โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 11/2554

เรื่อง

การเปรียบเทียบการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ

Compare aeration through porous pipe with 3 models

โดย

นายชญาณโรจน์ เหรียญทอง

นายสุชล ด้วงเงิน

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมโยธา – ชลประทาน)

พุทธศักราช 2554

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง : การเปรียบเทียบการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ

Compare aeration through porous pipe with 3 models

นามผู้ทำโครงการ : นายชญาณโรจน์ เหรียญทอง

นายสุชล ด้วงเงิน

ได้รับพิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(อ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์)

...../...../.....

กรรมการ .....

(อ.วรพจน์ ศตเดชากุล)

...../...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....

(รศ.สันติ ทองพำนัก)

...../...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง : การเปรียบเทียบการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ

โดย : นายชญาณโรจน์ เหรียญทอง
นายสุชล ด้วงเงิน

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : .....
(อ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์)
...../...../.....

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการประเมินรูปแบบการติดตั้งสายยางเติมอากาศต่อการบำบัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบการติดตั้งสายยางเติมอากาศกับค่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ติดตั้งสายยางเติมอากาศเป็นขดวงกลม รูปแบบที่ 2 ติดตั้งสายยางเติมอากาศแบบแนวนอน และ รูปแบบที่ 3 ติดตั้งสายยางเติมอากาศแบบแนวตั้ง โดยทั้ง 3 รูปแบบได้ออกแบบการทดลองโดยใช้สายยางเติมอากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร ยาว 1.80 เมตร ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของลมเท่ากับ 3.180 , 3.975 และ 4.770 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากการศึกษาพบว่าค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกประมาณ 5 นาทีแรกจากนั้นค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำจะเริ่มคงที่โดยที่ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ได้ในแต่ละรูปแบบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณอากาศที่เติมผ่านหัวเติมอากาศเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ที่ได้จากหัวเติมอากาศแบบขนานแนวนอนมีค่ามากที่สุด ตามด้วยหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง และแบบขดวงกลม ตามลำดับ

ABSTRACT

Title : Compare aeration through porous pipe with 3 models

By : **Mr.Chayanroj Rhienthong**

Mr.Suchon Duang-ngern

Project Advisor : **.....**

(Dr.Somchai Donjadee)

...../...../.....

This project assessed an installed pattern of a porous pipe for waste water treatment. The objective was to study the relationship between the installed patterns of porous pipe and dissolve oxygen. Three pattern of porous pipe were; pattern 1 is circular form, pattern 2 is horizontal form and pattern 3 is vertical form. These three patterns were designed using a porous pipe with internal diameter 16 mm., length 1.80 m. The wind's discharges are 3.180, 3.975 and 4.770 cubic meters per second were use in this study. The dissolve oxygen increase during add the oxygen through the porous pipe. It was found that the dissolve oxygen increased rapidly during the first 5 minutes, and then the dissolve oxygen is constant. The dissolve oxygen increase when increasing the wind's discharge. However, this study found that the horizontal form is the best pattern followed by the vertical pattern form and a circular form respectively.

คำนิยม

โครงงานวิศวกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความสนับสนุนในด้านต่างๆ ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ อ.ดร.สมชาย ดอนเจดีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการดำเนินงานมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อ.วรพจน์ ศตเดชากุล กรรมการที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาด้านอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ บริษัทเจริญภัทรพานิช ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนในเรื่องสายยางเติมอากาศ

ขอขอบพระคุณ นายสุรพล เจริญชีพ บุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนคอยช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์ในการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงงานวิศวกรรมนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน ทั้งในด้านกำลังทรัพย์และกำลังใจ และขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆทุกท่านที่คอยช่วยเหลือในการทำโครงงานและเป็นกำลังใจให้จนทำให้โครงงานวิศวกรรมชลประทานนี่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายชญาณโรจน์ เหรียญทอง

นายสุชล ด้วงเงิน

เมษายน 2555

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
คำนิยม	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย	3
2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสายยางเติมอากาศ	9
2.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดความเร็วลม	9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	11
3.1 อุปกรณ์	11
3.2 สถานที่ทดลอง	15
3.3 วิธีการดำเนินการ	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในน้ำต่อเวลาเมื่อเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึม	21
4.2 ค่าSaturation Time กับอัตราการไหลของอากาศ	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	28
5.1 สรุปผล	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	ปั๊มลมโดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง	11
3.2	สายยางเติมอากาศของบริษัทเจริญภัทรพานิช	12
3.3	แผงควบคุมอัตราการไหล	12
3.4	สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร	12
3.5	เครื่อง DO meter	13
3.6	เครื่อง Anemometer	13
3.7	เวอร์เนียคาลิปเปอร์	14
3.8	นาฬิกาจับเวลา	14
3.9	ถังใส่น้ำเสียปริมาตร 200 ลิตร	14
3.10	ตัวอย่างน้ำเสียจากคลองระบายน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	15
3.11	สถานที่ทำการทดลอง	15
3.12	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	17
3.13	การติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศรูปแบบวงกลม	17
3.14	การติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศรูปแบบขนานแนวนอน	18
3.15	การติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศรูปแบบขนานแนวตั้ง	18
3.16	การใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์วัดขนาดของท่อลม	19
3.17	การวัดความเร็วลมโดยเครื่อง Anemometer	19
3.18	การบันทึกผลการทดลอง	20
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที	21
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที	22
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที	23
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขดวงกลม	24
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวนอน	25
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง	26
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saturation Time และ ค่าอัตราการไหลของอากาศ	27

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณภาพน้ำที่มีผลสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ 1

5.1 ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศกับค่า DO 27

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กรมโรงงานอุสาหกรรม (2545) กล่าวว่า ปัจจุบันปริมาณน้ำเสียจะมีมากขึ้นเป็นทวีคูณ สาเหตุเกิดจากการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร และชุมชน น้ำเสียจะส่งกลิ่นเหม็น สีดำคล้ำ และอาจมีสารเคมีที่มีพิษปนอยู่ด้วย เมื่อน้ำเสียไหลลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ทั่วบริเวณนั้นมีกลิ่นเหม็นทำให้อากาศที่หายใจเข้าไปไม่บริสุทธิ์เป็นอันตรายต่อสุขภาพและความเป็นอยู่ของผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น สัตว์น้ำที่อาศัยอยู่อาจตายได้หรืออพยพไปอยู่ที่อื่น

การเลือกรูปแบบของระบบการบำบัดน้ำเสียที่นับว่าเป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีประสิทธิภาพจึงควรมีการเลือกระบบบำบัดน้ำที่มีประสิทธิภาพและช่วยประหยัดพลังงาน ระบบบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีหลายระบบได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบบึงประดิษฐ์ ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ระบบคลองวนเวียน ระบบจานหมุนชีวภาพ และระบบบ่อเติมอากาศ โดยแต่ละระบบมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันไป

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศจัดเป็นระบบที่สามารถเติมอากาศได้สม่ำเสมอ มีค่าลงทุนต่ำและบำรุงรักษาง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น สายยางเติมอากาศประกอบด้วยรูขนาดเล็กจำนวนมากตลอดผนังของสายยาง โดยอากาศจะแทรกผ่านออกมาจากรูเล็กๆ เกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ช่วยให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มสูงขึ้น

โครงงานวิศวกรรมชลประทานนี้ จึงเป็นการเปรียบเทียบค่าDOที่ได้จากการเติมอากาศโดยอัดอากาศลงไปใต้น้ำโดยผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ

1.2.2 เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของสายยางเติมอากาศเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์เติมอากาศ

1.3 ขอบเขตของงาน

1.3.1 ทดสอบวัดค่า DO ที่ได้จากเครื่องเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศในระบบปิด (ถังน้ำเสีย 200 ลิตร)

1.3.2 ทำการทดสอบเครื่องเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศโดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากคลองระบายน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1.3.3 เปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ โดยใช้ความยาวของสายยางเติมอากาศรูปแบบละ 1.80 เมตร

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของน้ำเสีย(องค์การจัดการน้ำเสีย 2540)

การจำแนกแหล่งกำเนิดของน้ำเสีย ลักษณะของน้ำเสีย คุณภาพน้ำทิ้ง กฎหมายและพระราชบัญญัติที่บังคับใช้ มาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ควบคุมแหล่งกำเนิดน้ำเสียบางประเภท และหลักการจัดการน้ำเสียที่สำคัญ 5 ประการ ได้แก่

1. การรวบรวมน้ำเสีย (Collection)
2. การบำบัดน้ำเสีย (Treatment)
3. การกำจัดกากตะกอน (Sludge Disposal)
4. การนำกลับมาใช้ประโยชน์ (Reuse and Reclamation)
5. หลักการป้องกันภาวะมลพิษ (Pollution Prevention)

อย่างไรก็ตาม การจัดการน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น มีรายละเอียดและขอบเขตของเนื้อหาที่กว้างขวางมาก กอร์ปกับปัจจุบันได้มีการแข่งขันด้านการคิดค้นและพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่สูงและต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถรวบรวมรายละเอียดดังกล่าวไว้ในเอกสารฉบับนี้ได้ทั้งหมด แต่มีการกล่าวถึงเฉพาะหลักการที่สำคัญเพื่อให้ผู้อ่านใช้เป็นแนวทางในการค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไป

2.1.1 แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (องค์การจัดการน้ำเสีย 2540)

ในอดีตที่ผ่านมา บรรพบุรุษของเรานิยมตั้งบ้านเรือนอยู่ริมน้ำ มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าว เพื่อการอุปโภคและบริโภค และอาจจะระบายน้ำเสียที่เกิดขึ้นกลับลงสู่แหล่งน้ำ แต่คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำก็ยังไม่เสื่อมโทรมลงจนเห็นได้อย่างชัดเจนเหมือนในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสามารถปรับตัวได้ด้วยตัวเอง ทำให้สามารถรักษาระดับคุณภาพน้ำไม่ให้เสื่อมโทรมจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เหมือนปัจจุบัน

น้ำเสีย (Wastewater) ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปนและปนเปื้อนอยู่ในในของเหลวนั้น

แหล่งกำเนิดน้ำเสียแบ่งเป็น 4 ประเภท ใหญ่ ๆ ได้แก่

1. น้ำเสียจากชุมชน (Domestic Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน อาคาร ที่พักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน ร้านค้า อาคารสำนักงาน เป็นต้น น้ำเสียชุมชนนี้ส่วนมากจะมีสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และเป็นสาเหตุสำคัญของการทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง

2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมทุกขั้นตอนตั้งแต่การล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การล้างวัสดุอุปกรณ์และเครื่องจักรกล ตลอดจนการทำความสะอาดโรงงาน ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต รวมทั้งระบบควบคุมและบำรุงรักษา องค์ประกอบของน้ำเสียประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) สารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) อาทิ สารเคมี โลหะหนัก เป็นต้น

3. น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำ การใช้ปุ๋ย และสารเคมีต่างๆ ถ้าหากเป็นน้ำเสียจากพื้นที่เพาะปลูก จะพบสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียมและสารพิษต่างๆ ในปริมาณสูง แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากกิจการเลี้ยงสัตว์ จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

