข้มสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น			หมายเหตุ
	+ 1	0	- 1	
DO ₀				
DO ₁				
DO ₂				
DO ₃				
DO ₄				
DO ₅				
DO ₆				
DO ₇				
DO ₈				
DO ₉				
DO ₁₀				
DO ₁₁				
DO ₁₂				

โรงเรียน

ชื่อ

ชั้น

แบบวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้แอมป์มาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยนักเรียน

คำชี้แจง

ให้นักเรียนพิจารณาว่าสีของสารละลายในแต่ละขวดมีความเข้มใกล้เคียงกับแถบสี (รูปภาพ) หมายเลขใดมากที่สุด บันทึกผลการสังเกตในตาราง

สารละลาย	หมายเลขของแถบสี
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	
H	
I	
J	
K	
L	
M	
N	

แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการจัดกลุ่มแถบสีตามความคิดเห็นของนักเรียน

ค่า DO	ผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ใช้แถบสีโดยนักเรียน	ผลการจัดกลุ่มแถบสีใหม่ตามผลการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของนักเรียนและตัวแทนของกลุ่มแถบสีใหม่	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการจัดกลุ่มแถบสี		
			เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่แน่ใจ
DO ₀	DO ₀ = 8 คน DO ₁ = 8 คน DO ₂ = 24 คน				
DO ₁	DO ₀ = 8 คน DO ₁ = 22 คน DO ₂ = 10 คน	DO ₀ - DO ₂ และ DO ₁ (แถบสี A)			
DO ₂	DO ₀ = 27 คน DO ₁ = 5 คน DO ₂ = 10 คน				
DO ₃	DO ₃ = 35 คน DO ₄ = 5 คน	DO ₃ (แถบสี B)			
DO ₄	DO ₄ = 29 คน DO ₅ = 11 คน	DO ₄ (แถบสี C)			
DO ₅	DO ₅ = 28 คน DO ₆ = 10 คน DO ₇ = 2 คน	DO ₅ (แถบสี D)			
DO ₆	DO ₅ = 4 คน DO ₆ = 19 คน DO ₇ = 16 คน DO ₈ = 1 คน				

ค่า DO	ผลการวัดปริมาณออกซิเจน ที่ละลายในน้ำที่ใช้แบบสีโดย นักเรียน	ผลการจัดกลุ่มแถบสีใหม่ตามผล การวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลาย ในน้ำของนักเรียนและตัวแทนของ กลุ่มแถบสีใหม่	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับการจัดกลุ่มแถบสี		
			เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย	ไม่เห็นด้วย
DO ₇	DO ₅ = 1 คน DO ₆ = 5 คน DO ₇ = 24 คน DO ₈ = 9 คน DO ₉ = 1 คน	DO ₆ - DO ₉ และ DO ₇ (แถบสี E)			
DO ₈	DO ₈ = 13 คน DO ₉ = 21 คน DO ₁₀ = 6 คน				
DO ₉	DO ₈ = 7 คน DO ₉ = 18 คน DO ₁₀ = 15 คน				
DO ₁₀	DO ₉ = 11 คน DO ₁₀ = 21 คน DO ₁₁ = 7 คน DO ₁₂ = 1 คน	DO ₁₀ - DO ₁₂ (ตัดขวาง)			
DO ₁₁	DO ₁₀ = 7 คน DO ₁₁ = 24 คน DO ₁₂ = 9 คน				
DO ₁₂	DO ₁₀ = 3 คน DO ₁₁ = 5 คน DO ₁₂ = 32 คน				

จากทฤษฎีโดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ คือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

1. กรณีที่ค่า $DO_0 - DO_2$ เมื่อดูจากน้ำตัวอย่างและดูจากแถบสีมีความใกล้เคียงกันมาก ท่านเห็นด้วยหรือไม่ ถ้าจะรวมช่วงของแถบสีดังกล่าว และถ้าไม่เห็นด้วย ควรจัดช่วงของแถบสีอย่างไร

.....

.....

.....

.....

2. กรณีที่ค่า $DO_6 - DO_9$ เมื่อดูจากน้ำตัวอย่างและแถบสีมีความใกล้เคียงกันมาก ท่านเห็นด้วยหรือไม่ ถ้าจะรวมช่วงของแถบสีดังกล่าว และถ้าไม่เห็นด้วย ควรจัดช่วงของแถบสีอย่างไร

.....

.....

.....

.....

3. กรณีที่ค่า $DO_{10} - DO_{12}$ เป็นค่า DO ที่มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ 10 - 12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแหล่งน้ำตามธรรมชาติทั่วไป มีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่เกิน 9 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าจะตัดช่วง $DO_{10} - DO_{12}$ ออกจากแถบสี (ที่จะสร้างขึ้น) ท่านเห็นด้วยหรือไม่อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

4. การรวบช่วงของแถบสีดังกล่าว (ตามข้อ 1 - 3) ผิดหลักทฤษฎีหรือไม่อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

5. ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

.....

โรงเรียน ชื่อ สกุล
 ชั้น วันที่ เดือน พ.ศ.

ใบงาน

เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

จุดประสงค์

นักเรียนสามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นได้

อุปกรณ์

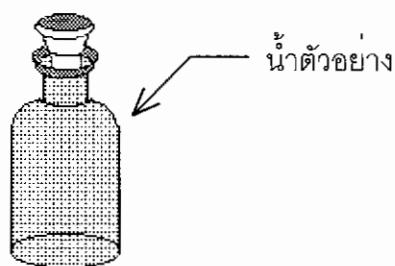
1. ขวด BOD ขนาด 300 ml
2. บีกเกอร์
3. กระบอกฉีดยา
4. กระบอกตวง

สารเคมี

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
2. สารละลายอัลคาไล - ไฮโดรไดค์ - เอไซด์
3. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

