

628.3

ค 1941

83

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

: กรณีศึกษาเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา

2 พ.ค. 2540

ปริญญานิพนธ์

ของ

สนอง ทองปาน



เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุขุภัณฑ์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

มีนาคม 2540

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63646

คณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการสอบได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควร
รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาการศึกษาคุณวุฒิบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการควบคุม



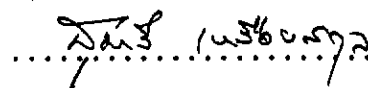
ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ เจริญพิทย)



กรรมการ

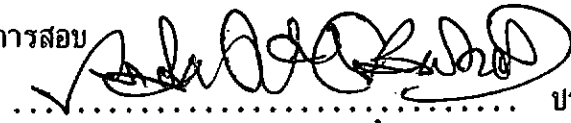
(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ กรีทอง)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุมาลี เหลืองสกุล)

คณะกรรมการสอบ



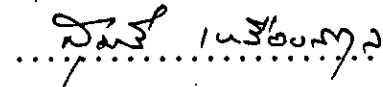
ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ เจริญพิทย)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมเกียรติ กรีทอง)



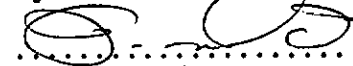
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุมาลี เหลืองสกุล)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

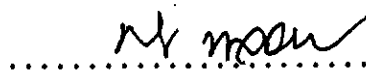
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา ชูวงศ์)



กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย วีระวัฒนานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษาคุณวุฒิบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ดร.ศิริยุภา พูลสุวรรณ)

วันที่ 14 เดือน ๕๐...พ.ศ. 40....

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภท นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปี พ.ศ. 2540

ด้วยความกรุณาช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพงษ์ เจริญพิทย รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ กรีทอง รองศาสตราจารย์สุมาลี เหลืองสกุล ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนตรวจ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และ รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย วีระวัฒนานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ชูครวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและร่วมเป็นกรรมการเพิ่มเติมในการสอบปากเปล่าอันเป็น ผลก่อให้เกิดความสำเร็จขึ้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านอาจารย์ เป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวี หอมขง รองศาสตราจารย์วราพร ศรีสุพรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมสรรค์ วงษ์อยู่น้อย ที่ได้ให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ตลอดจน คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณอาจารย์ธนพรช เหมเชื้อ และนิสิตปริญญาเอก นิสิตปริญญาโทที่กำลังศึกษาอยู่ในสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่ไม่ว่าจะนามไว้ได้ทั้งหมด ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณแต่ ปิตา - มารดา ครู - อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สนอง ทองปาน

สารบัญ

บทที่

หน้า

1	บทนำ.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
	ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	4
	ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	5
	ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
2	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	9
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับ น้ำทิ้ง น้ำเสีย น้ำเน่า และมลภาวะของน้ำ.....	10
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	12
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....	28
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของระบบเติมอากาศแบบการไหลในราง.....	34
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ.....	43
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ควรวิเคราะห์.....	50
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับพลังงานคลื่น.....	56
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบลม.....	64
	เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา.....	68
	สมมติฐานของการวิจัย.....	73
3	วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า.....	74
	รูปแบบการวิจัย.....	74
	สถานที่ทำการวิจัย.....	74
	ขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	74

ตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง.....	83
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	83
วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	85
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	88
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	93
4 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	94
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	94
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย..	125
5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	127
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง...	128
การศึกษาความสามารถในการนำพลังงานคลื่นในแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการ	
เติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย.....	149
ผลการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของ	
กิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและ	
การบำบัดน้ำเสีย.....	154
6 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	188
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	188
สมมติฐานของการวิจัย.....	188
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	189
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	192
วิจารณ์ผลการศึกษา.....	197

ผลสรุปของสมมติฐานในการวิจัย.....	200
ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการวิจัยครั้งนี้.....	201
ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการระบบบัณฑิตน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ในการวิจัยต่อไป.....	203
ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียในการวิจัยต่อไป.....	203
การเผยแพร่ผลงาน.....	204
รางวัลที่ได้รับ.....	205
บรรณานุกรม.....	206
ภาคผนวก.....	213
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	238

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	แสดงผลการกำจัดน้ำทิ้งด้วยระบบบ่อหมัก	21
2	แสดงระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมผัสกับแบคทีเรีย(Solid Retention Time ชื่อย่อ SRT) ที่ควรใช้ในการออกแบบระบบบำบัดสำหรับค่าอุณหภูมิต่างกัน	24
3	แสดงค่า a และ b ของน้ำทิ้งบางชนิด.....	25
4	เปรียบเทียบระบบ เอฟ เอฟ บี และระบบเร่งตะกอน.....	38
5	ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ.....	46
6	การเก็บรักษาตัวอย่างโดยการยับยั้งการเปลี่ยนแปลง.....	47
7	การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ.....	48
8	แสดงขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	75
9	แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์.....	91
10	แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีโดยการใช้อัตราต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 8 ชั่วโมง ภายในถังบรรจุหัวเชื้อแบคทีเรีย (startor) ที่เตรียมจากมูลไก่ความเข้มข้น 1.4 กรัม/ลิตร.....	103
11	แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ค่าดีไอ)ของรางเดิมอากาศในสภาวะน้ำมีอัตราการไหล 5.75 ลิตร/นาที รางมีความยาวทั้งหมด 55.30 เมตร..	106
12	แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ค่าดีไอ)ของกังหันเดิมอากาศที่มีช่องระบายน้ำแตกต่างกันที่อัตราการไหลของน้ำ 5.75 ลิตร/นาที.....	109
13	แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ค่าดีไอ)ของบ่อเดิมอากาศแบบการไหลในรางที่อัตราการจ่ายลมและอัตราการสูบน้ำกลับต่างกันเมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบในอัตราเฉลี่ย 3.95 ลิตร/นาที	111
14	แสดงผลการศึกษาช่วงเวลาของการเกิดคลื่นในคลองแสนแสบที่มีความสูงของคลื่นขนาดต่าง ๆ ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง ตั้งแต่ 06.00 น.- 18.00 น.	115

15	แสดงผลการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD) ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองในช่วงทำการเตรียมความพร้อมของระบบบำบัด (Start up) ให้อยู่ในสภาวะที่คงที่ (Steady state).....	120
16	แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	128
17	แสดงค่าพีเอช (pH) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	131
18	แสดงค่าดีโอ (DO) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	134
19	แสดงค่าบีโอดี (BOD) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	137
20	แสดงค่าซีโอดี (COD) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	140
21	แสดงปริมาณสารปรอทเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	142
22	แสดงปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	144
23	แสดงปริมาณสารแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	146
24	แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองโดยภาพรวม.....	148
25	แสดงค่าดีโอ (DO) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 2 ที่น้ำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	150

26	แสดงค่าดีไอ(DO)เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 3 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	152
27	แสดงตัวอย่างแบบสำรวจสภาพชุมชนและสภาพแหล่งน้ำโดยทั่วไป.....	156
28	แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น.....	164
29	แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น	175
30	แสดงคำดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย...	186