4. น้ำเสียที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิด (Nonpoint Source Wastewater) ได้แก่ น้ำฝน และน้ำหลากที่ไหลผ่านและชะล้างความสกปรกต่างๆ อาทิ กองขยะมูลฝอย แหล่งเก็บสารเคมี ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ และคลองระบายน้ำเสียต่างๆ แม้ว่าน้ำเสียประเภทนี้จะมีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนไม่สูงเหมือนกับน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ ข้างต้น แต่มักจะเกิดขึ้นพร้อมกันในปริมาณครั้งละมาก ๆ โดยเฉพาะประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในแถบศูนย์สูตร (Tropical Country) ซึ่งมีปริมาณฝนตกชุก ลักษณะของน้ำเสียขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ไหลผ่าน ซึ่งนอกจากจะมีผลต่อการปรับสภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำแล้ว ยังอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนได้ ปัจจุบันน้ำเสียประเภทนี้ยังไม่ได้รับความสนใจและการจัดการเท่าที่ควร ดังนั้นจึงควรมีมาตรการจัดการที่เหมาะสม และถูกต้องตามหลักวิชาการต่อไป

2.1.2 ลักษณะของน้ำเสีย (องค์การจัดการน้ำเสีย 2540)

สิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำและทำให้เกิดน้ำเสียนั้น เรียกว่า มลสาร (Pollutants) และสภาพการเปลี่ยนแปลงจากภาวะน้ำดีเป็นน้ำเสีย เรียกว่า ภาวะมลพิษ (Pollution) ดังนั้นการวิเคราะห์หาลักษณะของน้ำเสียทำให้ทราบถึงมลสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสียนั้น เป็นผลให้สามารถหาวิธีการบำบัดและควบคุมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

ลักษณะของน้ำเสียมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. สารอินทรีย์ หมายถึง สารซึ่งมาจากสิ่งมีชีวิต ทั้งสัตว์และพืช มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และอาจมีธาตุไฮโดรเจน และสารอนุพันธ์ของไฮโดรเจน-คาร์บอน เป็นองค์ประกอบร่วมอยู่ด้วย ตัวอย่างของสารอินทรีย์ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand-BOD)

BOD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเพื่อการเจริญเติบโต หากมีค่า BOD สูง แสดงว่าปริมาณออกซิเจนจะถูกใช้ไปมาก และแสดงว่ามีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมากด้วย น้ำจึงมีความสกปรกสูง ดังนั้นการตรวจวัดค่า BOD จึงต้องกระทำภายใต้สภาวะที่เหมือนกับเกิดขึ้นในธรรมชาติมากที่สุด นั่นคือ ต้องทำการอบ (Incubate) ที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับน้ำทั่วไป และใช้เวลาในการอบ 5 วัน เนื่องจากเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของแบคทีเรีย หากใช้เวลาน้อยกว่านี้จะมีการใช้ออกซิเจนน้อย แต่ถ้าให้ระยะเวลานานเกินไปปฏิกิริยาย่อยสลายจะเกิดในทิศทางย้อนกลับ ทำให้ไม่ได้ค่าที่แท้จริง ดังนั้นจึงเรียกค่า BOD มาตรฐานนี้ว่า BOD 5

2. สารอนินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจจะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่อาจจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สารอนินทรีย์ที่จำเป็นต้องได้รับการบำบัดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ซัลไฟด์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เป็นต้น

ซัลไฟด์ (Sulfide) เกิดจากปฏิกิริยา Reduction ของซัลเฟต ซึ่งพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียต่าง ๆ นอกจากจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนของท่อน้ำส่วนบนที่เรียกว่า Crown Corrosion แต่หากผนังท่อแห้งและมีการระบายอากาศที่ดีความเสียหายดังกล่าวก็จะไม่เกิดขึ้น ไนโตรเจน (Nitrogen) มีความเกี่ยวข้องกับน้ำเสียเพราะไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญในวงจรชีวิตของพืชและสัตว์ เพราะเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ดังนั้นหากมีการปล่อยน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนมากเกินไปลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จะทำให้พืชน้ำในแหล่งน้ำนั้นเจริญเติบโตจนเสียภาวะสมดุลทางธรรมชาติ แปลงทางเคมีของไนโตรเจนค่อนข้างจะยุ่งยาก เนื่องจากสามารถอยู่ในสารประกอบต่าง ๆ ได้ถึง 7 รูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มี และขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆเป็นอย่างไร

3. โลหะหนักและสารพิษอื่น ๆ อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร จนเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารพิษ มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านซุบโลหะ อู่ซ่อมรถ เป็นต้น

4. ไขมัน น้ำมันและกรีส (Fat Oil and Grease) สารประกอบนี้เกิดจากการใช้น้ำมัน ไขมัน ขี้ผึ้ง จนกระทั่งถึงน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งยังไม่มีกรรมวิธีการเก็บรวบรวมน้ำมันหล่อลื่นเหล่านี้สำหรับการขนส่งและการกำจัดอย่างถูกวิธี ส่วนน้ำมันและไขมันที่เกิดจากบ้านเรือน ร้านอาหาร และภัตตาคารต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการสร้างบ่อดักไขมันเพื่อกำจัดไขมันในเบื้องต้นก่อน สำหรับประเทศที่อากาศหนาว หากไม่มีการกำจัดไขมันในเบื้องต้น ก่อให้เกิดปัญหาท่ออุดตันและทำให้ท่อแตกได้ในที่สุดวิธีการวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะสกัดด้วยเฮเซน แต่รายละเอียดของการวิเคราะห์จะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัด สารประกอบเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนกับน้ำจะลอยอยู่ตามผิวน้ำ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ พร้อมทั้งกีดขวาง การถ่ายเทของออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงในที่สุด

5. ความร้อน ทำให้เกิดการแบ่งชั้น (Stratification) ของน้ำ เร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ และลดระดับการละลายของออกซิเจนในน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็นขึ้นได้ อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสม สำหรับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียควรอยู่ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส ความร้อนของน้ำเสียทำให้จุลินทรีย์บางชนิดในถังย่อยสลายตายหรือเจริญเติบโตช้าลง และมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียได้ ความร้อนของ น้ำเสียเกิดจาก Condenser Boiler และขบวนการทำความร้อนอื่น ๆ ดังนั้นจึงควรปรับอุณหภูมิของน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนปล่อยสู่ระบบบำบัด

6. ของแข็ง (Solids) หมายถึง สารที่เหลืออยู่เป็นตะกอนภายหลังจากที่ผ่านการระเหยด้วยไอน้ำ และทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ตะกอนที่เกิดขึ้นมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ การตรวจวัดหา ค่าของแข็งนี้ทำทั้งในน้ำดิบที่นำมาทำน้ำประปา น้ำทิ้งจากบ้านเรือน และจากแหล่งอื่น ๆ ดังนั้นการตรวจวัดค่าของแข็งจึงมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ สำหรับน้ำเสียจากแหล่งน้ำต่าง ๆ นั้น มักจะหาค่าของแข็งดังนี้

6.1 ของแข็งตกตะกอน (Settle able Solids) หมายถึง ของแข็งซึ่งจะนอนก้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำเท่านั้น ค่าของแข็งตกตะกอนนี้นอกจากจะบอกค่าความสกปรกของน้ำ แล้ว ยังใช้ประโยชน์ในการออกแบบถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ในระบบบำบัดน้ำเสียอีกด้วย

6.2 ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) สำหรับการวิเคราะห์น้ำเสียประเภทต่าง ๆ นั้นค่าของแข็ง ทั้งหมดมีความสำคัญน้อยมากเพราะยากที่จะแปรผลให้ได้ค่าที่แน่นอน ดังนั้นจึงนิยมบอกค่าความสกปรกของ น้ำเสียด้วยค่า BOD และ COD อย่างไรก็ตาม ค่าของแข็งทั้งหมดสามารถใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียที่มีผลต่อการตกตะกอนได้

6.3 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) หมายถึง สารแขวนลอยในของเหลวซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับการวิเคราะห์น้ำเสีย และเป็นค่าหนึ่งที่บอกถึงค่าความสกปรกของน้ำเสียนั้น ตลอดจนบอกถึงประสิทธิภาพของขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียต่าง ๆ การหาค่าของแข็งแขวนลอยจึงมีความสำคัญเท่ากับค่า BOD

7. สีและความขุ่น เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในน้ำ

ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากสิ่งแขวนลอยในน้ำ เช่น ตะกอนแขวนลอย แพลงค์ตอน (Plankton) และสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ สารพวกนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายและดูดซึมของแสงแทนที่จะปล่อยให้แสงทะลุผ่าน ทำให้มีผลต่อขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ นอกจากนี้สารเคมีบางอย่างก็เป็นบ่อเกิดของความขุ่นได้เช่นกันเมื่อสัมผัสกับอากาศ เช่น เหล็ก และแมงกานีส หรืออาจจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิด

สี (Color) สีของน้ำตามธรรมชาติเกิดจากสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ใบไม้ ใบหญ้า และซากสัตว์ ซึ่งมีลิกนินเป็นองค์ประกอบ ส่วนสีของน้ำเสียจะใช้วัดระยะเวลาของน้ำเสียที่อยู่ในบ่อบำบัด (อายุของน้ำเสีย) โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นใหม่ ๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาปนน้ำตาลอ่อน (Light Brownish Gray) แล้วจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็น

สีเทาแก่ และสีดำในที่สุด แต่บางอุตสาหกรรมมีการเติมสีลงในน้ำเสีย กรณีนี้สีของน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับซัลไฟด์ของโลหะหนักที่มีอยู่ในสีเหล่านั้น

8. กรดและด่าง (pH) การอ่านค่าความเป็นกรด-ด่างมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 14 โดยสารละลายที่มีค่า pH ต่ำกว่า 7 เรียกว่า สารละลายเป็นกรด เท่ากับ 7 เรียกว่าสารละลายเป็นกลาง (Neutral Solution) สูงกว่า 7 เรียกว่า สารละลายเป็นด่าง น้ำที่มีคุณภาพที่ดีจะต้องมีค่า pHใกล้เคียง หรือเท่ากับ 7 แต่ในทางปฏิบัติได้กำหนดมาตรฐานค่า pH ของน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 5-9

9. จุลินทรีย์ (Microorganism) โดยทั่วไปสามารถแบ่งจุลินทรีย์ออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ Eukaryotes, Eubacteria และ Archaebacteria โดยสองกลุ่มหลังนี้มักจะเรียกรวมกันว่ากลุ่ม Prokaryotic ซึ่งมีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบและมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนจุลินทรีย์ในกลุ่ม Eukaryotes ที่มีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียได้แก่ รา (Fungi) โปรโตซัว (Protozoa) Rotifers และสาหร่าย (Algae) ชนิดต่าง ๆ ดังนั้นจึงควรเรียนรู้เกี่ยวกับจุลินทรีย์เหล่านี้ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. พวกที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
2. พวกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย
3. พวกที่ทำหน้าที่เป็นดัชนีชี้วัดต่าง ๆ
4. วิธีการตรวจวัดหาปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์เหล่านี้
5. วิธีตรวจวัดหาความเป็นพิษ (Toxicity) ของจุลินทรีย์บางชนิด