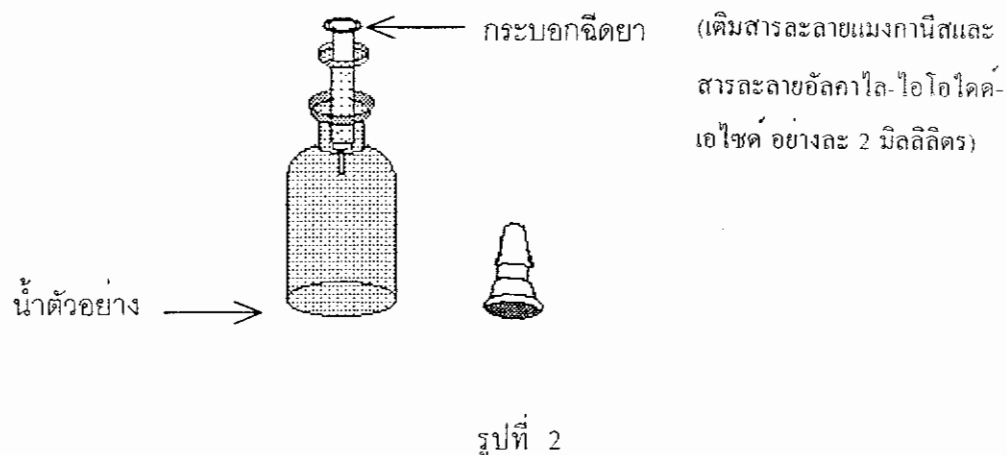
วิธีทดลอง

1. เติมน้ำตัวอย่างที่จะทำการตรวจสอบคุณภาพลงในขวด BOD ให้เต็ม และปล่อยให้
 ล้นคอขวดออกมา ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ ดังรูปที่ 1



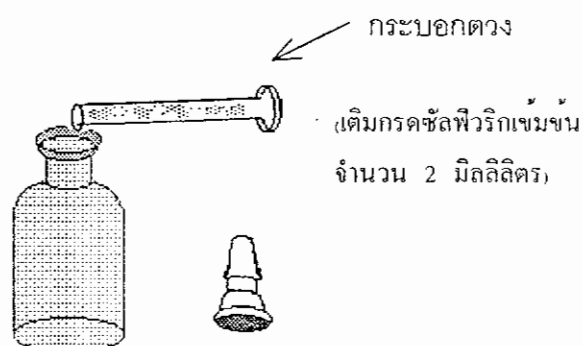
รูปที่ 1 ขวด BOD ที่มีน้ำอยู่เต็ม

2. คูณสารละลายแมงกานีสซัลเฟต จำนวน 2 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกจีดยาเติมลงในขวด BOD โดยให้ปลายกระบอกจีดอยู่ใต้ผิวน้ำตัวอย่างในขวด BOD ดังรูปที่ 2 และเติมสารละลายอัลคาไล - ไอโอไดค์ - เอไซด์ จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมลงในขวด BOD ของน้ำตัวอย่างในลักษณะเดียวกัน

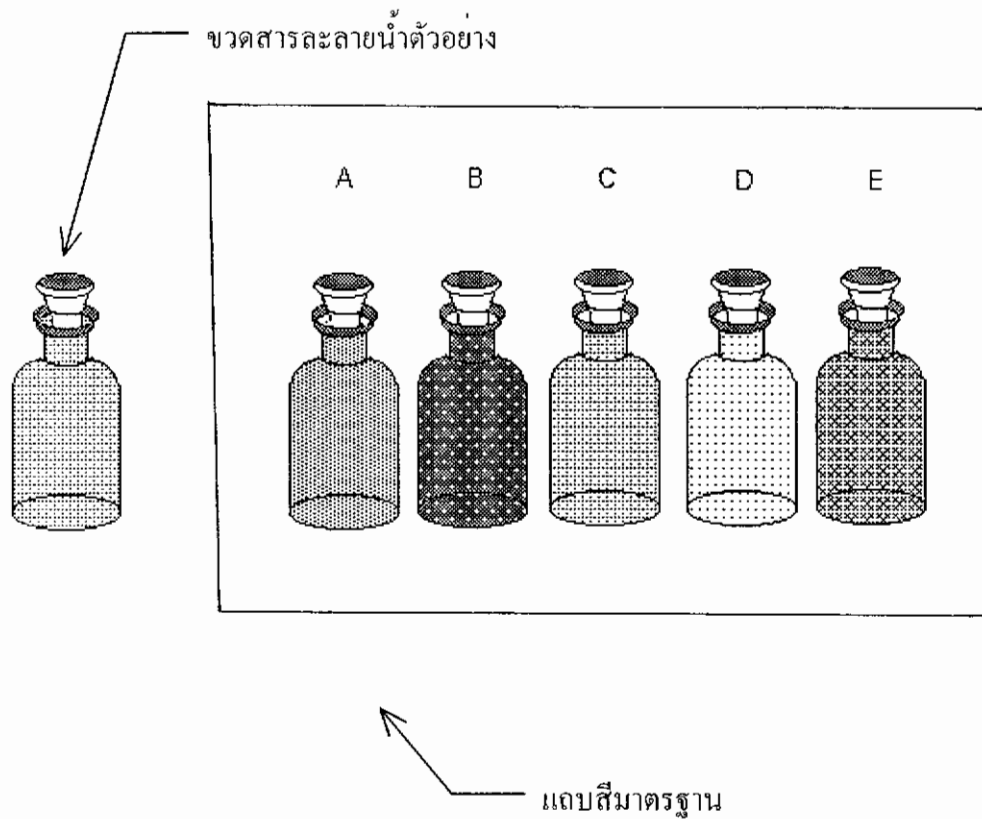


3. ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง ระมัดระวังห้ามไม่ให้ฝาขวดหลุดระหว่างการเขย่า ผลที่สังเกตได้ คือ จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล ปล่อยให้ตะกอนนอนก้นสักครู่ (ถ้าเกิดตะกอนสีขาวแสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลายอยู่)

4. เปิดจุกขวดออกแล้วตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 2 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวง โดยปล่อยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปข้างๆ คอขวด และให้ปากกระบอกตวงอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุกให้แน่นสนิท เขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ดังรูปที่ 3