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ปฏิกริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจน.....	17
2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจน.....	18
3 แผนผังระบบคอนเว็นชันแนลแอเนโรบิคไคเจสชัน.....	23
4 แผนผังแสดงระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลาง.....	27
5 ถังบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนระยะแรก.....	30
6 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการ เอฟ เอฟ บี.....	36
7 แสดงแผนผังระบบการเติมอากาศแบบการไหลในรางจากการทดลองของ ซูซุมุ ฮาชิโมโตะ (Susumu Hashimoto).....	42
8 แสดงส่วนประกอบสำคัญของคลีน.....	57
9 แสดงคลีน 3 แบบบริเวณชายหาด.....	60
10 แสดงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลีน.....	61
11 แสดงลักษณะการทำงานและส่วนประกอบของท่อรับพลังงานคลีน.....	62
12 แสดงการทำงานของท่อรับพลังงานคลีน.....	63
13 แสดงการเคลื่อนที่ของของไหลภายในเครื่องสูบลมแบบใบพัด.....	66
14 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสูบลมเจตสูกฎอากาศแบบไอน้ำ.....	67
15 แสดงจุดเก็บน้ำ.....	90
16 ภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	94
17 ภาพถังหมักแบบใช้ตัวกลาง(Anaerobic Filter).....	95
18 ภาพรางเติมอากาศ.....	96
19 ภาพกังหันเติมอากาศ.....	97
20 ภาพท่อเติมอากาศแบบการไหลในราง.....	98

21 ภาพแสดงการนำเสนอผลงานในวันสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี...	100
22 แสดงการต่อเชื่อมของถังหมักแบบใช้ตัวกลาง.....	101
23 แสดงส่วนประกอบของรางเติมอากาศ.....	104
24 แสดงส่วนประกอบของกังหันเติมอากาศ.....	107
25 แสดงลักษณะของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง.....	110
26 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสูบลมพลังคลื่น.....	112
27 แสดงการทำงานของเครื่องสูบลมพลังคลื่นในจังหวัดอุดรและจังหวัด.....	113
28 ภาพเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น.....	116
29 แสดงการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในจังหวัด.....	117
30 แสดงการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในจังหวัด.....	118
31 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD) ในช่วงทำการเตรียม ความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง.....	121
32 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับ 3 พ.ศ.2539.....	129
33 แสดงค่าพีเอช เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ.2528	132
34 แสดงค่าดีไอ เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ ผิวดินที่มีใช้น้ำทะเลประเภท 3 พ.ศ.2529.....	135

- 35 แสดงค่าบีโอดี เจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งระดับชุมชน
ประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ.2528..... 138
- 36 แสดงค่าซีโอดีเจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี ฉบับ 3 พ.ศ.2539..... 141
- 37 แสดงปริมาณสารตะกั่วเจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี ฉบับ 3 พ.ศ.2539..... 145
- 38 แสดงปริมาณสารแคดเมียมเจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและ
เทคโนโลยี ฉบับ 3 พ.ศ.2539 147
- 39 แสดงปริมาณค่าดีโอ(DO)เจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 2 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติม
อากาศ จากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้
พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง..... 151
- 40 แสดงปริมาณค่าดีโอ(DO)เจลลียของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 3 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติม
อากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้
พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง 153

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะมนุษย์ ได้ใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค นอกจากนั้นยังใช้ประโยชน์ในกิจการด้านต่าง ๆ เช่นการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ การประมง อุตสาหกรรม และการชลประทาน ในอดีตสภาพน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ มีคุณภาพดีประชาชนสามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ แต่ในสภาพการณ์ปัจจุบันสภาวะแวดล้อมได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจนเกิดวิกฤตการณ์เรื่องน้ำ ไม่ว่าจะเป็นการขาดแคลนน้ำหรือการเสื่อมคุณภาพของน้ำจนเกิดการเน่าเสียขึ้น นับว่าเป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก เพราะสภาวะการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชาชนโดยส่วนรวม อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อการพัฒนาประเทศชาติเป็นสำคัญ (Feachem. 1988 : 58)

ในปัจจุบันการขยายตัวของชุมชนในเขตกรุงเทพมหานครได้ก่อให้เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของประชากรอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณการใช้น้ำในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ปริมาณของเสียที่ปนมากับน้ำซึ่งจะต้องกำจัดมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยารวมถึงคูคลองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานครเสื่อมโทรมลงตามลำดับ สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำ (Water Pollution) มีหลายประการ เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำเสียจากเกษตรกรรม น้ำเสียจากกองขยะ และน้ำเสียจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ น้ำเสียเหล่านี้จะถูกระบายลงสู่คูคลองต่าง ๆ โดยตรงซึ่งสัดส่วนของปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนส่งผลกระทบต่อความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำเป็นสัดส่วนร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม (สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 2533 : 28) และสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์มากที่สุดคือ การระบายน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร อัน

ได้แก่ กิจกรรมกักตุนอาหาร ร้านอาหาร ตลาดสด โรงพยาบาล โรงแรม หอพัก และความสกปรก จากบ้านพักอาศัยอีกประมาณ 74,182 กก.ปี/คน/วัน หรือร้อยละ 54.1 ของปริมาณความสกปรก ทั้งหมดที่ระบายลงสู่คูคลองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร (ธงชัย พรหมสวัสดิ์. 2530 : 18)

คลองแสนแสบ เป็น 1 ใน 27 คลอง ของกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นคลองเก่าแก่ มีการขุดขึ้นตั้งแต่สมัยพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 3 ระหว่างปี พ.ศ. 2380 - 2383 เป็นคลองเชื่อมระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำบางปะกง ระยะแรกขุดเพื่อใช้ในการทำสงคราม แต่ภายหลังใช้เป็นเส้นทางเดินเรือไปมาค้าขาย (วศิน วงศ์ชลธาร. 2534 : 41) จะเห็นได้ว่า คลองแสนแสบมีความสำคัญมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน คลองแสนแสบเป็นคลองหลักฝั่งกรุงเทพมหานคร เพราะผ่านชุมชนและแหล่งที่อยู่อาศัยที่สำคัญหลายแห่ง ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้น้ำในคลองแสนแสบ เกิดปัญหาเน่าเสีย เพราะนอกจากมีอาคารบ้านเรือนที่อยู่อาศัยและร้านค้าทั่วไปอยู่หนาแน่นทั้งสองฝั่ง คลองแล้ว ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 10 แห่ง อยู่ริมถนนจำนวน

18 แห่งและสถานบริการน้ำมันจำนวน 10 แห่ง ซึ่งสถานที่เหล่านี้ได้มีการทิ้งน้ำมันที่เสื่อมสภาพแล้ว ลงในคลองเป็นจำนวนถึง 220 ลิตร/วัน จึงทำให้น้ำในคลองเน่าดำ มีกลิ่นเหม็น ในบางตอนที่เห็นได้อย่างเด่นชัดที่สุด คือ ระหว่างตลาดใหม่บีบี ถึงหลังศูนย์การค้าเดอะมอลล์ 2 มิได้มีการบำบัดก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งลงในคลอง ประกอบกับปริมาณน้ำเสียมีมากเกินไปกว่าธรรมชาติจะบำบัดได้ระบบนิเวศในคลองจึงเสียสมดุลและเป็นปัญหาดังกล่าว (สมเกียรติ กริทองและคนอื่น ๆ 2535 : 63)

วิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหามลภาวะทางน้ำได้ คือ การปรับปรุงสภาพน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์ที่แหล่งน้ำจะสามารถรองรับได้ โดยการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกต่าง ๆ ในน้ำทิ้งให้มีปริมาณอยู่ในระดับที่จะสามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำได้โดยไม่ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสื่อมลงไ้มากกว่านี้ (Eckenfelder. 1966 : 128) ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียที่นิยมปฏิบัติกันมาในยุคปัจจุบันอาจแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ การบำบัดด้วยวิธีทางเคมี และการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ สำหรับน้ำเสียที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ นิยมทำการบำบัดโดยวิธีชีวภาพ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีบำบัดทางกายภาพและวิธีบำบัดทางเคมี

การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ อาจแบ่งได้เป็น แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) และ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยแบบใช้ออกซิเจนสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียซึ่งใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต ส่วนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จนเกิดก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในลำดับสุดท้าย สำหรับระบบบำบัดแบบชีวภาพทั้งแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจนได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน และในระบบอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย (บุญส่ง ไข เกษ และคนอื่น ๆ. 2534 : 24) สำหรับระบบบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพทั้ง 2 แบบนี้มีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันคือ ในระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ประหยัดเวลา น้ำมีสีใสและไม่มียากเหม็น แต่ต้องใช้พลังงานในการเติมออกซิเจนสูง และหลังการบำบัดยังมีกากตะกอนมากซึ่งเป็นภาระในการกำจัดต่อไป ส่วนข้อดีของการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนคือ จะไม่สิ้นเปลืองพลังงาน มีกากตะกอนหลังการบำบัดน้อย และยังได้ก๊าซมีเทนจากกระบวนการดังกล่าวซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกิจกรรมต่าง ๆ ได้ แต่น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีกลิ่นค่อนข้างเหม็น มีสีค่อนข้างดำและประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจน (Echaroj. 1986 : 112) ดังนั้น ถ้าสามารถรวมระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนให้เป็นระบบบำบัดเดียวกันได้ โดยนำพลังงานที่มีในธรรมชาติมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในกระบวนการเติมออกซิเจนแล้ว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและไม่สิ้นเปลืองพลังงาน น้ำไม่มียากเหม็น มีสีใส และมีกากตะกอนหลังการบำบัดในปริมาณน้อย ทำให้ภาระในการกำจัดกากตะกอนน้อยลง

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของการมีส่วนร่วมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยได้นำเอาหลักการทางวิทยาศาสตร์มาผสมผสานกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียจนเกิดแนวคิดในการบำบัดน้ำเสียแนวใหม่ ตามแนว "วิทยาศาสตร์ - เทคโนโลยี - สิ่งแวดล้อม" โดยได้ทำการรวมระบบบำบัด แบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนเข้าไว้ในระบบเดียวกันซึ่งผู้วิจัยให้ชื่อระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้ว่า "ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง" และได้พยายามค้นหาแหล่งพลังงานในคลองแสนแสบมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในกระบวนการเติมออกซิเจน เพื่อลดการใช้พลังงานที่จะต้องจัดซื้อเข้ามาให้มีปริมาณน้อยลง พลังงาน

ดังกล่าวได้แก่ พลังงานจากคลื่นน้ำในการเดินเรือโดยสาร และพลังงานจากแรงโน้มถ่วงของโลก ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวได้ออกแบบขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมายให้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และโลหะหนักที่เป็นพิษ เพื่อให้คุณภาพของน้ำทิ้งเป็นไปตามข้อกำหนดตาม พ.ร.บ. ส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาความสามารถในการนำพลังงานคลื่นมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นฐานในการปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาในสถานศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตาม แนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่า ผลการศึกษาที่ได้รับจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่นำพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้น ๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดตามแนว "วิทยาศาสตร์-เทคโนโลยี-สิ่งแวดล้อม" ต่อไป และในส่วนของแนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการในวิชาวิทยาศาสตร์นั้น ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะใช้เป็นแนวทางในการสร้างเสริมศักยภาพของนักเรียนให้เกิดความรู้ความสามารถเบื้องต้นในการตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่ในท้องถิ่นของตนว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใด ซึ่งจะเป็นการช่วยเสริมสร้างให้นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ทั้งยังเป็นการช่วยยกระดับสถานศึกษาในระดับมัธยมศึกษาให้เป็นศูนย์ข้อมูลทางด้านคุณภาพของสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นนั้น ๆ เพื่อนำข้อมูลที่มีอยู่ไปใช้ประกอบการตัดสินใจในด้านการวางแผนจัดการสิ่งแวดล้อมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดแก่ท้องถิ่นของตนเองในอนาคตต่อไป

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อสร้างระบบบำบัดต้นแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโดยภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ในรูปการลดปริมาณสารอินทรีย์ และโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำเสีย

3. เพื่อศึกษาความสามารถในการนำพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

4. เพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการในวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ จะทำให้ทราบข้อมูลในด้านประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ในรูปการลดปริมาณสารอินทรีย์ และโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำเสีย รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการนำพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้ประโยชน์ในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน และได้แนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการในวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา ซึ่งข้อค้นพบดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย แนวทางการนำพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ และแนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา อันจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนและพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

1. การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยใช้สถานที่ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ด้านริมคลองแสนแสบ ติดกับหอพักนิสิตโครงการเพชรในตมเป็นสถานที่ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบ (pilot scale) น้ำเสียที่นำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในครั้งนี้ เป็นน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อน

2. การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ จะกระทำภายหลังจากระบบบำบัดทางาน (start up) อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) รวมทั้งหมด 4 จุด ยกเว้นการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจะทำการตรวจวิเคราะห์ เพียง 2 จุด คือจุดน้ำเข้าระบบ (influent) และจุดน้ำออกจากระบบ (effluent) การเก็บตัวอย่างทั้งหมดเก็บด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (grab sampling) รายละเอียดตามแผนการวิจัย

3. ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างจะกระทำสัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ ในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ เริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 10.00 น เป็นเวลาทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง

4. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ วิเคราะห์โดยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล (Standard Method) โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดทันทีที่เก็บคือ อุณหภูมิ และค่าพีเอช ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นจะนำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการให้เสร็จภายในวันเดียวกัน

5. ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าดีโอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ

1. อุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter), รางเติมอากาศ, บ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง (Channel Flow Aeration System)

2. ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ตำแหน่งที่ 1 น้ำเข้า (influent) ตำแหน่งที่ 2 น้ำผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง, ตำแหน่งที่ 3 น้ำผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศ, ตำแหน่งที่ 4 น้ำผ่านการเติมอากาศจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง (effluent)

ตัวแปรตาม

1. อุณหภูมิ (temperature)
2. ค่าพีเอช (pH)
3. ค่าดีไอ (Dissolved Oxygen)
4. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)
5. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)
- 6.ปรอท (Mercury)
7. ตะกั่ว (Lead)
8. แคดเมียม (Cadmium)
9. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้วิธีการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ ทั้งสองแบบรวมเข้าไว้ด้วยกันคือแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยในกระบวนการบำบัดทุกขั้นตอนมุ่งเน้นการนำพลังงานที่มีในธรรมชาติและในแหล่งน้ำนั้น ๆ มาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มากที่สุด เช่น พลังงานจากสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในน้ำ พลังงานจากแรงโน้มถ่วงของโลก และพลังงานจากคลื่นน้ำที่เกิดจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบ

2. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง หมายถึง ความสามารถในการลดปริมาณสารอินทรีย์ และปริมาณโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำหลังจากน้ำเสียไปผ่านกระบวนการบำบัดตามขั้นตอนต่าง ๆ จากระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบเรียบร้อยแล้ว โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดในแต่ละขั้นตอน จะถูกนำมาทำการตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีวิเคราะห์น้ำเสียสากล (Standard Method)ตามค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าดีไอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ ตะกั่ว, ปรอท และแคดเมียม

3. ถังหมักแบบใช้ตัวกลาง หมายถึง ถังบรรจุน้ำเสียในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เพื่อให้เกิดกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) โดยภายในถังหมักแต่ละใบจะบรรจุท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 60 ท่อน เพื่อใช้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ไม่ให้ไหลปะปนออกมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนนั้นแล้ว