จะเห็นได้ว่ามีจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดที่อาจปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงได้มีการกำหนด จุลินทรีย์บางชนิดเป็นดัชนี (Indicator Organisms) ของจุลินทรีย์ทั้งหมด เพื่อแสดงว่าแหล่งน้ำนั้นได้รับการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหาร (Waterborne Disease) อันเนื่องมาจากอุจจาระของมนุษย์ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนี ประกอบด้วย

1. จะต้องเป็นจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะจะทำให้ปลอดภัยต่อการเพาะเชื้อในห้อง ปฏิบัติการ
2. จะต้องตรวจพบได้ในน้ำเมื่อแหล่งน้ำได้รับการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้เกิดโรค
3. ปริมาณของจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนี จะต้องมีความสัมพันธ์ทางตรงกับปริมาณของจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้ เกิดโรค นั่นคือ เมื่อชนิดหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น อีกชนิดหนึ่งจะต้องมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยจุลินทรีย์เป็นดัชนีควรมีปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
4. จะต้องง่ายต่อการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการธรรมดาทั่วไป และสิ้นเปลืองระยะเวลาน้อย
5. จะต้องง่ายต่อการนับจำนวน
6. จะต้องไม่มีการเพิ่มจำนวนขึ้นเมื่ออยู่สภาวการณ์เดียวกับที่จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่สามารถเพิ่ม จำนวนได้
7. จะต้องทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่สามารถอยู่รอด ได้ อันแสดงถึงสภาวะปลอดเชื้อที่ทำให้เกิดโรค

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น นักวิทยาศาสตร์พบว่า เชื้อแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform Bacteria) เข้าข่ายในหลักเกณฑ์ดังกล่าวมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ แต่ยังมีข้อจำกัดบางอย่าง อาทิ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย สามารถแบ่งตัวเพื่อเพิ่มปริมาณในน้ำให้มากขึ้นได้ ดังนั้นปริมาณที่นับได้จากการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จึงอาจจะไม่ใช่ปริมาณที่แท้จริงที่มีความสัมพันธ์ทางตรงกับจุลินทรีย์ชนิดที่ทำให้เกิดโรคซึ่งไม่ค่อยจะแบ่งตัวเพื่อเพิ่มจำนวนในสภาวะที่คล้ายกัน นอกจากนี้ยังสามารถตรวจพบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในอุจจาระของสัตว์ด้วย จึงทำให้ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเชื้อที่ตรวจพบมาจากอุจจาระของมนุษย์หรือสัตว์กันแน่ อย่างไรก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ยังคงใช้ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform) เป็นดัชนีสำหรับน้ำดื่ม โดยมีหน่วยวัดเป็นเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number-MPN) นั่นคือปริมาณที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด หรือใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด สำหรับมาตรฐานน้ำดื่มที่บังคับใช้ในประเทศไทยจะต้องมีจำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (Total Coliform) ไม่เกิน 2.2 MPN ต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสีย และคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำทั่วไปจะใช้ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียชนิดที่พบได้ในอุจจาระของมนุษย์เท่านั้น ได้แก่ ฟีคอลโคลิฟอร์ม (Coliform) เป็นดัชนี ซึ่งจะต้องมีจำนวนไม่เกิน 1,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ซึ่งใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์สัตว์น้ำ การประมง การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ และมีจำนวนไม่เกิน 4,000 MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ซึ่งใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตรกรรม

10. สารกัมมันตรังสี (Radioactive Waste) หมายถึง สารใด ๆ ที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ต่อไปได้และปนเปื้อนด้วยกัมมันตรังสีในระดับที่มีความ เสี่ยงต่ออันตรายของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม สารกัมมันตรังสีนอกจากมีอันตรายสูงแล้ว บางชนิดยังคงสภาพได้ในระยะเวลายาวนานนับพันปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการกักเก็บที่ปลอดภัย และแน่ใจว่าจะไม่รั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจนกว่าจะหมดสภาพไปเอง โดยทั่วไปมีการแบ่งสารกัมมันตรังสีแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ High-Level Waste (HLW) Transuranic Waste และ Low-Level Waste (LLW) ตัวอย่างสารกัมมันตรังสีที่สำคัญได้แก่ Uranium Plutonium และ Thorium แหล่งกำเนิดสารกัมมันตรังสีที่สำคัญในปัจจุบันได้แก่ แหล่งผลิตอาวุธนิวเคลียร์ โรงงานผลิตไฟฟ้า นิวเคลียร์ เหมืองแร่ยูเรเนียม และกากกัมมันตรังสี ที่เกิดจากกิจกรรมอื่น ๆ อาทิ การแพทย์ การวิจัย และการถนอมอาหาร เป็นต้น

11. ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำมากผิดปกติ ที่เรียกว่า Eutrophication เป็นผลให้ระดับของออกซิเจนในน้ำลดลงช่วงกลางคืน ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของวัชพืชน้ำอันอาจจะก่อให้เกิดปัญหาด้านการสัญจรทางน้ำ และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

12. กลิ่น กลิ่นเหม็นของระบบบำบัดน้ำเสียเกิดจากการที่สารอินทรีย์ สารประกอบซัลเฟอร์และไนโตรเจน ถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน เป็นผลให้เกิดก๊าซซึ่งมีกลิ่นเหม็นที่สำคัญได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย การตรวจวัดปริมาณก๊าซที่ทำให้เกิดกลิ่นที่ให้ผลอย่าง

แน่นอนในปัจจุบันใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศแล้วตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) Mass Spectrometry (MS) หรือ GC-MS เป็นต้น กลิ่นเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของการบำบัดน้ำเสีย หากไม่มีการควบคุมให้ดีอาจจะก่อให้เกิดกรณีร้องเรียนหรือการต่อต้านจากประชาชนได้

2.2 ออกซิเจนละลายน้ำ(Dissolved Oxygen) (มั่นสินและมั่นรักษ์, 2545)

ออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตต่างๆทั้งที่อาศัยอยู่บนพื้นดินและในน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปล่อยออกซิเจนอิสระออกมาละลายอยู่ในน้ำและจากการแพร่ของออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่พื้นน้ำ ออกซิเจนเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยมากและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ การละลายของออกซิเจนขึ้นอยู่ความดัน อุณหภูมิและปริมาณของแข็งละลาย ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี กายภาพ และกระบวนการชีวเคมีในสิ่งมีชีวิต ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญที่ทำให้ทราบได้ว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและใช้ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียและมลภาวะทางน้ำ

ตารางที่ 2.1 การวัดออกซิเจนในน้ำเป็นการตรวจคุณภาพน้ำที่มีผลสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

ระดับ DO (mg/L)	คุณภาพของน้ำ	การใช้ประโยชน์
8-9	ดี	- อุปโภค บริโภค
6.7-8	เริ่มมีการปนเปื้อน	- ใช้ในการอุปโภค
4.5-6.7	ปนเปื้อนปานกลาง	- ใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม
ต่ำกว่า 4.5	มีการปนเปื้อนมาก	- พืชและสัตว์น้ำเริ่มได้รับอันตรายใช้ประโยชน์ได้น้อย
ต่ำกว่า 4	น้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ	- พืชและสัตว์น้ำได้รับอันตราย ใช้ประโยชน์ไม่ได้
ต่ำกว่า 2	น้ำอยู่ในภาวะวิกฤติ	- พืชและสัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย

ที่มา : รศ.ดร.นพวรรณ ธีระพันธ์เจริญ ,2550

2.3 สายยางเติมอากาศ (เอกสารประกอบคำบรรยายบริษัทเจริญภัทรพานิช)

ผลิตภัณฑ์สายยางเติมอากาศ O2 bubbles เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยฟองอากาศที่ละเอียดและช่วยลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำจึงเป็นที่นิยมใช้กันในแถบประเทศ อเมริกา แคนนาดา ยุโรปและแพร่หลายมาสู่เอเชีย อาทิเช่น ญี่ปุ่น เกาหลี ฯลฯ เป็นระบบเติมอากาศสำหรับ การเลี้ยงสัตว์น้ำ และการบำบัดน้ำเสีย โดยต่อเข้ากับปั๊มอากาศ อากาศจะวิ่งผ่านรูพรุนเล็ก ๆ รอบสาย ฟองอากาศที่ออกมาจากตัวสายจะละเอียดและค่อย ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ โดยฟองอากาศที่ละเอียดจะช่วยเพิ่มพื้นที่การแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าไฟฟ้าได้มาก ซึ่งช่วยเพิ่มค่า DO ลดต้นทุนการผลิตสัตว์น้ำ ประหยัดค่าไฟฟ้า เลี้ยงได้หนาแน่น อัตราการรอดสูง

2.4 เครื่องวัดความเร็วลม (เอกสาร Testo)

เครื่องวัดความเร็วลม มีหัววัดหลายชนิดให้เลือกใช้ตามความต้องการ เช่น แบบ Thermal probe, Vane probe และ Pitot tube (กรณีใช้ pitot tube กรุณาดูที่เครื่องวัดความดัน เนื่องจากเป็นการคำนวณจากค่า Differential pressure สำหรับวัดความเร็วลมในท่อ ที่มีอุณหภูมิสูงและลมไม่สะอาด)

อีกทั้ง เรายังมีเครื่องวัดความเร็วลม แบบ Multi-function คือสามารถต่อกับหัววัดความเร็วลมทุกแบบตามที่กล่าวมา และยังสามารถต่อโพรบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิ ,ความชื้น ,ปริมาตรการไหล ,คาร์บอนไดออกไซค์ในบรรยากาศ ,ความดัน และความเข้มแสงได้ ในเครื่องเดียว

คำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดความเร็วลม

เราสามารถแบ่งช่วงการวัดของความเร็วลม ช่วง 0 - 100 m/s ออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

1.ความเร็วลมต่ำ (low speed) คือความเร็วลมช่วง 0 - 5 m/s เหมาะกับหัววัดแบบลวดความร้อน (Thermal probe)

2.ความเร็วลมกลาง (mid speed) คือความเร็วลมช่วง 5 - 40 m/s เหมาะกับหัววัดแบบใบพัด (Vane probe)

3.ความเร็วลมสูง (High speed) คือความเร็วลมช่วง 40 - 100 m/s เหมาะกับหัววัดแบบ pitot tube