5. นำขวดสารละลายที่ได้ในข้อ 4 ไปเปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น เพื่อดูว่าสีของสารละลายในขวดมีความเข้มข้นของสีตรงกับแถบสีใด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4

หมายเหตุ จุดที่ทำการเปรียบเทียบสีควรมีแสงสว่างเพียงพอ และควรใช้กระดาษสีขาวบังหลังขวด เพื่อให้สีปรากฏชัดเจนมากขึ้น

6. การแปลผลการวัดแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

นำผลแถบสีมาตรฐานที่อ่านค่าได้เปรียบเทียบกับตารางการแปลผลและบันทึกผลที่ได้ลงในตารางการบันทึกผลการทดลอง

ตารางการแปลผล

แถบสี	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับคุณภาพของน้ำ
A	0 - 2	น้ำเสียมาก อันตรายสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในน้ำ
B	3	น้ำเสียปานกลาง ในระดับนิเวศน์วิทยาต้องบำบัด
C	4	ยังไม่เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำบางชนิด
D	5	เหมาะสำหรับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำทุกชนิด
E	6 - 9	อุปโลก บริโภคได้ โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติ

7 นำผลที่ได้บันทึกลงในตาราง

ตารางบันทึกผลการเปรียบเทียบสีของสารละลายน้ำตัวอย่างกับสีของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

น้ำตัวอย่างหมายเลข	แถบสี	การแปลผลจากการทดลอง	
		ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระดับคุณภาพของน้ำ
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

8. ทำการทดลองกับขวดน้ำตัวอย่างหมายเลขอื่น ๆ ในลักษณะเดียวกัน

9. สรุปผลการทดลอง

น้ำตัวอย่างที่ 1 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำประมาณ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดได้ว่าน้ำตัวอย่างดังกล่าวมีคุณภาพของน้ำอยู่ในระดับ

น้ำตัวอย่างที่ 2 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำประมาณ มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดได้ว่าน้ำตัวอย่างดังกล่าวมีคุณภาพของน้ำอยู่ในระดับ

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์ค่า DO ของน้ำด้วยวิธี Azide Modification

วิธีวิเคราะห์ค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

เงื่อนไขในการอัปเดตภาพถ่ายของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ตาราง 8 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 1

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	5.00	5
2	5.00	5
3	5.03	5
4	5.05	5
5	5.02	5
6	5.00	5
7	5.01	5
8	5.00	5
9	5.02	5
10	5.04	5
11	5.01	5
12	5.03	5
13	5.01	5
14	5.02	5
15	5.04	5
16	5.03	5
17	5.02	5
18	5.01	5
19	5.04	5
20	5.05	5
เฉลี่ย	5.02	5

ตาราง 9 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 2

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	7.00	7
2	7.00	7
3	7.02	7
4	7.00	7
5	7.00	7
6	7.01	7
7	7.02	7
8	7.00	7
9	7.01	7
10	7.00	7
11	7.02	7
12	7.01	7
13	7.02	7
14	7.01	7
15	7.02	7
16	7.00	7
17	7.02	7
18	7.01	7
19	7.02	7
20	7.01	7
เฉลี่ย	7.01	7

ตาราง 10 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 3

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	4.02	4
2	4.00	4
3	4.01	4
4	4.00	4
5	4.02	4
6	4.00	4
7	4.02	4
8	7.01	4
9	4.02	4
10	4.00	4
11	4.01	4
12	4.02	4
13	4.02	4
14	4.00	4
15	4.00	4
16	4.02	4
17	4.01	4
18	4.00	4
19	4.02	4
20	4.02	4
เฉลี่ย	4.01	4

ตาราง II แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 4

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	7.00	7
2	7.00	7
3	7.02	7
4	7.01	7
5	7.00	7
6	7.04	7
7	7.02	7
8	6.98	7
9	7.04	7
10	7.03	7
11	7.00	7
12	7.00	7
13	7.01	7
14	7.00	7
15	7.02	7
16	7.00	7
17	7.00	7
18	7.03	7
19	7.00	7
20	7.01	7
เฉลี่ย	7.01	7

ตาราง 12 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 5

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	5.03	5
2	5.00	5
3	5.09	5
4	5.00	5
5	5.00	5
6	5.02	5
7	5.00	5
8	5.00	5
9	5.01	5
10	5.00	5
11	5.00	5
12	5.00	5
13	5.01	5
14	5.02	5
15	5.00	5
16	5.00	5
17	5.00	5
18	5.01	5
19	5.00	5
20	5.00	5
เฉลี่ย	5.01	5

ตาราง 13 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 6

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	3.02	3
2	3.01	3
3	3.00	3
4	3.02	3
5	3.00	3
6	3.01	3
7	3.02	3
8	3.02	3
9	3.01	3
10	3.00	3
11	3.00	3
12	3.04	3
13	3.03	3
14	3.00	3
15	3.04	3
16	3.00	3
17	3.01	3
18	3.01	3
19	3.03	3
20	3.00	3
เฉลี่ย	3.01	3

ตาราง 14 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 7

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	1.00	1
2	1.00	1
3	1.04	1
4	1.01	1
5	1.02	1
6	1.01	1
7	1.03	1
8	1.03	1
9	1.02	1
10	1.00	1
11	1.03	1
12	1.04	1
13	1.00	1
14	1.04	1
15	1.02	1
16	1.01	1
17	1.00	1
18	1.02	1
19	1.03	1
20	1.00	1
เฉลี่ย	1.01	1

ตาราง 15 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 8

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	4.02	4
2	4.04	4
3	4.00	4
4	4.01	4
5	4.01	4
6	4.00	4
7	4.05	4
8	4.01	4
9	4.00	4
10	4.01	4
11	4.00	4
12	4.02	4
13	4.03	4
14	4.01	4
15	4.00	4
16	4.02	4
17	4.00	4
18	4.01	4
19	4.03	4
20	4.02	4
เฉลี่ย	4.01	4