4. รางเติมอากาศ หมายถึง รางรูปครึ่งวงกลมทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ผ่าแบ่งครึ่งเป็นรูปราง นำมาต่อเชื่อมเรียงเป็นชั้น ๆ คล้ายรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม ใช้รับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางให้ไหลผ่านไปตามรางเพื่อให้น้ำสัมผัสกับอากาศ และเกิดกระบวนการเติมอากาศให้กับน้ำ

5. บ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง หมายถึง บ่อที่ทำการแบ่งส่วนของพื้นที่ภายในให้มีลักษณะเป็นรางเชื่อมต่อกันเพื่อเป็นการเพิ่มระยะทางการไหลของน้ำให้มากขึ้น ภายในรางติดตั้งหัวเติมอากาศจำนวน 10 หัว ที่ต่อมาจากเครื่องสูบลมพลังคลื่น และที่ส่วนท้ายของรางติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นเพื่อสูบน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้วให้กลับมาที่จุดเริ่มต้นของรางอีกครั้ง เพื่อให้น้ำไหลไปผ่านกระบวนการเติมอากาศอีกครั้งหนึ่ง

6. เครื่องสูบลมพลังคลื่น หมายถึง เครื่องมือที่เปลี่ยนพลังงานจากการเคลื่อนที่ ขึ้นลงของน้ำในขณะเกิดคลื่นจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบให้กลายเป็นพลังงานลมที่นำมาใช้ในกระบวนการเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสีย

7. เครื่องสูบน้ำพลังคลื่น หมายถึง เครื่องมือที่ทำหน้าที่สูบน้ำโดยอาศัยพลังงานจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำในขณะเกิดคลื่นจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบ

8. น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากอาคารและสถานที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดโดยวิธีการใด ๆ ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำในชุมชน

9. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง บทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้สอนสอดแทรกในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ว 101 เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต และในกิจกรรมชุมนุมที่เกี่ยวข้องกับ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาในโรงเรียนมัธยมศึกษา

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอตามลำดับดังนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับ น้ำทิ้ง น้ำเสีย น้ำเน่า และมลภาวะของน้ำ

2. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพ

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process)

2.2. ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process)

3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือแบบไร้อากาศ (Anaerobic Process)

4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของระบบการเติมอากาศแบบการไหลในราง (Channel Flow Aeration System)

5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่าง

5.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำ

5.2 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

5.3 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

5.4 การส่งตัวอย่างน้ำเข้าห้องปฏิบัติการ

6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ควรวิเคราะห์

6.1 อุณหภูมิ

6.2 สี

6.3 ค่าพีเอช (pH)

6.4 ค่าปริมาณสารทั้งหมด (TS)

6.5 ค่าปริมาณสารแขวนลอย (SS)

- 6.6 ค่าบีโอดี (BOD)
- 6.7 ค่าซีโอดี (COD)
- 6.8 ค่าดีโอ (DO)
- 6.9 โลหะหนักชนิดต่าง ๆ
- 7. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับพลังงานคลื่น
 - 7.1 ลักษณะคลื่น
 - 7.2 ชนิดคลื่น
 - 7.3 พลังงานคลื่น
- 8. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบ
 - 8.1 ชนิดของเครื่องสูบ
 - 8.2 วิศวกรรมการของเครื่องสูบ
- 9. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา
 - 9.1 ความหมายของสิ่งแวดล้อม
 - 9.2 วัตถุประสงค์ใน เรื่องสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับสากล
 - 9.3 โครงการสิ่งแวดล้อมศึกษาในกลุ่มประเทศอาเซียน
 - 9.4 แนวทางการจัดสิ่งแวดล้อมศึกษาในประเทศไทย
 - 9.5 เนื้อหาสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับมัธยมศึกษา

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับน้ำทิ้ง น้ำเสีย น้ำเน่า และมลภาวะของน้ำ

น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย (Waste Water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ มาแล้ว เช่น การชำระล้างร่างกาย เสื้อผ้า การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้าง วัสดุคืบในระดับครัวเรือน และโรงงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การล้างเครื่องจักร การหล่อเย็นเครื่องจักร ฯลฯ ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งหรือความสกปรกของน้ำทิ้ง จึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์

ของน้ำ ดังนั้นน้ำที่มาจากแต่ละแหล่งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524 : 1)

น้ำทิ้ง อาจหมายถึง น้ำซึ่งระบายลงสู่คลองหรือรางหรือท่อระบายสาธารณะเป็นน้ำซึ่งผ่านการใช้งานและถูกบำบัดมาก่อนหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นน้ำทิ้งอาจมีสภาพหรือลักษณะเช่นเดียวกับน้ำเสียก็ได้ ขึ้นอยู่กับได้รับการบำบัดมาก่อนหรือไม่ (ธงชัย พรหมสวัสดิ์. 2530 : 13 - 14)

เบญจา พวงสุวรรณ (2525 : 4) ได้กล่าวไว้ว่า น้ำทิ้ง ตรงกับคำว่า effluent ซึ่งให้คำจำกัดความดังนี้

1. ของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งไหลออกจากภาชนะบรรจุ
2. น้ำเสียหรือของเหลวชนิดอื่น ซึ่งผ่านการบำบัดเป็นบางส่วนหรืออย่างสมบูรณ์หรืออยู่ในสภาพสถานะทางธรรมชาติอย่างเดิมและถูกปล่อยออกมาจากอ่างเก็บน้ำ ถึง ระบบบำบัดน้ำเสีย หรือจากส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคารดังกล่าว

3. ท่อย่อย (branch) ปล่อยน้ำออกจากลำน้ำประธาน (main stream) หรือทะเลสาบประเภทของน้ำเสียแบ่งตามลักษณะและสาเหตุได้ดังนี้คือ

1. น้ำเน่า ได้แก่ น้ำซึ่งแสดงอาการเน่าเหม็นเนื่องจากขาดออกซิเจนในน้ำเพราะสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ถูกทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ได้แก่

- 1.1 สารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งจะถูกละลายโดยแบคทีเรียในน้ำหากมีสารอินทรีย์มาก ปริมาณออกซิเจนก็จะหมดไป

- 1.2 สารจากพวกน้ำมัน เป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะมักจะกั้นผิวหน้าไม่ให้สัมผัสกับอากาศทำให้อัตราการละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง

- 1.3 สารจากพวกปุ๋ย ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงได้มากเช่นกัน เพราะทำให้อัตราการเจริญของพื้สาหร่ายและพืชน้ำมีมากขึ้น

2. น้ำเป็นพิษ เป็นน้ำซึ่งมีสารพิษเจือปนอยู่ เช่น กรด ด่าง เกลือแร่ โลหะหนัก สารประกอบเคมีบางชนิด แม้จะไม่ก่อให้เกิดการเน่าเสียแต่ก็ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแหล่งน้ำได้สารพิษเหล่านี้เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและเมื่อ

สารพิษอยู่ในวงจรของห่วงโซ่อาหารย่อมเป็นผลเสียหยาต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อนำมาบริโภค

3. น้ำเชื้อโรค การระบายสิ่งปฏิกูลที่มีเชื้อโรคลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นการแพร่กระจายเชื้อโรค

4. น้ำร้อน เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักใช้น้ำในการระบายความร้อนแล้วปล่อยลงสู่ลำน้ำทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีพและแพร่พันธุ์ได้ดังเดิม อีกทั้งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย

5. น้ำที่มีกัมมันตภาพรังสี มักเป็นน้ำที่ใช้ระบายความร้อนจากโรงงานพลังงานปรมาณู เป็นลื่อนำกัมมันตภาพรังสีมาสู่มนุษย์ได้ (ธรรมนูญ วิจารณ์ฐานที่. 2526)

มลภาวะของน้ำ คือ การที่น้ำอยู่ในสภาพที่สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ตลอดจนวงจรชีวิตโดยมีสภาวะการดำรงชีวิตผิดไปจากธรรมชาติ เนื่องจากมีสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ทำให้สิ่งมีชีวิตเหล่านั้นอยู่ในสภาพการที่น้ำเป็นห่วง การจำแนกประเภทมลภาวะของน้ำตามแหล่งที่มาของสารมลพิษ (Pollutants) สามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ

1. มลภาวะของน้ำที่เกิดจากน้ำโสโครกของแหล่งชุมชน (Domestic Waste Water)
2. มลภาวะของน้ำที่เกิดจากน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Waste Water)

3. มลภาวะของน้ำที่เกิดจากการเกษตรกรรม (Agriculture Waste Water)

(เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. 2525 : 26)

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนมีหลายระบบเริ่มตั้งแต่ระบบบ่อตก (Oxidation Ponds) ที่ง่ายที่สุดอาศัยธรรมชาติมากที่สุด และไม่มีเครื่องจักรอุปกรณ์ใด ๆ เลยจนถึงระบบเร่งตะกอน (Activated Sludge) ที่ยุ่งยากและใช้เครื่องจักรกลมาก

ที่สุด อย่างไรก็ตามระบบบำบัดต่าง ๆ นี้อาศัยหลักการเดียวกันคือ ใช้แบคทีเรียเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นระบบบำบัดแต่ละระบบจึงแตกต่างกันตรงวิธีการให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรีย และการควบคุมกิจกรรมของแบคทีเรีย (เสริมพล รัตสุข. 2525 : 140)

ในการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน จะต้องให้อาหารเสริมให้กับน้ำทิ้งอย่างพอเพียงในปริมาณอัตราส่วน ปีไอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (BOD:N:P) สูงสุดประมาณ 100:5:1 นอกจากนี้ น้ำทิ้งต้องมีปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เช่น ต้องมีอุณหภูมิ และค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมและไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย ที่สำคัญที่สุดคือน้ำทิ้งต้องมีปริมาณออกซิเจนพอเพียง มิฉะนั้นปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนจะกลายเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำทิ้งเน่าเหม็น ซึ่งหมายถึงความล้มเหลวของระบบบำบัดแบบนี้

ในระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนอาจมีการจัดการให้แบคทีเรียบำบัดน้ำใน 2 ลักษณะ คือ

1. แบบที่แบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอย (Suspension) ได้แก่ ระบบบำบัดบ่อตก (Oxidation Ponds) ระบบบำบัดแบบเติมอากาศ (Aerated Lagoons) และระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน (Activated Sludge)

2. แบบแบคทีเรียยึดเกาะกับตัวกลางอย่างหนึ่ง (Bacterial Bed) ซึ่งอาจอยู่กับที่ (Fixed Bed) ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตัวกรองชีวภาพ (Trickling Filter) หรือ เคลื่อนที่ (Moving Bed) ได้แก่ ระบบตัวกลางแบบแผ่น (Biological Discs) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525 : 36)

ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการทำลายสารอินทรีย์นั้น อาจได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายและจากการถ่ายเทออกซิเจนตามธรรมชาติระหว่างน้ำกับอากาศ (atmospheric aeration) เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อตกจากการผสมอากาศกับน้ำทิ้งโดยใช้เครื่องมือกล (mechanical aerators) หรือ โดยการอัดอากาศลงไปในน้ำทิ้งโดยตรง (diffused aeration) เช่น ในระบบบำบัดแบบเติมอากาศ และ ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนและโดยการอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปในน้ำทิ้ง เช่น ในระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนหรือโดยการเติมออกซิเจนบริสุทธิ์ (Pure - Oxygen Activated Sludge)

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนที่นิยมใช้งานกันแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบบำบัดแบบบ่อตก (Oxidation Ponds)

หลักการระบบบำบัดบ่อตก เป็นระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ง่ายที่สุดและต้องพึ่งธรรมชาติมากที่สุด ระบบบำบัดบ่อตกใช้กันมากในสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ อินเดีย ฯลฯ ส่วนในประเทศไทย นั้นมีอยู่ที่ฐานทัพอากาศกำแพงแสน นครปฐม บริษัทนครหลวงเส้นใยจำกัด สมุทรสาคร และที่หมู่บ้านของบริษัทปูนซีเมนต์ท่าลาน ระบบบำบัดแบบนี้ เหมาะสมในกรณีที่ดินมีราคาถูก หากไม่คิดราคาที่ดินแล้ว ระบบบำบัดแบบบ่อตกจะเป็นระบบที่ประหยัดที่สุด

ระบบบำบัดบ่อตก เป็นบ่อดินธรรมดาหรือบ่อดินลาดด้วยคอนกรีต หรือวัสดุอื่นที่กันการรั่วซึมได้ การบำบัดเป็นแบบต่อเนื่องคือน้ำทิ้งจะไหลเข้าและออกจากบ่อบำบัดตลอดเวลาในระหว่างที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อบำบัด แบคทีเรียจะทำลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งด้วยปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจน ออกซิเจนเกือบทั้งหมดที่แบคทีเรียใช้ในการนี้ได้มาจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเนื่องจากอัตราการเติมออกซิเจนแบบนี้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจนอัตราเร็วของปฏิกิริยาการทำลายสารอินทรีย์ จึงค่อนข้างช้า ระบบบำบัดแบบบ่อตก จึงต้องใช้อบ่อที่มีขนาดใหญ่กินเนื้อที่มาก เนื่องจากประสิทธิภาพของ Oxidation Ponds ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่จะได้จากการสังเคราะห์แสง ระบบบำบัดน้ำจึงใช้ได้ผลดีในบริเวณที่มีแสงแดดมากเช่น ในประเทศไทย (Oswald. 1960 : 95)

2. ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoons)

หลักการ ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศเป็นระบบบำบัดที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดระบบหนึ่ง ในการบำบัดน้ำทิ้งจากชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า และโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร ถึงปฏิกิริยาของระบบนี้คือบ่อขนาดใหญ่ลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร ปฏิกิริยาการทำลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียจะเร็วกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดแบบบ่อตก เพราะมีการเติมออกซิเจนด้วยเครื่องมือกล จึงทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียถูกจำกัดด้วยอัตราการเติมออกซิเจน เช่น ในระบบบำบัดแบบบ่อตก เนื่องจากบ่อที่ใช้ในระบบนี้ลึกกว่าบ่อในระบบบำบัดแบบบ่อตกมาก และปฏิกิริยาการทำลายสารอินทรีย์เร็วกว่าหลายเท่า ในกรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์เท่ากัน ระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศจะใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบบำบัดแบบบ่อตกประมาณ 8 - 10 เท่า (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525 : 145)

3. ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน (Activated Sludge)

หลักการระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนเป็นระบบบำบัดที่ใช้เครื่องจักรกลมากที่สุดทำให้ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการบำบัดจึงสูงกว่าระบบอื่น แต่ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อยกว่ามาก ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนเป็นระบบที่ใช้กันแพร่หลายและเหมาะสมในกรณีที่ดินมีจำกัด หรือที่ดินมีราคาแพงมากและต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนมีใช้อยู่ในประเทศไทยหลายแห่ง เช่น ที่โรงงานบีบีซี โคล่า โรงงานโทรเวโนลอนไทย โรงงานกำจัดน้ำโสโครกที่ห้วยขวาง ฯลฯ

ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนมีแบบปลีกย่อยหลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการเหมือนกัน กล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นถังเติมอากาศ (Aeration Tank) และถังตะกอน น้ำทิ้งถูกสูบมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อทำปฏิกริยากับแบคทีเรีย อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้น โดยการเพิ่มทั้งปริมาณออกซิเจนและปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะทำลายปฏิกิริยาในน้ำทิ้งและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับกันเป็นตะกอนขึ้นใหญ่ ๆ มีสีน้ำตาลเข้ม ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและกวนตะกอนแบคทีเรีย เพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเติมอากาศหลังจากถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศเป็นเวลาหลายชั่วโมง ตะกอนแบคทีเรียจะไหลจากถังเติมอากาศมาเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจะได้ น้ำทิ้งที่ใสและมีค่าบีโอดีต่ำ ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่บนก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบไปเข้าถังเติมอากาศใหม่ เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ ตะกอนแบคทีเรียส่วนที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะต้องนำไปกำจัด เนื่องจากมีการหมุนเวียนน้ำตะกอนแบคทีเรียไปใช้ในระบบบำบัดอีก ดังนั้นถ้าระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมผัสกับแบคทีเรียจึงสูงกว่าค่าระยะเวลาของการเก็บกักที่เพิ่มขึ้น

ข้อสังเกตที่สำคัญคือ ในระบบบำบัดแบบเร่งตะกอนนั้น ปริมาณสารอินทรีย์เพียงไม่เกินร้อยละ 50 ที่ถูกทำลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไป ส่วนที่เหลือนั้นถูกแยกออกจากรูปของตะกอนแบคทีเรียซึ่งจะต้องนำไปกำจัดต่ออีก (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524 : 140 - 162)

2. ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือแบบไร้ออกซิเจน

(Anaerobic Process)

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจกล่าวได้ว่าเป็นการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง การบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงไม่ใช้กันแพร่หลายนักในประเทศไทยที่มีอากาศหนาวเพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้ง (Lund. 1971 : 86)

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีว่าการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนหลายประการที่สำคัญได้แก่

1. ในปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนปริมาณสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณร้อยละ 80 - 90 จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนที่ถูกลำเลียงเคราะห้สร้างเซลล์ จึงมีน้อยมาก ส่วนในปฏิกิริยาแบบใช้ออกซิเจนนั้น สารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 50 จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงมีปัญหากำจัดกากตะกอนน้อยมาก เมื่อเทียบกับปัญหากำจัดกากตะกอนของการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนเช่น ระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน (Activated Sludge)

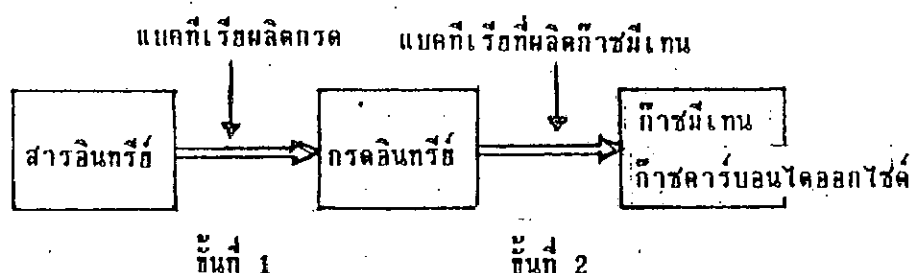
2. ในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณอาหารเสริมที่แบคทีเรียต้องการจะน้อยกว่าในระบบใช้ออกซิเจนมาก เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำ

3. การที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดลงได้มาก

4. ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

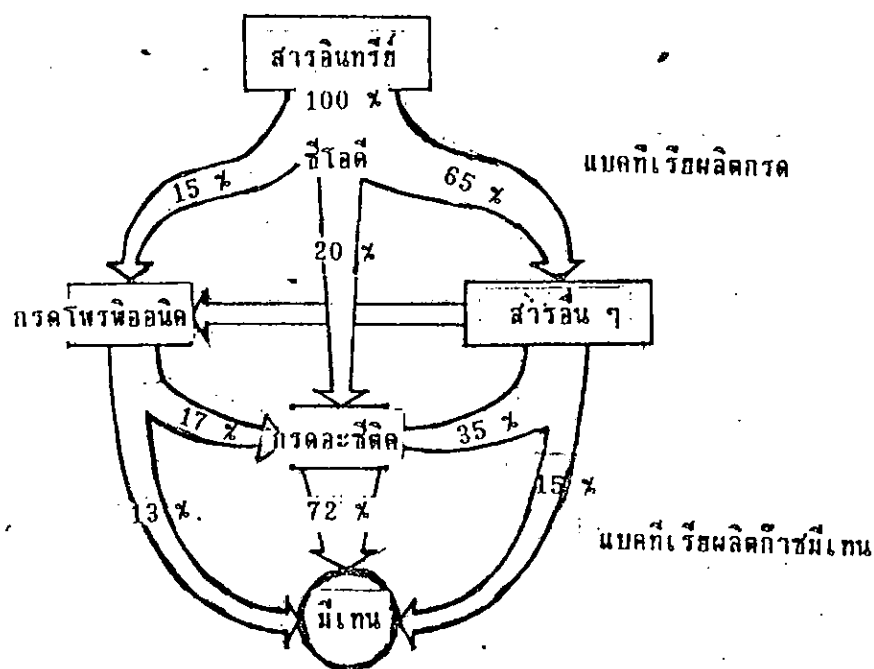
อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำทิ้งแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีข้อเสียที่สำคัญ คือ แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตช้า จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบบำบัด (start-up) และระบบบำบัดปรับตัวได้ไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำทิ้ง ปริมาณสาร อินทรีย์ อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ นอกจากนี้ในการบำบัดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็นและน้ำทิ้งอาจมีสีดำได้เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบของโลหะต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง เกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ที่มีสีดำ

ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นเป็น 2 ชั้น ดังภาพประกอบ 1 ในขั้นแรกสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่



ภาพประกอบ 1. ปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน

จะถูกแบคทีเรียประเภทที่สามารถดำรงชีวิตได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (anaerobe) และแบคทีเรียประเภทที่ดำรงชีวิตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobe) กลุ่มหนึ่งเรียกว่า แบคทีเรียที่ผลิตกรด (Acid Formers) ย่อยสลายเป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ หลายชนิด ที่สำคัญที่สุด ได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic Acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) ภาพประกอบ 2 แสดงแนวทางการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง เมื่อถูกบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์จะกลายเป็นกรดอะซิติกไปถึงร้อยละ 72 ในขั้นนี้สารอินทรีย์เพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ค่าซีโอดีจะยังไม่เปลี่ยนแปลงเพราะกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก็เป็นสารอินทรีย์ เนื่องจากการย่อยสลายยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการบำบัดในขั้นนี้จึงเป็นการเตรียมการเพื่อการบำบัดขั้นต่อไป



ภาพประกอบ 2 การเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ในขั้นที่สอง กรดอินทรีย์ต่าง ๆ จะถูกแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทน (Methane Formers) ย่อยสลายต่อเป็นก๊าซต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ค่าซีไอดีลดลง