หลักการทำงานของหัววัดความเร็วลมแบบต่าง ๆ

- หัววัดแบบลวดความร้อน (Thermal Probe) จะใช้หลักการคือ วัสดุที่ร้อนจะถูกถ่ายเทความร้อนเมื่อมีลมที่เย็นกว่ามากระทำ ซึ่งจากหลักการนี้เอง หัววัดชนิดนี้จึงทำจากลวดความร้อน โดยตัวเครื่องจะจ่ายกระแสให้ลวดความร้อนและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมกระแสนี้ จะมีสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม แต่หัววัดชนิดนี้ค่อนข้างบอบบาง ต้องวัดในลมที่สะอาดและอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส
- หัววัดแบบใบพัด (Vane Probe) จะใช้หลักการนับความเร็วรอบของใบพัดที่หมุนด้วย Proximity switch โดยใบพัดขนาดใหญ่ (60 mm,100 mm) จะเหมาะกับลมที่มีลักษณะปั่นป่วน (Turbulent flows) เช่น ขาออกของท่อลม ฯลฯ และใบพัดขนาดเล็ก จะเหมาะสมกับการวัดลมในท่อ
- หัววัดแบบพิทอท ทิ้ว (Pitot tube) จะใช้หลักการวัดความแตกต่างของลมในท่อ โดยเทียบกันระหว่าง Total และ Static pressure ซึ่งหัววัดจะมีลักษณะเป็นท่อ 2 ชั้น ตามรูป หัววัดชนิดนี้จะใช้วัดความเร็วลมในท่อเท่านั้น และทนอุณหภูมิได้สูงถึง 600 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

ในการทดลองเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของผลกระทบของค่า DO กับรูปแบบการติดตั้งของสายยางเติมอากาศมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

3.1.1 อุปกรณ์ของเครื่องเติมอากาศ

3.1.1.1 ปั๊มลมโดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง (รูปที่ 3.1)

3.1.1.2 สายยางเติมอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร ยาว 1.80 เมตร จำนวน 3 เส้น (รูปที่ 3.2)

3.1.1.3 แผงควบคุมอัตราการไหล (รูปที่ 3.3)

3.1.1.4 สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.4)

3.1.2 เครื่อง DO meter (รูปที่ 3.5)

3.1.3 เครื่อง Anemometer (รูปที่ 3.6)

3.1.4 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (รูปที่ 3.7)

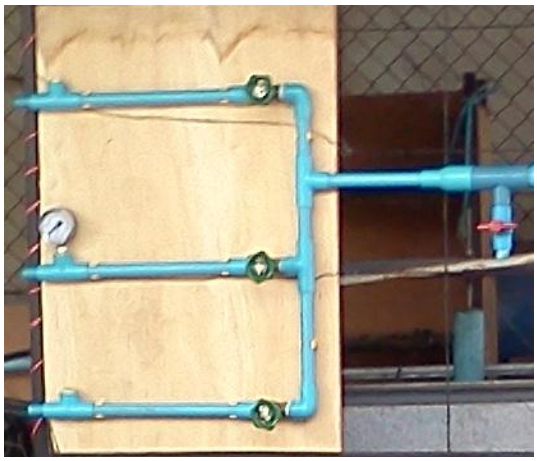
3.1.5 นาฬิกาจับเวลา (รูปที่ 3.8)

3.1.6 ถังใส่น้ำเสียปริมาตร 200 ลิตร (รูปที่ 3.9)

3.1.7 ตัวอย่างน้ำเสียจากคลองระบายน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (รูปที่ 3.10)

รูปที่ 3.1 ปั๊มลมโดยมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง

รูปที่ 3.2 สายยางเติมอากาศของบริษัทเจริญภัทรพานิช



รูปที่ 3.3 แผงควบคุมอัตราการไหล

รูปที่ 3.4 สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 16 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.5 เครื่อง DO meter

รูปที่ 3.6 เครื่อง Anemometer

รูปที่ 3.7 เวอร์เนียคาลิปเปอร์

รูปที่ 3.8 นาฬิกาจับเวลา

รูปที่ 3.9 ถังใส่น้ำเสียปริมาตร 200 ลิตร

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างน้ำเสียจากคลองระบายน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

ในการทำการศึกษาทดลองโครงงานในครั้งนี้ใช้พื้นที่ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

รูปที่ 3.11 สถานที่ทำการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

การทดลองเรื่องการเปรียบเทียบการเติมอากาศผ่านสายยางเติมอากาศ 3 รูปแบบ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 นำตัวอย่างน้ำเสียจากคลองระบายน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ใส่ถังทดลอง ปริมาตร 200 ลิตร

3.3.2 วัดค่า DO ของตัวอย่างน้ำเสียก่อนทำการทดลองพร้อมบันทึกค่า

3.3.3 ทำการบ่มสายยางโดยการแช่น้ำทิ้งไว้ 48 ชั่วโมงเพื่อให้สายยางอิ่มตัวด้วยน้ำและลดปัญหาการเกิดปรากฏการณ์ curring

3.3.4 ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์วัดขนาดของท่อลม

3.3.5 ใช้ Anemometer วัดความเร็วลม บันทึกค่าความเร็วเพื่อนำไปหาอัตราการไหล (Q = VA)

3.3.6 ติดตั้งชุดเติมอากาศแบบขดวงกลมในถังทดลองใบที่ 1 โดยหัวเติมอากาศอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 80 เซนติเมตร

3.3.7 เดินระบบเติมอากาศ และทำการวัดค่า DO ทุกๆ 30 วินาที (ตำแหน่งที่วัดอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 60 เซนติเมตร)

3.3.8 บันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง

3.3.9 ทดลองซ้ำข้อที่ 3.3.1-3.3.7 โดยเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งเป็นแบบขนานแนวนอน และ แบบขนานแนวตั้ง ตามลำดับ

3.3.10 ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอัตราการไหลเป็น 3.975 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ 4.770 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

3.3.11 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

---

*curring คือ ปรากฏการณ์ที่อัตราการไหลในท่อจะเกิดการแปรปรวนอย่างมาก ซึ่งจะเกิดในช่วงแรกของการทดลอง (Teeluck,1998)

รูปที่ 3.12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.13 รูปการติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศแบบขดวงกลม

รูปที่ 3.14 รูปการติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศแบบขนานแนวนอน

รูปที่ 3.15 รูปการติดตั้งชุดสายยางเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง

รูปที่ 3.16 รูปแสดงการใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์วัดขนาดของท่อลม

รูปที่ 3.17 รูปแสดงการวัดความเร็วลมโดยเครื่อง Anemometer

รูปที่ 3.18 รูปการบันทึกผลการทดลอง

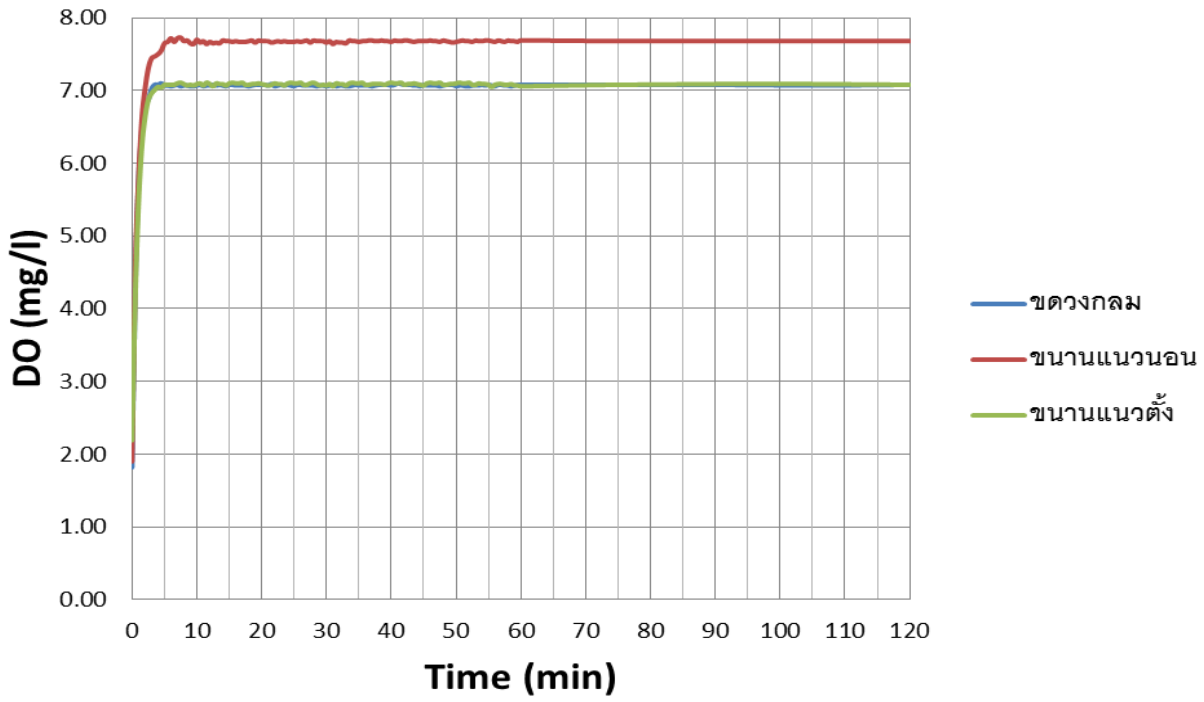
บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ได้นำเสนอผลการทดลองการหาค่าการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในน้ำต่อเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึม 3 รูปแบบ(ความยาวสายยางน้ำซึมรูปแบบละ 1.8 เมตร) ที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ค่า คือ 4.770 , 3.975 , 3.180 ลบ.ม.ต่อวินาที ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในน้ำต่อเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึม

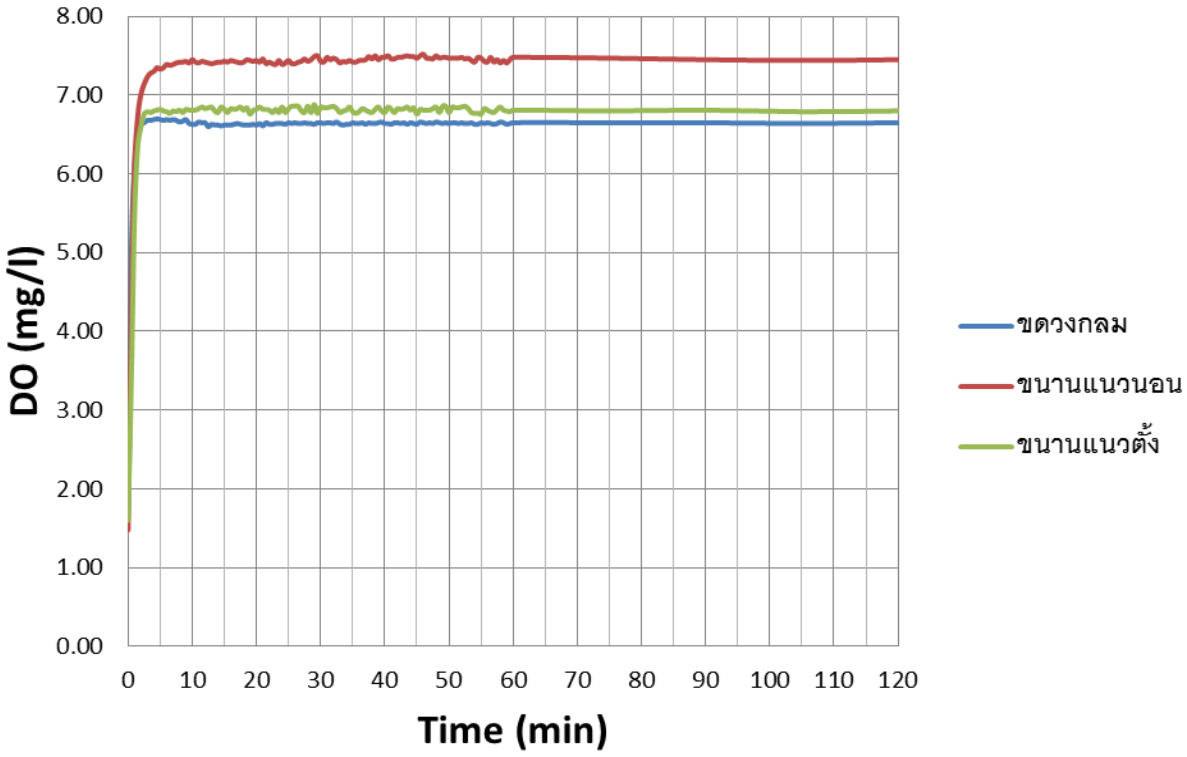
4.1.1 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมด้วยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที

จากภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที จะเห็นว่า ทั้ง 3 รูปแบบค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยแบบขดวงกลม ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 4 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.08 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวนอน ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 5.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.68 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวตั้ง ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 7 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.09 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของแบบขนานแนวนอน มีค่ามากที่สุดคือ 7.68 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยแบบขนานแนวตั้ง มีค่า DO เท่ากับ 7.09 มิลลิกรัม/ลิตร และแบบขดวงกลม ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 7.08 มิลลิกรัม/ลิตร

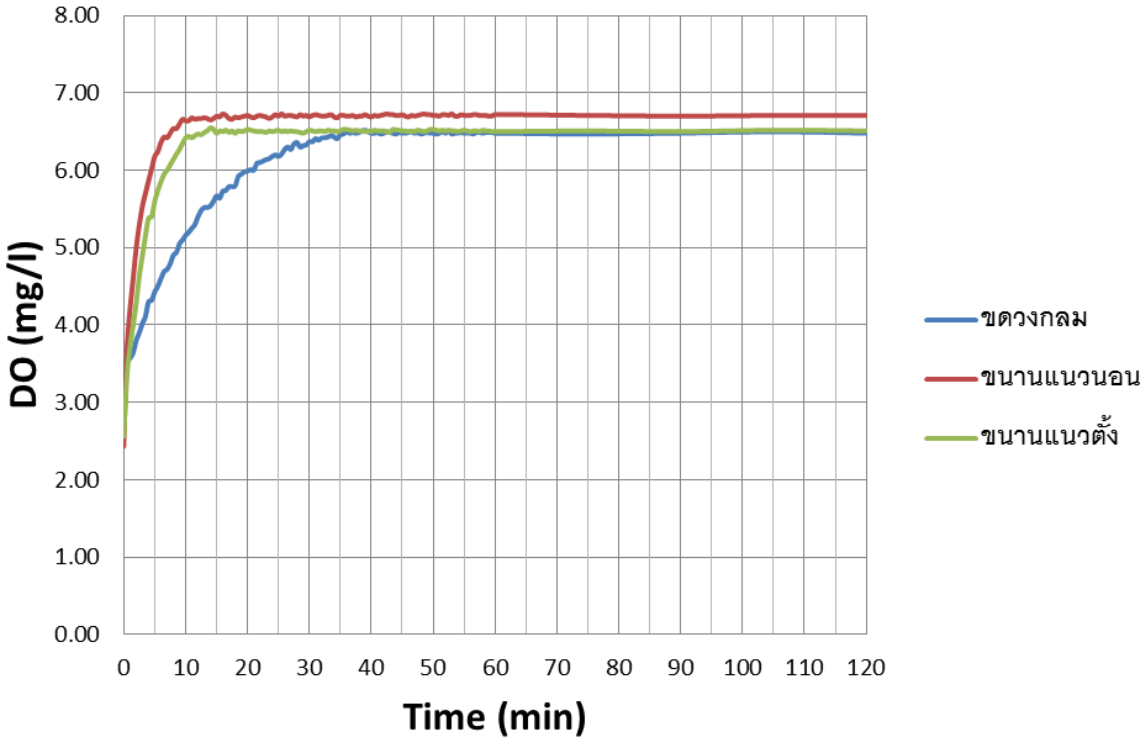
4.1.2 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที

จากภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที จะเห็นว่า ทั้ง 3 รูปแบบค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยแบบขดวงกลม ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 2.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.65 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวนอน ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 10 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.45 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวตั้ง ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 4.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.81 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของแบบขนานแนวนอน มีค่ามากที่สุดคือ 7.45 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยแบบขนานแนวตั้ง มีค่า DO เท่ากับ 6.81 มิลลิกรัม/ลิตร และแบบขดวงกลม ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 6.65 มิลลิกรัม/ลิตร

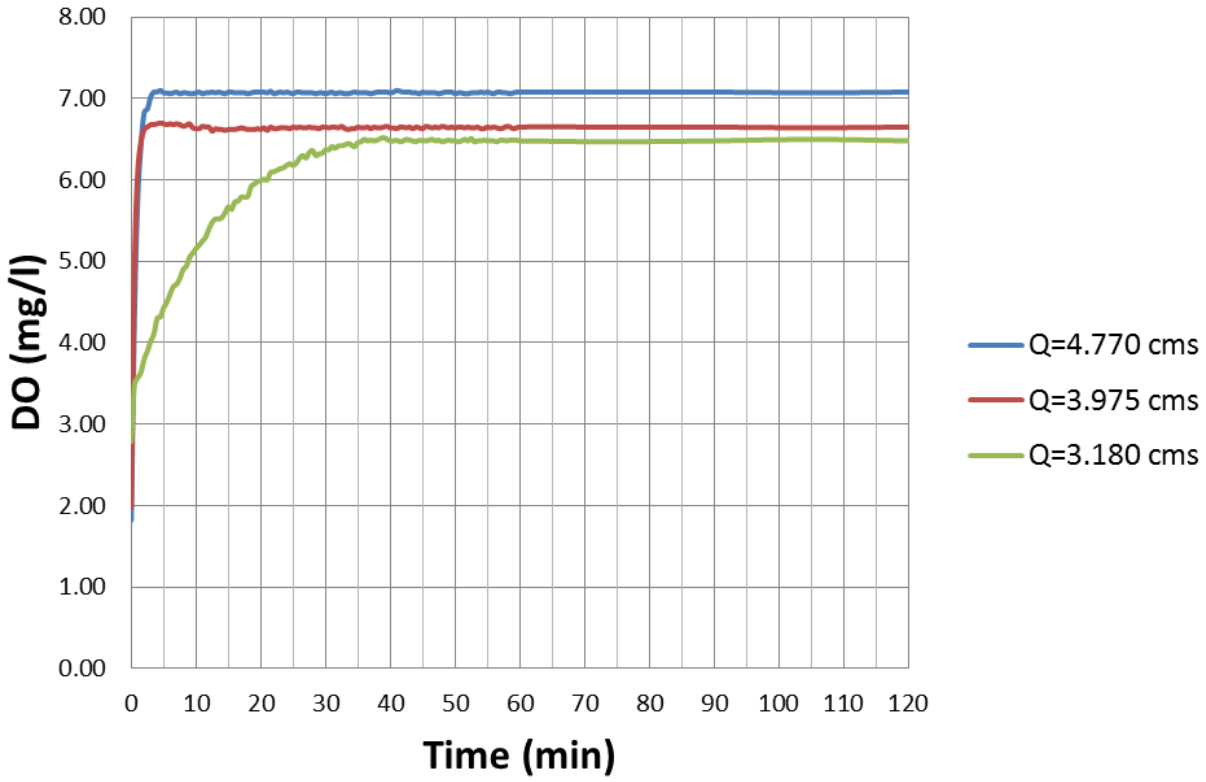
4.1.3 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมด้วยอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที

จากภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศด้วยอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที จะเห็นว่า ทั้ง 3 รูปแบบค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยแบบขดวงกลม ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 36.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.48 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวนอน ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 16.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.71 มิลลิกรัม/ลิตร แบบขนานแนวตั้ง ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 13.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.51 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของแบบขนานแนวนอน มีค่ามากที่สุดคือ 6.71 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยแบบขนานแนวตั้ง มีค่า DO เท่ากับ 6.51 มิลลิกรัม/ลิตร และแบบขดวงกลม ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 6.48 มิลลิกรัม/ลิตร

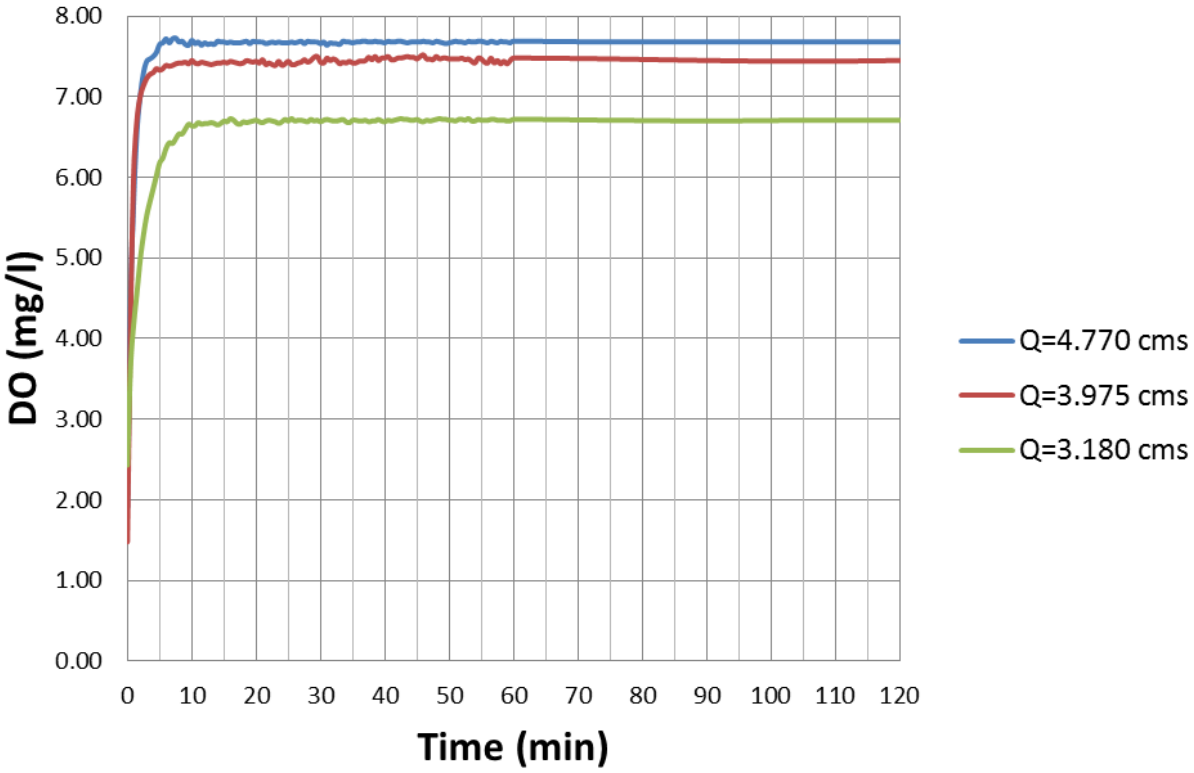
4.1.4 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมแบบขดวงกลม



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขดวงกลม

จากภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขดวงกลม จะเห็นว่า ทั้ง 3 อัตราการไหลของอากาศค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 4 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.08 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 2.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.65 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 36.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.48 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่ามากที่สุดคือ 7.08 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่า DO เท่ากับ 6.65 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 6.48 มิลลิกรัม/ลิตร

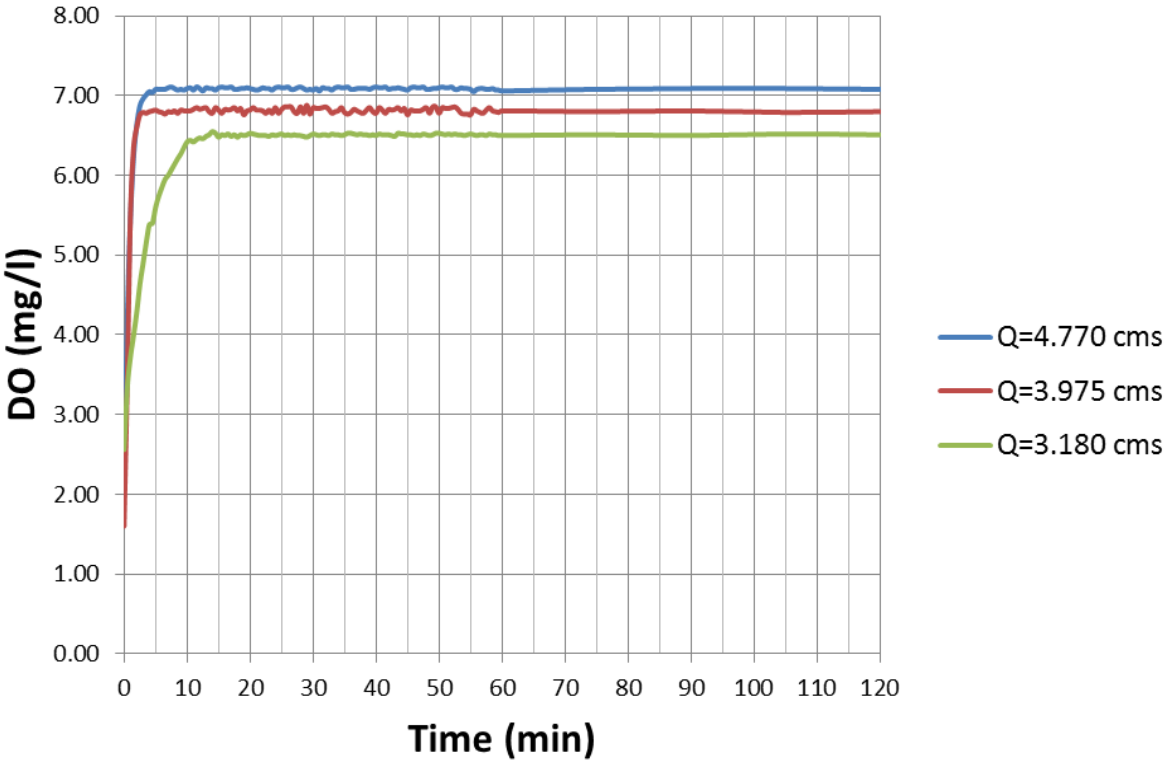
4.1.5 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมแบบขนานแนวนอน



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวนอน

จากภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบที่ 2 จะเห็นว่า ทั้ง 3 อัตราการไหลของอากาศค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 5.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.68 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 10 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.45 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 16.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.71 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่ามากที่สุดคือ 7.68 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่า DO เท่ากับ 7.45 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 6.71 มิลลิกรัม/ลิตร

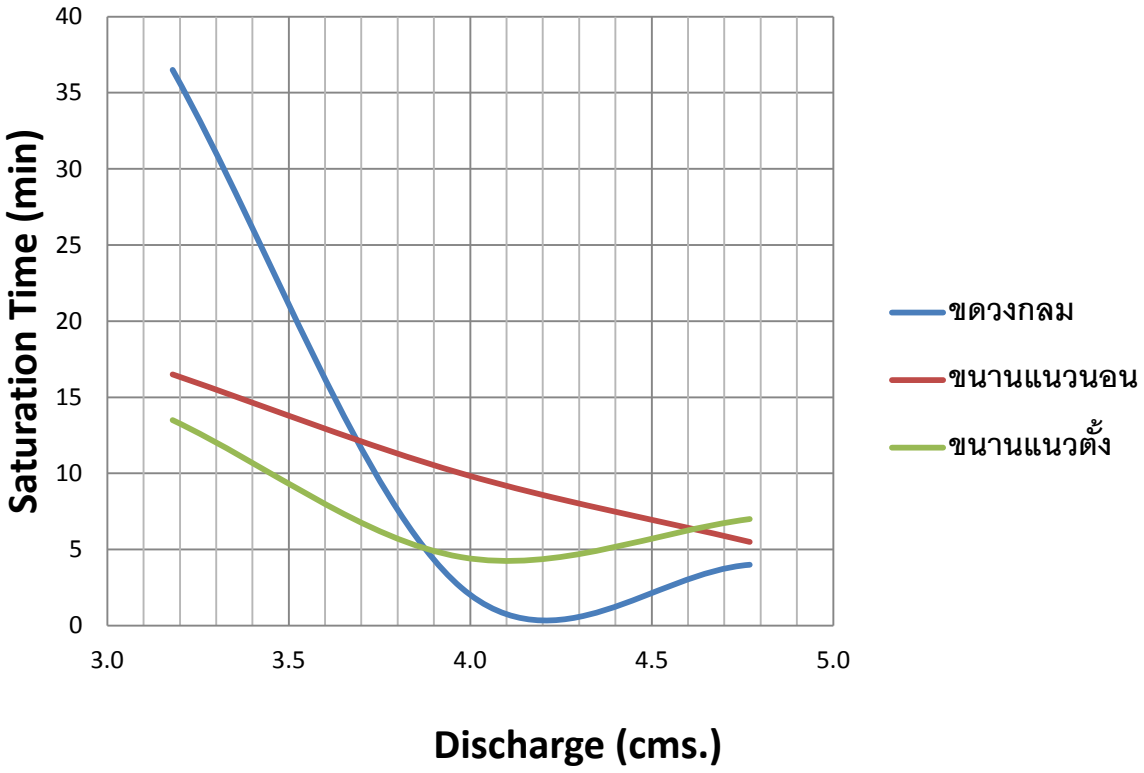
4.1.6 เติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมแบบขนานแนวตั้ง



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง

จากภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง จะเห็นว่า ทั้ง 3 อัตราการไหลของอากาศค่า DO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและคงที่ โดยอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 7 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 7.09 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 4.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.81 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ค่า DO เริ่มคงที่ที่เวลา 13.5 นาทีโดยค่า DO เท่ากับ 6.51 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า DO ของอัตราการไหล 4.770 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่ามากที่สุดคือ 7.09 มิลลิกรัม/ลิตร ตามด้วยอัตราการไหล 3.975 ลบ.ม. ต่อวินาที มีค่า DO เท่ากับ 6.81 มิลลิกรัม/ลิตร และอัตราการไหล 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที ที่มีค่า DO น้อยที่สุดคือ 6.51 มิลลิกรัม/ลิตร

4.2 กราฟแสดงค่า Saturation Time กับ อัตราการไหลของอากาศ



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saturation Time และ ค่าอัตราการไหลของอากาศ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Saturation Time และ ค่าอัตราการไหลของอากาศ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระยะเวลาการทำงานของเครื่องเติมอากาศโดยกำหนดค่าอัตราการไหลผ่านหัวเติมอากาศและรูปแบบของหัวเติมอากาศ ทำให้สามารถทราบค่าเวลาที่ค่า DO อิ่มตัว ตัวอย่างเช่น เลือกรูปแบบขนานแนวนอน มีอัตราการไหล 4 ลบ.ม./วินาที จะได้ค่า Saturation Time เท่ากับ 9.5 นาที นำค่าเวลาดังกล่าวไปออกแบบการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อประหยัดพลังงาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในน้ำต่อเวลา เมื่อทำการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึม

5.1.1.1 ที่อัตราการไหลเดียวกัน

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในน้ำต่อเวลา ผลที่ได้คือค่า DO ที่ได้จากการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศแบบขนานแนวนอน มีค่ามากที่สุด ตามด้วยหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง และแบบขดวงกลม ตามลำดับ โดยค่า DO ที่ได้เป็นดังตารางที่ 5.1

5.1.1.2 ที่หัวเติมอากาศรูปแบบเดียวกัน

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในน้ำต่อเวลา ที่หัวเติมอากาศทั้ง 3 รูปแบบ ผลที่ได้คือค่า DO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของอากาศผ่านหัวเติมอากาศมีค่ามากขึ้นดังตารางที่ 5.1

อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม.ต่อวินาที)	แบบขดวงกลม		แบบขนานแนวนอน		แบบขนานแนวตั้ง	
	ค่า DO (mg/l)	เวลาที่ค่า DO คงที่ (นาที)	ค่า DO (mg/l)	เวลาที่ค่า DO คงที่ (นาที)	ค่า DO (mg/l)	เวลาที่ค่า DO คงที่ (นาที)
4.770	7.08	4	7.68	5.5	7.09	7
3.975	6.65	2.5	7.45	10	6.81	4.5
3.180	6.48	36.5	6.71	16.5	6.51	13.5

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศกับค่า DO

5.1.2 เปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากการเติมอากาศผ่านหัวเติมอากาศสายยางน้ำซึมทั้ง 3 รูปแบบ

จากผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า DO เมื่อเรียงจากมากไปน้อย หัวเติมอากาศแบบขนานแนวนอน มีค่ามากที่สุดตามด้วยหัวเติมอากาศแบบขนานแนวตั้ง และแบบขดวงกลม ตามลำดับ เมื่อทดลองเติมอากาศที่อัตราการไหลของอากาศเป็น 3.180 , 3.975 , 3.180 ลบ.ม. ต่อวินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันลมภายในท่อเพิ่มเติม

5.2.2 ในการวัดค่า DO ควรหลีกเลี่ยงการวัดในบริเวณที่มีฟองอากาศเพื่อป้องกันผลของฟองอากาศจะเข้าไปในเครื่องวัดโดยตรง

5.2.3 ควรมีการทำการทดลองที่อัตราการไหลของลมค่าอื่นๆ เพื่อให้ได้แนวโน้มที่ชัดเจนมากขึ้น

5.2.4 อัตราการไหลของลมที่ใช้ในการทดลองมีค่ามากเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำเสียที่ใช้

5.2.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองควรมีความแม่นยำมากกว่านี้ เช่น เครื่องวัดความเร็วลม ควรเปลี่ยนเป็น Air-Flow Meter เพื่อใช้หาค่าอัตราการไหลได้โดยตรง

5.2.6 การเก็บข้อมูลควรเก็บในรูปแบบ Real Time โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย

5.2.7 ควรทำการทดลองในสภาพพื้นที่จริง เพื่อจะได้ข้อมูลที่ตรงความเป็นจริง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

Testo, 2555, *เครื่องวัดความเร็วลม* (ออนไลน์), แหล่งที่มา: http://www.measure1.co.th/product_138619_th 20 มีนาคม 2555

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ, กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม

สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมประเทศไทย JETRO กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2545

เจริญภัทรพานิช ,เอกสารแผ่นพับเรื่อง O2bubbleshose

นพวรรณ ธีระพันธ์เจริญ, 2550, *ออกซิเจนในน้ำ* (ออนไลน์), แหล่งที่มา : http://www.legaeng.com/Tech/เครื่องวัดออกซิเจนในน้ำ-Dissolved-Oxygen-Meter.html 19 มีนาคม 2555

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์, เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2545

องค์การจัดการน้ำเสีย, หลักการจัดการน้ำเสีย, พ.ศ. 2540

ภาคผนวก

ตารางที่1 **แสดงค่าDOกับเวลา เมื่อเติมปริมาณอากาศ(Q = 4.770 m^3/s)ลงในน้ำ**

แบบขดวงกลม

time (min)	DO (mg/l)
0	1.82
0.5	4.32
1	5.76
1.5	6.43
2	6.83
2.5	6.87
3	7.02
3.5	7.08
4	7.08
4.5	7.10
5	7.07
5.5	7.07
6	7.06
6.5	7.07
7	7.08
7.5	7.06
8	7.07
8.5	7.07
9	7.06
9.5	7.06
10	7.07
10.5	7.08
11	7.06
11.5	7.07
12	7.07
12.5	7.08
13	7.07
13.5	7.08
14	7.07
14.5	7.06
15	7.08
15.5	7.08
16	7.07
16.5	7.07
17	7.07
17.5	7.07
18	7.06
18.5	7.07
19	7.08
19.5	7.08
20	7.08
20.5	7.08
21	7.07
21.5	7.09
22	7.06

time (min)	DO (mg/l)
22.5	7.07
23	7.08
23.5	7.07
24	7.08
24.5	7.07
25	7.06
25.5	7.08
26	7.08
26.5	7.07
27	7.07
27.5	7.07
28	7.07
28.5	7.06
29	7.07
29.5	7.07
30	7.06
30.5	7.07
31	7.08
31.5	7.06
32	7.07
32.5	7.07
33	7.06
33.5	7.06
34	7.07
34.5	7.08
35	7.07
35.5	7.07
36	7.07
36.5	7.07
37	7.06
37.5	7.07
38	7.08
38.5	7.08
39	7.08
39.5	7.08
40	7.07
40.5	7.08
41	7.10
41.5	7.09
42	7.08
42.5	7.08
43	7.08
43.5	7.07
44	7.07
44.5	7.06

time (min)	DO (mg/l)
45	7.08
45.5	7.07
46	7.07
46.5	7.07
47	7.07
47.5	7.06
48	7.07
48.5	7.08
49	7.08
49.5	7.08
50	7.06
50.5	7.07
51	7.07
51.5	7.06
52	7.06
52.5	7.07
53	7.07
53.5	7.07
54	7.08
54.5	7.07
55	7.08
55.5	7.07
56	7.06
56.5	7.08
57	7.08
57.5	7.07
58	7.07
58.5	7.06
59	7.07
59.5	7.08
60	7.08
75	7.08
90	7.08
105	7.07
120	7.08

หมายเหตุ

ความเร็วลม	30	m/s
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	0.159	m
ปริมาณลม	4.770	m^3/s

แบบขนานแนวนอน

time (min)	DO (mg/l)
0	1.90
0.5	4.53
1	5.77
1.5	6.60
2	7.02
2.5	7.30
3	7.44
3.5	7.47
4	7.50
4.5	7.55
5	7.65
5.5	7.67
6	7.72
6.5	7.67
7	7.72
7.5	7.73
8	7.68
8.5	7.69
9	7.65
9.5	7.64
10	7.70
10.5	7.66
11	7.68
11.5	7.64
12	7.67
12.5	7.65
13	7.66
13.5	7.65
14	7.69
14.5	7.68
15	7.68
15.5	7.67
16	7.68
16.5	7.67
17	7.67
17.5	7.67
18	7.68
18.5	7.69
19	7.66
19.5	7.69
20	7.68
20.5	7.68
21	7.68
21.5	7.66
22	7.67

time (min)	DO (mg/l)
22.5	7.68
23	7.67
23.5	7.68
24	7.67
24.5	7.67
25	7.67
25.5	7.68
26	7.67
26.5	7.68
27	7.69
27.5	7.66
28	7.69
28.5	7.68
29	7.68
29.5	7.68
30	7.66
30.5	7.68
31	7.64
31.5	7.67
32	7.66
32.5	7.66
33	7.65
33.5	7.69
34	7.68
34.5	7.68
35	7.67
35.5	7.68
36	7.68
36.5	7.69
37	7.69
37.5	7.68
38	7.68
38.5	7.69
39	7.68
39.5	7.68
40	7.67
40.5	7.69
41	7.68
41.5	7.68
42	7.69
42.5	7.69
43	7.68
43.5	7.67
44	7.68
44.5	7.68

time (min)	DO (mg/l)
45	7.68
45.5	7.68
46	7.69
46.5	7.68
47	7.68
47.5	7.67
48	7.69
48.5	7.68
49	7.67
49.5	7.66
50	7.67
50.5	7.68
51	7.69
51.5	7.68
52	7.68
52.5	7.67
53	7.69
53.5	7.68
54	7.68
54.5	7.69
55	7.69
55.5	7.68
56	7.67
56.5	7.69
57	7.68
57.5	7.67
58	7.69
58.5	7.68
59	7.68
59.5	7.67
60	7.69
75	7.68
90	7.68
105	7.68
120	7.68

แบบขนานแนวตั้ง

time (min)	DO (mg/l)
0	2.19
0.5	4.17
1	5.45
1.5	6.22
2	6.63
2.5	6.87
3	6.96
3.5	7.01
4	7.05
4.5	7.04
5	7.08
5.5	7.08
6	7.08
6.5	7.08
7	7.10
7.5	7.11
8	7.09
8.5	7.07
9	7.08
9.5	7.07
10	7.09
10.5	7.10
11	7.07
11.5	7.11
12	7.09
12.5	7.06
13	7.10
13.5	7.09
14	7.09
14.5	7.07
15	7.10
15.5	7.11
16	7.10
16.5	7.10
17	7.11
17.5	7.08
18	7.08
18.5	7.09
19	7.09
19.5	7.10
20	7.09
20.5	7.08
21	7.07
21.5	7.08
22	7.10

time (min)	DO (mg/l)
22.5	7.09
23	7.09
23.5	7.07
24	7.10
24.5	7.11
25	7.10
25.5	7.10
26	7.11
26.5	7.08
27	7.08
27.5	7.10
28	7.11
28.5	7.09
29	7.07
29.5	7.08
30	7.07
30.5	7.09
31	7.06
31.5	7.10
32	7.09
32.5	7.09
33	7.07
33.5	7.10
34	7.11
34.5	7.10
35	7.10
35.5	7.11
36	7.08
36.5	7.08
37	7.09
37.5	7.09
38	7.09
38.5	7.09
39	7.08
39.5	7.10
40	7.11
40.5	7.10
41	7.10
41.5	7.11
42	7.08
42.5	7.09
43	7.09
43.5	7.10
44	7.09
44.5	7.08

time (min)	DO (mg/l)
45	7.07
45.5	7.10
46	7.11
46.5	7.10
47	7.10
47.5	7.11
48	7.08
48.5	7.08
49	7.09
49.5	7.09
50	7.10
50.5	7.11
51	7.10
51.5	7.10
52	7.11
52.5	7.08
53	7.08
53.5	7.10
54	7.09
54.5	7.09
55	7.08
55.5	7.05
56	7.08
56.5	7.09
57	7.09
57.5	7.08
58	7.08
58.5	7.09
59	7.07
59.5	7.07
60	7.06
75	7.08
90	7.09
105	7.09
120	7.08

<u>ตารางที่2</u> แสดงค่าDOกับเวลา เมื่อเติมปริมาณอากาศ(Q = 3.975 m^3/s)ลงในน้ำ

แบบขดวงกลม

time (min)	DO (mg/l)
0	1.98
0.5	4.94
1	6.11
1.5	6.47
2	6.62
2.5	6.65
3	6.68
3.5	6.68
4	6.69
4.5	6.70
5	6.69
5.5	6.68
6	6.69
6.5	6.68
7	6.69
7.5	6.68
8	6.66
8.5	6.67
9	6.69
9.5	6.64
10	6.63
10.5	6.63
11	6.66
11.5	6.65
12	6.65
12.5	6.60
13	6.63
13.5	6.62
14	6.62
14.5	6.61
15	6.62
15.5	6.62
16	6.62
16.5	6.63
17	6.64
17.5	6.63
18	6.62
18.5	6.62
19	6.62
19.5	6.63
20	6.62
20.5	6.64
21	6.61
21.5	6.65
22	6.63

time (min)	DO (mg/l)
22.5	6.63
23	6.64
23.5	6.64
24	6.64
24.5	6.63
25	6.65
25.5	6.64
26	6.65
26.5	6.64
27	6.64
27.5	6.65
28	6.64
28.5	6.64
29	6.63
29.5	6.65
30	6.65
30.5	6.64
31	6.65
31.5	6.65
32	6.64
32.5	6.66
33	6.63
33.5	6.62
34	6.63
34.5	6.63
35	6.65
35.5	6.64
36	6.64
36.5	6.65
37	6.63
37.5	6.65
38	6.64
38.5	6.64
39	6.65
39.5	6.66
40	6.64
40.5	6.64
41	6.63
41.5	6.65
42	6.65
42.5	6.64
43	6.65
43.5	6.63
44	6.65
44.5	6.64

time (min)	DO (mg/l)
45	6.63
45.5	6.66
46	6.65
46.5	6.64
47	6.65
47.5	6.64
48	6.66
48.5	6.65
49	6.64
49.5	6.65
50	6.64
50.5	6.65
51	6.65
51.5	6.64
52	6.65
52.5	6.64
53	6.64
53.5	6.65
54	6.63
54.5	6.63
55	6.65
55.5	6.64
56	6.65
56.5	6.64
57	6.63
57.5	6.64
58	6.66
58.5	6.65
59	6.63
59.5	6.64
60	6.65
75	6.65
90	6.65
105	6.64
120	6.65

<u>หมายเหตุ</u>

ความเร็วลม	25	m/s
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	0.159	m
ปริมาณลม	3.975	m^3/s