ตาราง 16 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 9

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	3.00	3
2	3.00	3
3	3.04	3
4	3.00	3
5	3.03	3
6	3.00	3
7	3.00	3
8	3.01	3
9	3.00	3
10	3.02	3
11	3.00	3
12	3.04	3
13	3.03	3
14	3.02	3
15	3.00	3
16	3.01	3
17	3.01	3
18	3.00	3
19	3.04	3
20	3.00	3
เฉลี่ย	3.01	3

ตาราง 17 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน และวัดโดยแถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้นของน้ำตัวอย่างที่ 10

ครั้งที่	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่วัดโดยแถบ สีมาตรฐานที่สร้างขึ้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	1.02	1
2	1.00	1
3	1.00	1
4	1.03	1
5	1.04	1
6	1.02	1
7	1.00	1
8	1.02	1
9	1.01	1
10	1.00	1
11	1.05	1
12	1.03	1
13	1.00	1
14	1.03	1
15	1.02	1
16	1.04	1
17	1.03	1
18	1.00	1
19	1.00	1
20	1.02	1
เฉลี่ย	1.01	1

ตาราง 18 แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น และค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	ค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัด โดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน	ค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น
1	5.02	5
2	7.01	7
3	4.01	4
4	7.00	7
5	5.00	5
6	3.01	3
7	1.02	1
8	4.01	4
9	3.00	3
10	1.02	1

ตาราง 19 แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานและวัดโดยใช้
แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง โดยวิธีจัดอันดับที่

น้ำตัวอย่างที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
อันดับที่จาก การวัดค่า DO ของน้ำ	วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน	8	10	5.5	9	7	4	1.5	5.5	3	1.5
	วัดโดยใช้แถบสี มาตรฐานที่สร้างขึ้น	7.5	9.5	5.5	9.5	7.5	3.5	1.5	5.5	3.5	1.5

ตาราง 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO (อันดับที่) จากการวัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน และแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ในน้ำตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง	อันดับที่จาก		$D = R_x - R_y$	D^2
	ค่า DO ของน้ำ ที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐาน	ค่า DO ของน้ำที่วัด โดยใช้แถบสีมาตรฐาน ที่สร้างขึ้น		
1	8	7.5	0.5	0.25
2	10	9.5	0.5	0.25
3	5.5	5.5	0.0	0
4	9	9.5	-0.5	0.25
5	7	7.5	-0.5	0.25
6	4	3.5	0.5	0.25
7	1.5	1.5	0	0
8	5.5	5.5	0	0
9	3	3.5	-0.5	0.25
10	1.5	1.5	0	0
N	$\sum R_x = 55$	$\sum R_y = 55$	$\sum D = 0$	$\sum D^2 = 1.5$

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2-1)} \\
 &= 1 - \frac{6(1.5)}{10(100-1)} \\
 &= 1 - \frac{9}{990} \\
 &= 0.99
 \end{aligned}$$

การทดสอบนัยสำคัญของ ρ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } t &= \rho \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \\
 &= \frac{0.99\sqrt{10-2}}{\sqrt{1-(0.99)^2}} \\
 &= \frac{0.99(2.83)}{\sqrt{0.0199}} \\
 &= \frac{2.80}{0.1410} \\
 &= 19.85
 \end{aligned}$$

ตาราง 21 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียนเป็นผู้วัด
 ในน้ำตัวอย่าง (1-4) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี

นักเรียน ทำการวัดค่า DO ที่	ค่า DO ของ น้ำประปา (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่ถังบำบัด ครูโรงเรียนโพธิ์ไทรวิทย การ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง ที่เตรียมขึ้น (1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง ที่เตรียมขึ้น (2) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	7	3	1	1
2	7	3	1	1
3	5	3	1	1
4	7	3	1	1
5	7	3	1	1
6	7	3	1	1
7	7	3	1	1
8	7	3	1	1
9	7	3	1	1
10	5	3	1	1
11	7	3	1	1
12	7	3	1	1
13	7	3	1	1
14	7	3	1	1
15	7	3	1	1
16	5	3	1	1
17	7	3	1	1
18	7	3	1	1
19	7	3	1	1
20	7	3	1	1

ตาราง 21 (ต่อ)

นักเรียน ทำการวัดค่า DO คนที่	ค่า DO ของ น้ำประปา (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่โรงงานพัก ครูโรงเรียนโพธิ์ไทรพิทย การ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง ที่เตรียมขึ้น (1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่างที่ เตรียมขึ้น (2) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
21	7	3	1	1
22	7	3	1	1
23	7	3	1	1
24	7	3	1	1
25	7	3	1	1
26	7	3	1	1
27	7	3	1	1
28	7	3	1	1
29	7	3	1	1
30	7	3	1	1
มาตรฐาน	7.38	3	1	1

ตาราง 22 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียนเป็นผู้วัด
 ในน้ำตัวอย่าง (5-8) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี

นักเรียน ทำการวัดค่า DO คนที่	ค่า DO ของน้ำที่ ประภาณห้วยสุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่งบน พักรูโรเรียนโพธิ์ไทร พิทยการ + น้ำประปา (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำสระ ป่า (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่าง ที่เตรียมขึ้น (1) + น้ำ ชลประภาณห้วยสุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	5	4	5	3
2	5	4	5	3
3	5	4	5	3
4	5	4	5	3
5	5	4	5	3
6	5	4	5	3
7	5	5	5	3
8	7	4	5	3
9	5	4	5	3
10	5	4	4	3
11	5	4	5	3
12	5	4	5	3
13	5	4	5	3
14	5	4	5	3
15	5	4	4	3
16	5	4	5	3
17	5	4	5	3
18	5	4	5	3
19	5	4	5	3
20	5	4	5	3

ตาราง 22 (ต่อ)