ทั้งแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรด (Acid Formers) จะมีหลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มมีความสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เพียงไม่กี่ชนิด เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมีหลายชนิดการบำบัดด้วยวิธีไม่ใช้ออกซิเจนจึงต้องการแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน และแบคทีเรียที่ผลิตกรดหลายกลุ่ม แต่กลุ่มที่สำคัญที่สุดได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนที่สามารถเปลี่ยนกรดอะซิติกและกรดโพรฟอนิค ให้เป็นก๊าซมีเทนแบคทีเรียกลุ่มนี้เจริญเติบโตได้ช้า โดยทั่วไปต้องการเวลาอยู่ในระบบบำบัดนานกว่า 4 วัน (McCarty, 1964 : 101)

ขบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจเปรียบได้กับขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การเปลี่ยนวัตถุดิบ (คือสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ (คือก๊าซมีเทน) ย่อมต้องอาศัยกลุ่มคนงาน (คือแบคทีเรีย) หลายกลุ่ม แต่ละกลุ่มต้องทำงานสัมพันธ์กันถ้ากลุ่มใดกลุ่มหนึ่งไม่ทำงาน ขบวนการผลิตก็จะหยุดชะงักทันที ในกรณีของระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน การทำงานของแบคทีเรียกลุ่มต่าง ๆ จะต้องสัมพันธ์กัน ที่สถานะสมดุลกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูกแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนทำลายได้ทันทีถ้าแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนย่อยสลายกรดอินทรีย์ไม่ทันความเข้มข้นของกรดอินทรีย์จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดปริมาณกรดอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Acids) จึงมีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบบำบัด

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัด ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี หรือ ซีโอดีในปริมาณ 1 ปอนด์ จะเกิดก๊าซมีเทนขึ้นประมาณ 5.62 ลูกบาศก์ฟุต ที่สภาวะมาตรฐาน (STP) คืออุณหภูมิ 32 องศาฟาเรนไฮต์ และความกดดัน 1 บรรยากาศ

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่สำคัญได้แก่

1. อุณหภูมิ ปฏิกริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิสองช่วงคือ ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) ระหว่าง 30 - 38 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์มอฟิลิก (Thermophilic) ระหว่าง 48 - 57 องศาเซลเซียส ในต่างประเทศที่อยู่ในเขตนานาชาติ จำเป็นจะต้องเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้งอยู่ในช่วงมีโซฟิลิก แต่สำหรับประเทศไทยนั้น ระบบบำบัดจะทำงานอยู่ในช่วงมีโซฟิลิกได้เอง โดยไม่ต้องใช้ความร้อนช่วยเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำความร้อนสูงมาก จึงไม่นิยมออกแบบระบบบำบัดให้อยู่ในช่วงเทอร์มอฟิลิก

2. สภาพไร้ออกซิเจน น้ำทิ้งจนถึงปฏิกริยาต้องไม่มีออกซิเจนอยู่เลย เนื่องจากออกซิเจนเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน

3. อาหารเสริม น้ำทิ้งควรมีอาหารเสริมสร้างพอเพียงแก่การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยทั่วไปต้องการธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วนร้อยละ 11 ต่อร้อยละ 2 ของปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้น ดังนั้น ถ้าปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นประมาณ 0.1 ก.ก. ต่อ 1 ก.ก. ของปริมาณบีโอดีที่ถูกทำลาย อัตราส่วนระหว่างบีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (BOD:N:P) จะเป็นเพียง

100 : 1.1 : 0.2 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วน บีโอดี : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส (BOD:N:P)

ประมาณ 100 : 5 : 1 ของระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน

4. ความเป็นกรด-ด่าง ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 ถ้าค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพของระบบบำบัดจะลดลง ที่ค่าต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะที่เป็นกรดนั้นจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน

5. สารที่เป็นพิษ ในระบบบำบัดจะต้องไม่มีสารที่เป็นพิษต่อแบคทีเรีย สารที่เป็นพิษได้แก่ สารประกอบของโลหะ เช่น โซเดียม โบรไมด์ ซีลีเนียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฯลฯ ที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525 : 163)

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นิยมใช้งานกันแบ่งออกเป็น 4 ระบบคือ

1. ระบบบ่อหมัก (Anaerobic Lagoons)

หลักการระบบบ่อหมักเป็นวิธีบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ง่ายที่สุด ซึ่งเทียบเคียงได้กับระบบบ่อบำบัด (Oxidation Ponds) กล่าวคือเป็นระบบที่ไม่ใช้เครื่องจักรกล และอาศัยธรรมชาติมากที่สุด ตัวบ่อหมักเป็นบ่อดินขนาดใหญ่ 2 - 3 เมตรน้ำทั้งที่จะใช้เวลาอยู่ในบ่อหลายวันก่อนที่จะไหลล้นออกไป ในระหว่างที่น้ำทั้งอยู่ในบ่อสารอินทรีย์ในน้ำทั้งจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้น้ำทั้งเน่าเหม็น มีสีดำและมีค่าบีโอดีลดลง ระบบบำบัดระบบนี้เหมาะสำหรับกำจัดน้ำทั้งที่มีค่าบีโอดีสูง มีความเหมาะสมที่สุด ในกรณีที่ดินมีราคาแพงนัก และใช้ที่ดินน้อยกว่าระบบบ่อบำบัด ประมาณ 10 - 30 เท่า ข้อเสียของระบบบ่อหมัก คือ ปัญหาเรื่องกลิ่น แต่หากบ่อหมักทำงานดีแล้วกลิ่นเหม็นจะไม่รุนแรงนักกลิ่นจะอยู่ในระดับเดียวกับกลิ่นเหม็นของคลองต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร

ระบบบ่อหมักมีการใช้อยู่หลายแห่งในประเทศไทย เช่น ที่โรงงานน้ำตาล สุขาภิบาลบางแค โรงงานน้ำตาลหลายโรงบริเวณแม่น้ำแม่กลอง โรงงานกำจัดน้ำทั้งกลางของกรมโรงงานอุตสาหกรรม และโรงงานแป่งมันสำปะหลังหลายแห่งที่จังหวัดชลบุรี และระยอง ผลการกำจัดน้ำทั้งด้วยระบบบ่อหมักทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ สรุปรวบรวมผลดังตาราง 1 (McCarty. 1964 : 136)

ตาราง 1 แสดงผลการกำจัดน้ำทิ้งด้วยระบบบ่อหมัก (Anaerobic Lagoons)

ประเภทของน้ำทิ้ง	ค่าบีโอดี ₅ มก/ล	อัตราการรับปริมาณบีโอดี ปอนด์/เอเคอร์/วัน	ประสิทธิภาพในการลดบีโอดี ₅ %
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ	176	750	75
น้ำโสโครกจากบ้านเรือน	133 - 695	866 - 1321	58 - 78
โรงงานสุรารวม กับโรงงานน้ำตาล	16,000	335.6	89
ในประเทศอินเดีย			