แบบขนานแนวนอน

time (min)	DO (mg/l)
0	1.48
0.5	4.28
1	6.11
1.5	6.74
2	7.01
2.5	7.14
3	7.23
3.5	7.28
4	7.30
4.5	7.35
5	7.33
5.5	7.35
6	7.39
6.5	7.38
7	7.39
7.5	7.41
8	7.42
8.5	7.42
9	7.43
9.5	7.41
10	7.45
10.5	7.42
11	7.41
11.5	7.43
12	7.42
12.5	7.41
13	7.40
13.5	7.41
14	7.42
14.5	7.42
15	7.43
15.5	7.42
16	7.44
16.5	7.43
17	7.42
17.5	7.41
18	7.42
18.5	7.45
19	7.44
19.5	7.43
20	7.44
20.5	7.42
21	7.46
21.5	7.40
22	7.42

time (min)	DO (mg/l)
22.5	7.40
23	7.39
23.5	7.44
24	7.39
24.5	7.41
25	7.44
25.5	7.40
26	7.40
26.5	7.42
27	7.43
27.5	7.46
28	7.43
28.5	7.45
29	7.49
29.5	7.50
30	7.43
30.5	7.42
31	7.48
31.5	7.45
32	7.47
32.5	7.45
33	7.41
33.5	7.43
34	7.42
34.5	7.44
35	7.42
35.5	7.42
36	7.44
36.5	7.44
37	7.45
37.5	7.49
38	7.46
38.5	7.50
39	7.45
39.5	7.48
40	7.48
40.5	7.50
41	7.46
41.5	7.46
42	7.48
42.5	7.48
43	7.49
43.5	7.50
44	7.49
44.5	7.49

time (min)	DO (mg/l)
45	7.47
45.5	7.50
46	7.52
46.5	7.47
47	7.47
47.5	7.46
48	7.50
48.5	7.47
49	7.48
49.5	7.48
50	7.47
50.5	7.47
51	7.47
51.5	7.47
52	7.48
52.5	7.46
53	7.47
53.5	7.44
54	7.42
54.5	7.48
55	7.47
55.5	7.43
56	7.42
56.5	7.48
57	7.42
57.5	7.45
58	7.41
58.5	7.44
59	7.41
59.5	7.45
60	7.48
75	7.47
90	7.45
105	7.44
120	7.45

แบบขนานแนวตั้ง

time (min)	DO (mg/l)
0	1.60
0.5	3.41
1	5.48
1.5	6.35
2	6.60
2.5	6.76
3	6.79
3.5	6.78
4	6.80
4.5	6.81
5	6.82
5.5	6.80
6	6.79
6.5	6.77
7	6.80
7.5	6.79
8	6.81
8.5	6.78
9	6.82
9.5	6.81
10	6.81
10.5	6.81
11	6.83
11.5	6.85
12	6.83
12.5	6.84
13	6.85
13.5	6.80
14	6.78
14.5	6.85
15	6.82
15.5	6.78
16	6.83
16.5	6.82
17	6.83
17.5	6.85
18	6.81
18.5	6.84
19	6.76
19.5	6.81
20	6.82
20.5	6.85
21	6.82
21.5	6.82
22	6.81

time (min)	DO (mg/l)
22.5	6.78
23	6.82
23.5	6.78
24	6.85
24.5	6.78
25	6.83
25.5	6.86
26	6.86
26.5	6.86
27	6.80
27.5	6.78
28	6.86
28.5	6.78
29	6.88
29.5	6.77
30	6.85
30.5	6.84
31	6.84
31.5	6.85
32	6.86
32.5	6.83
33	6.78
33.5	6.80
34	6.81
34.5	6.85
35	6.79
35.5	6.77
36	6.79
36.5	6.83
37	6.81
37.5	6.79
38	6.78
38.5	6.82
39	6.85
39.5	6.80
40	6.78
40.5	6.85
41	6.82
41.5	6.78
42	6.83
42.5	6.82
43	6.83
43.5	6.85
44	6.81
44.5	6.84

time (min)	DO (mg/l)
45	6.76
45.5	6.82
46	6.81
46.5	6.81
47	6.81
47.5	6.83
48	6.85
48.5	6.78
49	6.86
49.5	6.86
50	6.78
50.5	6.85
51	6.84
51.5	6.84
52	6.85
52.5	6.86
53	6.83
53.5	6.78
54	6.77
54.5	6.77
55	6.76
55.5	6.83
56	6.81
56.5	6.79
57	6.78
57.5	6.82
58	6.85
58.5	6.81
59	6.80
59.5	6.79
60	6.81
75	6.80
90	6.81
105	6.79
120	6.80

<u>ตารางที่</u>1 แสดงค่าDOกับเวลา เมื่อเติมปริมาณอากาศ(Q = 3.180 m^3/s)ลงในน้ำ

แบบขดวงกลม

time (min)	DO (mg/l)
0	2.79
0.5	3.49
1	3.57
1.5	3.64
2	3.80
2.5	3.90
3	4.02
3.5	4.11
4	4.30
4.5	4.32
5	4.43
5.5	4.50
6	4.60
6.5	4.69
7	4.72
7.5	4.79
8	4.90
8.5	4.94
9	5.05
9.5	5.10
10	5.16
10.5	5.20
11	5.25
11.5	5.30
12	5.40
12.5	5.48
13	5.52
13.5	5.52
14	5.54
14.5	5.60
15	5.67
15.5	5.64
16	5.73
16.5	5.74
17	5.79
17.5	5.79
18	5.80
18.5	5.92
19	5.95
19.5	5.98
20	5.99
20.5	6.01
21	6.00
21.5	6.09
22	6.10

time (min)	DO (mg/l)
22.5	6.12
23	6.14
23.5	6.15
24	6.18
24.5	6.20
25	6.18
25.5	6.21
26	6.27
26.5	6.30
27	6.27
27.5	6.34
28	6.36
28.5	6.30
29	6.32
29.5	6.33
30	6.37
30.5	6.37
31	6.41
31.5	6.39
32	6.42
32.5	6.42
33	6.43
33.5	6.45
34	6.43
34.5	6.41
35	6.46
35.5	6.47
36	6.50
36.5	6.48
37	6.49
37.5	6.48
38	6.49
38.5	6.51
39	6.52
39.5	6.50
40	6.48
40.5	6.48
41	6.49
41.5	6.47
42	6.48
42.5	6.50
43	6.49
43.5	6.48
44	6.47
44.5	6.49

time (min)	DO (mg/l)
45	6.48
45.5	6.48
46	6.49
46.5	6.50
47	6.48
47.5	6.49
48	6.47
48.5	6.48
49	6.49
49.5	6.48
50	6.48
50.5	6.47
51	6.48
51.5	6.50
52	6.48
52.5	6.51
53	6.47
53.5	6.48
54	6.48
54.5	6.49
55	6.48
55.5	6.48
56	6.48
56.5	6.47
57	6.49
57.5	6.49
58	6.48
58.5	6.49
59	6.49
59.5	6.49
60	6.48
75	6.47
90	6.48
105	6.50
120	6.48

<u>หมายเหตุ</u>

ความเร็วลม	20	m/s
เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ	0.159	m
ปริมาณลม	3.180	m^3/s

แบบขนานแนวนอน

time (min)	DO (mg/l)
0	2.43
0.5	3.67
1	4.20
1.5	4.59
2	4.99
2.5	5.29
3	5.53
3.5	5.70
4	5.86
4.5	6.02
5	6.18
5.5	6.24
6	6.36
6.5	6.43
7	6.42
7.5	6.48
8	6.54
8.5	6.54
9	6.60
9.5	6.66
10	6.64
10.5	6.64
11	6.68
11.5	6.66
12	6.67
12.5	6.67
13	6.68
13.5	6.67
14	6.65
14.5	6.67
15	6.70
15.5	6.69
16	6.73
16.5	6.71
17	6.67
17.5	6.66
18	6.69
18.5	6.68
19	6.69
19.5	6.70
20	6.71
20.5	6.69
21	6.68
21.5	6.70
22	6.71

time (min)	DO (mg/l)
22.5	6.70
23	6.69
23.5	6.67
24	6.69
24.5	6.72
25	6.70
25.5	6.73
26	6.70
26.5	6.71
27	6.71
27.5	6.70
28	6.69
28.5	6.72
29	6.70
29.5	6.71
30	6.69
30.5	6.71
31	6.72
31.5	6.71
32	6.70
32.5	6.70
33	6.71
33.5	6.72
34	6.69
34.5	6.68
35	6.71
35.5	6.71
36	6.70
36.5	6.70
37	6.71
37.5	6.69
38	6.70
38.5	6.70
39	6.72
39.5	6.70
40	6.69
40.5	6.71
41	6.70
41.5	6.71
42	6.72
42.5	6.73
43	6.72
43.5	6.72
44	6.71
44.5	6.71

time (min)	DO (mg/l)
45	6.72
45.5	6.70
46	6.69
46.5	6.71
47	6.70
47.5	6.71
48	6.72
48.5	6.73
49	6.72
49.5	6.72
50	6.71
50.5	6.71
51	6.70
51.5	6.72
52	6.72
52.5	6.71
53	6.73
53.5	6.70
54	6.70
54.5	6.72
55	6.71
55.5	6.71
56	6.71
56.5	6.72
57	6.72
57.5	6.71
58	6.71
58.5	6.71
59	6.70
59.5	6.70
60	6.72
75	6.71
90	6.70
105	6.71
120	6.71

แบบขนานแนวตั้ง

time (min)	DO (mg/l)
0	2.56
0.5	3.33
1	3.72
1.5	3.99
2	4.28
2.5	4.63
3	4.89
3.5	5.15
4	5.38
4.5	5.40
5	5.60
5.5	5.74
6	5.85
6.5	5.95
7	6.00
7.5	6.07
8	6.14
8.5	6.21
9	6.27
9.5	6.35
10	6.42
10.5	6.44
11	6.42
11.5	6.45
12	6.47
12.5	6.46
13	6.49
13.5	6.51
14	6.55
14.5	6.53
15	6.48
15.5	6.51
16	6.50
16.5	6.52
17	6.49
17.5	6.51
18	6.48
18.5	6.51
19	6.50
19.5	6.51
20	6.53
20.5	6.52
21	6.51
21.5	6.50
22	6.50

time (min)	DO (mg/l)
22.5	6.50
23	6.49
23.5	6.51
24	6.50
24.5	6.51
25	6.52
25.5	6.50
26	6.51
26.5	6.50
27	6.51
27.5	6.50
28	6.50
28.5	6.49
29	6.48
29.5	6.50
30	6.52
30.5	6.51
31	6.50
31.5	6.51
32	6.51
32.5	6.50
33	6.52
33.5	6.51
34	6.51
34.5	6.50
35	6.51
35.5	6.53
36	6.53
36.5	6.52
37	6.51
37.5	6.52
38	6.51
38.5	6.51
39	6.50
39.5	6.51
40	6.50
40.5	6.52
41	6.51
41.5	6.51
42	6.51
42.5	6.50
43	6.49
43.5	6.53
44	6.52
44.5	6.52

time (min)	DO (mg/l)
45	6.51
45.5	6.51
46	6.50
46.5	6.51
47	6.50
47.5	6.52
48	6.51
48.5	6.50
49	6.51
49.5	6.53
50	6.53
50.5	6.52
51	6.51
51.5	6.52
52	6.51
52.5	6.52
53	6.51
53.5	6.51
54	6.50
54.5	6.51
55	6.52
55.5	6.51
56	6.50
56.5	6.51
57	6.51
57.5	6.50
58	6.52
58.5	6.51
59	6.51
59.5	6.50
60	6.50
75	6.51
90	6.50
105	6.52
120	6.51