นักเรียน ทำการวัดค่า DO คนที่	ค่า DO ของน้ำชล ประทานห้วยตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำที่งาน พักครูโรงเรียนโพธิ์ไทร พิทยาคาร + น้ำประปา (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำสระ ป่งป่า (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำตัวอย่างที่ เตรียมขึ้น (1) + น้ำชล ประทานห้วยตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
21	5	4	5	3
22	7	4	5	3
23	5	4	5	3
24	5	4	4	3
25	5	4	5	3
26	5	4	5	3
27	5	4	5	3
28	5	4	5	3
29	5	4	5	3
30	5	4	5	3
มัธยฐาน	5.57	4.017	4.94	3

ตาราง 23 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่นักเรียนเป็นผู้วัด
 ในน้ำตัวอย่าง (9-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี

นักเรียนทำการ วัดค่า DO คนที่	ค่า DO ของ น้ำกลั่น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำสระอุท ทยานการศึกษาโรงเรียนโพธิ์ ไทรพิทยาคาร + น้ำตัวอย่างที่เตรียมกัน (1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำ โพธิ์ไทร อำเภอโพธิ์ไทร (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำประปา + น้ำ ตัวอย่างที่เตรียมกัน (2) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1	7	4	7	4
2	7	4	7	4
3	7	4	7	4
4	7	4	7	4
5	7	4	7	4
6	7	5	7	4
7	7	4	7	4
8	7	4	7	4
9	7	4	7	5
10	7	4	7	4
11	7	4	7	4
12	7	4	7	4
13	7	4	7	4
14	7	4	7	4
15	7	4	7	4
16	7	4	7	4
17	7	4	7	4
18	7	4	7	4
19	7	4	7	4
20	7	5	7	4

ตาราง 23 (ต่อ)

นักเรียนทำการ วัดค่า DO ณที่	ค่า DO ของ น้ำกลั่น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำระอุที่ สถานการศึกษาโรงเรียนโพธิ์ ไทรพิทยาคาร + น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (1) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำ โพธิ์ไทร อำเภอโพธิ์ไทร (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่า DO ของน้ำประปา + น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (2) (มิลลิกรัมต่อลิตร)
21	7	4	7	5
22	7	4	7	4
23	7	4	7	4
24	7	4	7	4
25	7	4	7	4
26	7	4	7	4
27	7	4	7	4
28	7	4	7	4
29	7	4	7	4
30	7	4	7	4
มัธยฐาน	7	4.035	7	4.035

ตาราง 24 แสดงผลการวัดค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครูเป็นผู้วัด (ผู้วิจัย)
 ในน้ำตัวอย่าง (1-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี

น้ำตัวอย่าง	ค่า DO ของน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1. น้ำประปา	7
2. น้ำทิ้งของบ้านพักครูโรงเรียนโพธิ์ไทร พิทยาคาร	3
3. น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (1)	1
4. น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (2)	1
5. น้ำชลประทานห้วยสุ	5
6. น้ำทิ้งของบ้านพักครูโรงเรียนโพธิ์ไทร พิทยาคาร + น้ำประปา	4
7. น้ำสระป่งเป้า	5
8. น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (1) + น้ำชลประทานห้วยสุ	3
9. น้ำกลั่น	7
10. น้ำสระอุทยานการศึกษาโรงเรียนโพธิ์ไทร พิทยาคาร + น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (1)	4
11. น้ำโพรลิสอำเภอโพธิ์ไทร	7
12. น้ำประปา + น้ำตัวอย่างที่เตรียมขึ้น (2)	4

ตาราง 25 แสดงค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครูเป็นผู้วัดกับ
นักเรียนเป็นผู้วัด ในน้ำตัวอย่าง (1-12) ภายในอำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี

น้ำตัวอย่างที่	ค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัด โดยครู	ค่ามัธยฐานของค่า DO ของน้ำที่วัด โดยนักเรียน
1	7	7.38
2	3	3
3	1	1
4	1	1
5	5	5.27
6	4	4.017
7	5	4.94
8	3	3
9	7	7
10	4	4.035
11	7	7
12	4	4.035

ตาราง 26 แสดงค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่ครูเป็นวัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด ในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง โดยวิธีจัดอันดับที่

น้ำตัวอย่างที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
อันดับที่จาก	วัดโดยครู	11	3.5	1.5	1.5	8.5	6	8.5	3.5	11	6	11	6
การวัดค่า													
DO ของน้ำ	วัดโดยนักเรียน	12	3.5	1.5	1.5	9	5	8	3.5	10.5	6.5	10.5	6.5

ตาราง 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO (อันดับที่) จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐาน
ที่สร้างขึ้น ที่ครูเป็นผู้วัดกับนักเรียนเป็นผู้วัด ในน้ำตัวอย่าง 12 ตัวอย่าง

น้ำตัวอย่าง ที่	อันดับที่จาก		$D = R_X - R_Y$	D^2
	ค่า DO ของน้ำ ที่ครูเป็นผู้วัด	ค่า DO ของน้ำ ที่นักเรียนเป็นผู้วัด		
1	11	12	-1	1
2	3.5	3.5	0	0
3	1.5	1.5	0	0
4	1.5	1.5	0	0
5	8.5	9	-0.5	0.25
6	6	5	1	1
7	8.5	8	0.5	0.25
8	3.5	3.5	0	0
9	11	10.5	0.5	0.25
10	6	6.5	-0.5	0.25
11	11	10.5	0.5	0.25
12	6	6.5	-0.5	0.25
N	$\sum R_X = 78$	$\sum R_Y = 78$	$\sum D = 0$	$\sum D^2 = 3.5$

จากสูตร

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1 - \frac{6\sum D^2}{N(N^2-1)} \\
 &= 1 - \frac{6(3.5)}{124(144-1)} \\
 &= 1 - \frac{21}{1716} \\
 &= 1 - 0.012 \\
 &= 0.988
 \end{aligned}$$

การทดสอบนัยสำคัญของ ρ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } t &= \rho \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \\
 &= \frac{0.988\sqrt{12-2}}{\sqrt{1-(0.988)^2}} \\
 &= \frac{0.988(3.16)}{\sqrt{0.02}} \\
 &= \frac{3.12}{0.1410} \\
 &= 22.065
 \end{aligned}$$

วิธีวิเคราะห์ค่า DO ของน้ำด้วยวิธี Azide Modification

1. เติมน้ำตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ลงในขวด BOD ให้เต็ม โดยปล่อยน้ำให้ล้นพ้นคอขวด ออกมาสักพัก ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ สำหรับน้ำตัวอย่างซึ่งเก็บจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ เป็นต้น ถ้าเก็บบริเวณผิวน้ำให้คว่ำขวดบีโอดีแล้วกดให้จมลงใต้น้ำค่อย ๆ เียงขวดขึ้นให้น้ำไหลเข้าขวดแทนที่อากาศจนเต็มขวด ยกขึ้นเหนือผิวน้ำ ถ้าเก็บบริเวณใต้น้ำลึก ๆ จะต้องใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำพิเศษสำหรับ DO โดยเฉพาะ

2. ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลายอยู่)

3. เปิดจุกออกแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงตามข้าง ๆ คอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน โดยการกลับขวดไปมา จนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งไว้ 5 นาที ก่อนนำไปไทเทรต สารละลายน้ำจะเก็บไว้ได้ 2 ชั่วโมง

4. คำนวณปริมาตรของตัวอย่างที่จะใช้ในการไทเทรตโดยยึดถือปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่าง 200 มล. เป็นหลัก นั่นคือ ถ้าขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร และเติมแมงกานีสซัลเฟตและอัลคาไล-ไฮไดรด์-เอไซด์ อย่างละ 2 มิลลิลิตร รวมเป็น 4 มิลลิลิตร ปริมาตรที่จะต้องนำมาไทเทรตจะเป็น $(200 \times 300) / (300 - 4) = 203$ มิลลิลิตร ดังนั้น จึงต้องดวงสารละลายตัวอย่าง 203 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยเพื่อนำไปไทเทรต

5. ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วย โซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองเริ่มจางลง (สีฟางข้าว) เติมน้ำแ่ง 1 มิลลิลิตร จะได้สีน้ำเงิน ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป

การคำนวณ

เนื่องจาก 1 มิลลิลิตร ของโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล สมมูลกับออกซิเจนละลาย 0.200 มิลลิกรัม ดังนั้น แต่ละมล.ของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้จะสมมูลกับออกซิเจนละลาย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปริมาตรของตัวอย่างเริ่มต้น 200 มิลลิลิตร เช่น เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตในการไทเทรต 5.0 มิลลิลิตร น้ำตัวอย่างจะมีออกซิเจนละลาย 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีวิเคราะห์ค่า DO ของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

1. นำน้ำที่จะวิเคราะห์เติมลงในขวด BOD ให้เต็มโดยปล่อยน้ำให้ล้นพ้นคอขวดออกมาเล็กน้อย
2. เติมสารละลาย MnSO_4 2 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไลด์-ไฮโดรคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวของน้ำตัวอย่างในขวด BOD
3. ปิดจุกขวดระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรงโดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง จะเกิดตะกอนสีน้ำตาลปล่อยให้ตกตะกอน (ถ้าเกิดตะกอนสีขาว แสดงว่าน้ำตัวอย่างไม่มีออกซิเจนละลายอยู่)
4. เปิดจุกออกแล้วเติม H_2SO_4 เข้มข้น 2.0 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อย ๆ ไหลลงตามข้าง ๆ คอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวน้ำ ปิดจุก เขย่าให้เข้ากัน โดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที
5. นำแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น มาเทียบสีกับสีของน้ำในขวด BOD ก็จะทราบ DO ของน้ำว่ามีค่าเท่าไร

เงื่อนไขในการอัดขยายภาพของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องอัดขยายภาพ รุ่น COPAL ML - 7050 กระดาษ Kodak Royal Paper, ฟิล์ม Kodak Gold 200 (GB 200 - CH 32)

Density ที่ใช้ในการอัดขยายภาพของแต่ละ DO อัดขยายภาพ Density ดังต่อไปนี้

Density	F	E	D	C	B	A	N	+1	+2	+3	+4	+5	+6
ค่า DO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

กรณีที่จะนำฟิล์มไปอัดขยายภาพของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นไปอัดขยายภาพกับเครื่องอื่น ๆ ที่ไม่ใช่รุ่น COPAL ML - 7050 สามารถทำได้โดยให้อัดขยายภาพของแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น ภาพใดภาพหนึ่งเป็นเกณฑ์ แล้วทำการ test สีของภาพอื่น ๆ ให้ตรงกับค่า DO นั้น ๆ ในแถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น โดยให้เพิ่ม density หรือลด density ในการอัดขยายจากภาพที่เป็นเกณฑ์

ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ เบาใจ ภาควิชาเทคโนโลยีทางการศึกษา
คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
3. อาจารย์วราดุล นัฏรทอง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขงยุทธ ดันทุลเวสส ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
5. อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสภณา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/ ๖๔๕ วันที่ ๖ กุมภาพันธ์ 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์

เนื่องจาก นางสาวสุตาพร ตั้งควนิช นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างแบบสัมภาษณ์ในการวัด
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บงยุทธ ตันสกุลเวสส ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เบาลือ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่นิสิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/ 1746 วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องจาก นางสาวสุดาพร ตั้งควนิช นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัด
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันกุลเวสส์ ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ ศรีไพโรจน์ และ อาจารย์สุภาภรณ์ ศิริโสมภา
เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/ 1116 วันที่ ๕ มีนาคม 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องจาก นางสาวสุภาพร ตั้งควนิช นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดปริมาณ
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันกุลเวสส์

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอเชิญ อาจารย์วรากล นัทรทอง เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในครั้งนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลมรณ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 5644

ที่ ทม 1007/๒๒๑๖ วันที่ ๑) กุมภาพันธ์ 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ฝ่ายมัธยม)

เนื่องจาก นางสาวสุตาพร ตั้งควนิช นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัด
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตัณฑุลเวสส ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย กรรมการ

มีความประสงค์จะขอให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/3 เป็นกลุ่มตัวอย่างในการหาประสิทธิภาพของ
เครื่องมือการวิจัย ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในเรื่องนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่กนิสิตผู้นี้

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ ทบ 1007/111

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

11 กุมภาพันธ์ 2541

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนโพธิ์โพธิ์พิทยาคาร

เนื่องจาก นางสาวสุตาพร ตั้งควนิช นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างแบบสัมภาษณ์ในการวัด
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ" ทั้งนี้อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ตันกุลเวสส

ประธาน

รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรร วงษ์อยู่น้อย

กรรมการ

มีความประสงค์จะขอใช้สถานที่ และให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 16 คน ทดลองใช้แบบสัมภาษณ์
มาตรฐานที่สร้างขึ้น ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2541 เพื่อเป็นข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัยจึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ในครั้งนี้ด้วย และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ
อนุเคราะห์ที่ท่านจะให้แก่บัณฑิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 2584119

ภาคผนวก ง

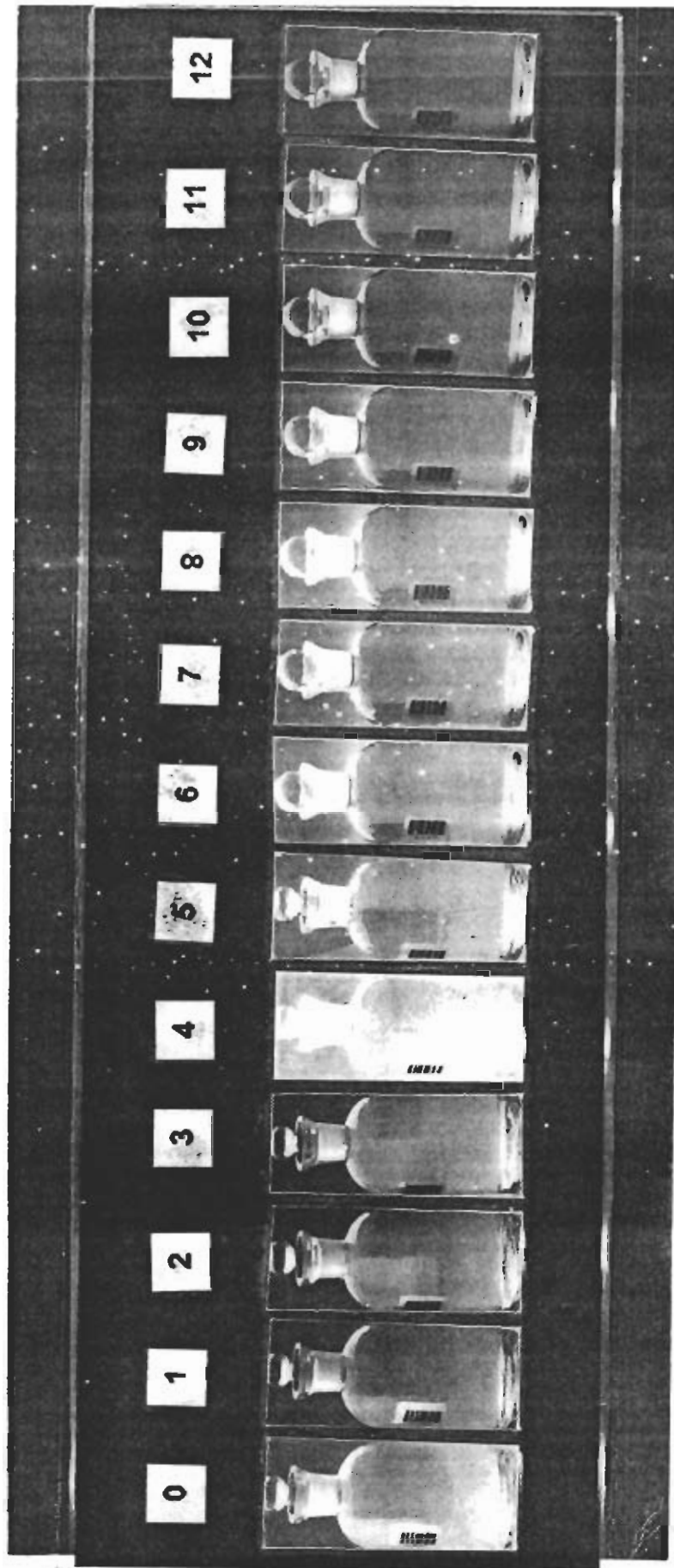
แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นของ $DO_0 - DO_{12}$

แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสำหรับนำไปเก็บข้อมูลการวิจัย

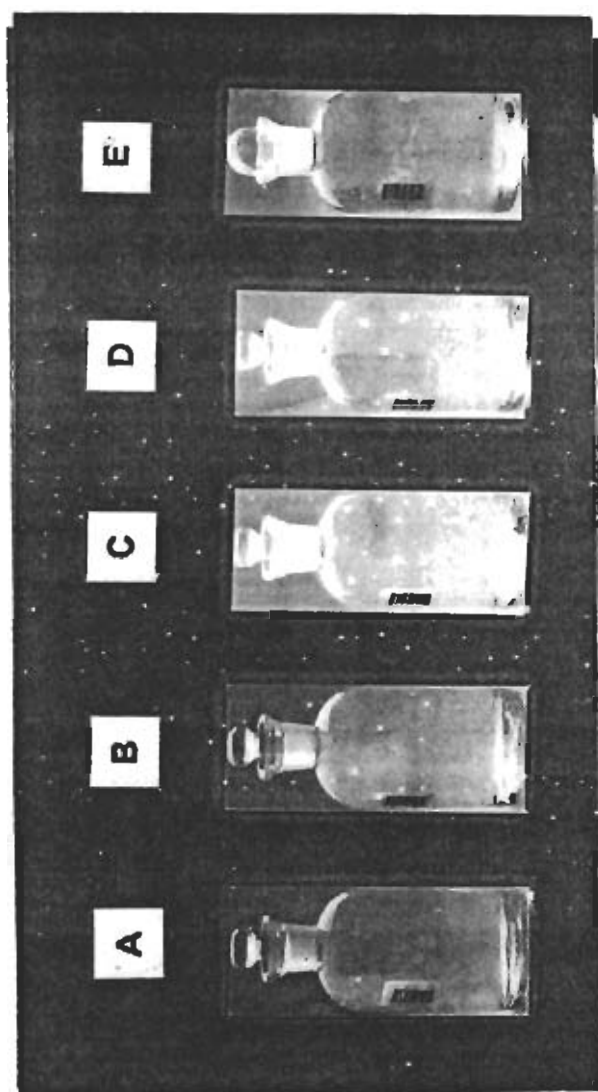
การตรวจสอบคุณภาพของแถบสีโดยผู้เชี่ยวชาญ

การทดลองวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน

การตรวจสอบคุณภาพของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยนักเรียน



แถบฟิล์มมาตรฐานที่สร้างกับของค่า DO_0 - DO_{12}



แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสำหรับนำไปเก็บข้อมูลการวิจัย



การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดโดยผู้เชี่ยวชาญ



การทดลองวัดค่า DO ของน้ำโดยนักเรียน



การตรวจสอบคุณภาพของน้ำโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นโดยนักเรียน

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวสุดาพร ตั้งควนิช
เกิดวันที่	14 มกราคม 2516
สถานที่เกิด	อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	โรงเรียนพังโคนพิทยาคม ตำบลพังโคน กิ่งอำเภอนาคู จังหวัดอุบลราชธานี 34340
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ 1 ระดับ 3
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนพังโคนพิทยาคม ตำบลพังโคน กิ่งอำเภอนาคู จังหวัดอุบลราชธานี 34170
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2530	มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร อำเภอโพธิ์ไทร จังหวัดอุบลราชธานี
พ.ศ. 2533	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนนารีนุกูล อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี
พ.ศ. 2538	วท.บ. (เคมี) จากสถาบันราชภัฏอุบลราชธานี
พ.ศ. 2541	กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา - เคมี) จากมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

การสร้างแบบสีมาตรฐานในการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)

บทคัดย่อ

ของ

สุดาพร ตั้งควนิช

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา

พฤษภาคม 2541

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างแถบสีมาตรฐานในการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) โดยอาศัยหลักการที่สารละลายแมงกานีส (II) รีดิวซ์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำตอนเริ่มต้นจะสมมูลกับปริมาณของสีของสารละลายไอโอดีนที่เพิ่มขึ้น

ผลการวิจัย พบว่า แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น 5 แถบ สามารถวัดค่า DO ของน้ำได้ในช่วง $DO_0 - DO_9$ โดยแถบสี A วัดค่าในช่วง $DO_0 - DO_2$ มีตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_1 แถบสี B วัดค่า DO_3 แถบสี C วัดค่า DO_4 แถบสี D วัดค่า DO_5 และแถบสี E วัดค่าในช่วง $DO_6 - DO_9$ มีตัวแทนของกลุ่มเป็น DO_7 เมื่อนำแถบสีทั้ง 5 แถบสีที่สร้างขึ้น (A - E) ไปทดสอบวัดค่า DO ของน้ำเปรียบเทียบกับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยเครื่องวัด DO มาตรฐาน พบว่า ค่า DO ของน้ำที่ได้จากการวัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นสามารถประมาณค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานได้ถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้น กับค่า DO ของน้ำที่วัดโดยใช้เครื่องวัด DO มาตรฐานเท่ากับ 0.99 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p = .99, r = 19.85$) สำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของค่า DO ของน้ำ เมื่อใช้แถบสีมาตรฐานที่สร้างขึ้นที่วัดโดยครูเป็นผู้วัดกับที่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เป็นผู้วัด มีค่าเท่ากับ 0.99 ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 ($p = .99, r = 22.07$)

**A CONSTRUCTION OF THE STANDARDIZED COLOR STRIPS FOR
MEASUREMENT OF DISSOLVED OXYGEN**

**AN ABSTRACT
BY
SUDAPORN TANGKAWANIT**

**Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Education degree in Science Education
at Srinakharinwirot University**

May 1998

The purpose of this research was to construct Standardized Color Strips for measurement of Dissolved Oxygen (DO). The researcher made the Procedure by using manganese (II) to reduce Oxygen content that dissolved in water. The initial Oxygen content in water (DO) was equivalent with increasing color of iodine content solution.

The result of this study revealed that five representative bands of Standardized Color Strips were able to measure DO of water in the range of DO_0 - DO_9 ; color strip A measuring in the range of DO_0 - DO_2 , having representative of the group as DO_1 ; color strip B measuring as DO_3 ; color strip C measuring as DO_4 ; color strip D measuring as DO_5 ; color strip E measuring in the range of DO_6 - DO_9 , having representative of the groups as DO_7 .

When using five bands of Standardized Color Strips (A - E) to measure DO of water compared with the value of measuring DO of water measured by Standardized Color Strips and Standardized DO form Oxygen Meter, it was found that the value of DO of water measured by Standardized Color Strips Could be estimated accurately at 99% confidence interval. The Spearman rank order correlation coefficient between the value of DO of water measured by Standardized Color Strips and the value of DO of water measured by Standardized DO form Oxygen Meter was at 0.99 which was Considered as a positive correlation at 5% significance level ($\rho = 0.99, t = 19.85$). In this regard, it was also found that The Spearman rank order correlation coefficient of DO of water measured by Standardized Color Strips by a teacher and students of Matayom Suka I was at 0.99 which was a positive correlation at 5% significance ($\rho = 0.99, t = 22.07$)