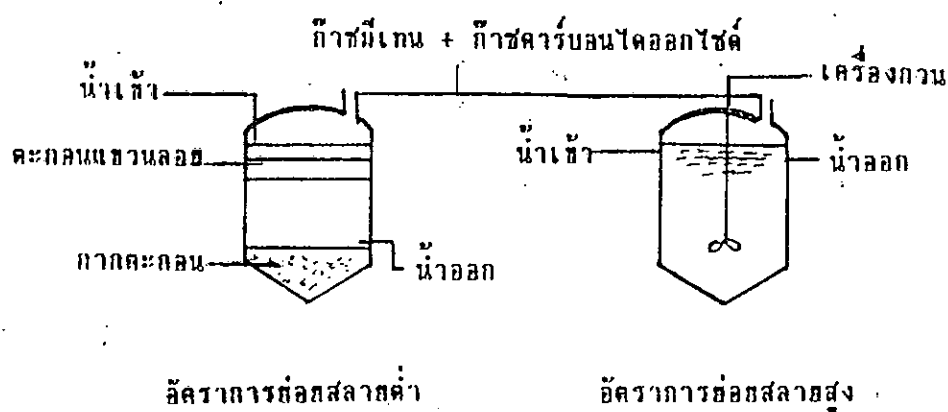
การคำนวณและออกแบบ การออกแบบระบบบ่อหมักยังคงต้องอาศัยการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไม่มีสูตรในการคำนวณที่เป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ค่ากำหนดในการออกแบบที่สำคัญคือ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (BOD Loading) หรือ อัตราการรับปริมาณบีโอดีของบ่อหมัก ซึ่งมีหน่วยเป็น ปอนด์/เอเคอร์/วัน หรือ กก/ม²/วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดจะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อหมักเวลาที่น้ำทิ้งอยู่ในบ่อหมัก และอัตราการรับปริมาณบีโอดีสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (2523) ได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานเป้งมันสำปะหลังด้วยระบบบ่อหมักได้พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการรับปริมาณบีโอดี แต่ค่าความเป็นกรด-เบสจะลดลงตามการเพิ่มของอัตราการรับปริมาณบีโอดี ประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าน้ำทิ้งมีค่าความเป็น pH ต่ำกว่า 6 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกัก (HRT) มีความสำคัญน้อยมากต่อประสิทธิภาพในการบำบัด แต่ค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักไม่ควรน้อยกว่า 2 วัน

จะเห็นว่าสำหรับน้ำทิ้งปริมาณหนึ่งซึ่งมีค่าบีโอดี 5 ค่าหนึ่ง ปริมาณบีโอดีจะคงที่ ดังนั้น ถ้าให้ความลึกของบ่อหมักมีค่าคงที่ อัตราการรับปริมาณบีโอดีจะสัมพันธ์กับปริมาตรของบ่อ และค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกัก คือถ้าเพิ่มอัตราการรับปริมาณบีโอดี ปริมาตรของบ่อและค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจะลดลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าลดค่าอัตราการรับปริมาณบีโอดี ปริมาตรของบ่อและค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจะเพิ่มขึ้น

ระบบบ่อหมักโดยปกติจะประกอบด้วยบ่อหมักหลายบ่อ (2 - 3 บ่อ) เรียงกันแบบอนุกรม เพื่อลดค่าบีโอดี 5 ของน้ำทิ้งลงไปเป็นขั้น ๆ จนค่าบีโอดี 5 ค่า เหมาะแก่การกำจัดด้วยระบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้ น้ำทิ้งไม่เน่าเหม็นมีสีดำ และมีออกซิเจนพอสมควร การออกแบบเขื่อนคันดิน ท่อระบายน้ำ และส่วนอื่น ๆ ของตัวบ่อหมักมีหลักการเช่นเดียวกับระบบบำบัดแบบบ่อตาก (Oxidation Ponds) (เสริมพล รัตสุขและไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525 : 222)

2. ระบบคอนเวนชันนอล แอนเอโรบิค ไดเจสชัน (Conventional Anaerobic Digestion)

หลักการ ระบบระบบคอนเวนชันนอล แอนเอโรบิค ไดเจสชัน เป็นระบบที่มีความยุ่งยากใช้เครื่องมือกลเพิ่มขึ้นจากระบบบ่อหมัก (Anaerobic Lagoons) ระบบกำจัดจะประกอบด้วยถังปฏิกริยา ซึ่งเป็นถังคอนกรีตกลมมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่นก๊าซ และทำให้ภายในถังปฏิกริยามีสภาพไร้ออกซิเจนอย่างแท้จริง บนผาถังมีทางระบายก๊าซมีเทนออกเพื่อป้องกันการระเบิด ซึ่งอาจนำเอาก๊าซไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง น้ำทิ้งในถังปฏิกริยาจะถูกกวนอยู่ตลอดเวลาโดยใช้เครื่องกวนเครื่องสูบน้ำแบบเกลียว (Screw Pump) ดังภาพประกอบ 3 หรือนำก๊าซมีเทนที่ได้มาอัดลงไปในน้ำทิ้งการกวนจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น ดังนั้น อัตราการลดลงของบีโอดีในระบบนี้จึงเร็วกว่าในระบบบ่อหมักมาก



ภาพประกอบ 3 แผนผังระบบคอนเวนชันนอล แอนแอโรบิก โดเจสชัน

Conventional Anaerobic Process

จากภาพประกอบ 3 จะเห็นได้ว่า ลักษณะการบำบัดในถังปฏิกริยาจะเป็นการผสมที่สมบูรณ์ (Complete Mix) ที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำจุลินทรีย์กลับมาใช้อีก ซึ่งเทียบได้กับลักษณะการบำบัดในระบบบำบัดแบบป่อเติมอากาศ (Aerated Lagoons) ดังนั้น ที่สถานะสมดุลปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจะต้องเท่ากับปริมาณแบคทีเรียที่สูญเสียไปกับน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกริยา มิฉะนั้นระบบบำบัดจะทำงานไม่ได้ผล ดังนั้น เวลาที่ใช้ในการบำบัดจึงต้องนานมาก

ระบบ คอนเวนชันนอล แอนแอโรบิก โดเจสชัน โดยทั่วไปใช้บำบัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีสูง เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจน และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น โรงงาน อุตสาหกรรมผลิตสุรา หรือผลิตน้ำตาล ฯลฯ

การคำนวณออกแบบระบบ คอนเวนชันนอล แอนแอโรบิก โดเจสชัน จำเป็นต้องคำนวณหา เวลาในการบำบัดที่ต้องใช้สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดที่ต้องการ สำหรับระบบคอนเวนชันนอล แอนแอโรบิก โดเจสชัน ค่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักจะเท่ากับค่าระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมพันธ์กับแบคทีเรีย เนื่องจากไม่มีการนำแบคทีเรียกลับมาหมุนเวียนใช้ในระบบอีก ตาราง 2 แสดงค่าระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมพันธ์กับแบคทีเรียที่ควรวางในการออกแบบสำหรับค่าอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

ตาราง 2 แสดงระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมผัสกับแบคทีเรีย (Solid Retention Time หรือ SRT) ที่ควรใช้ในการออกแบบระบบบำบัดที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาฟาเรนไฮต์)	ค่าต่ำสุด(วัน)	ค่าที่ควรใช้
65	11	28
75	8	20
85	6	14
95	4	10
105	4	10

จากค่า SRT สามารถคำนวณปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$A = \frac{aF}{1 + b (SRT)}$$

ในเมื่อ A = ปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นวัดเป็นค่าของของแข็งที่ระเหยกลายเป็นไอได้ (Volatile Solids), ปอนด์/วัน

F = ปริมาณปฏิกิริยาทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ, ปอนด์/วัน

a = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

b = สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (endogeneous respiration rate)

ค่า a และ b หาได้จากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ ตาราง 3 แสดงค่า a และ b ของน้ำทิ้งบางชนิด

ตาราง 3 แสดงค่า a และ b ของน้ำทิ้งบางชนิด

สารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง	a	b
กรดไขมัน (Fatty Acid)	0.054	0.038
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)	0.240	0.033
โปรตีน (Protein)	0.076	0.014

ในทางปฏิบัติ การคำนวณออกแบบระบบบำบัดยังคงอาศัยผลการศึกษาดทดลองในห้องปฏิบัติการและโรงงานต้นแบบ (pilot plant) ทาประสิทธิภาพในการบำบัดที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ต่าง ๆ กัน ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์คิดเป็นปอนด์/ปริมาตร ถึงปฏิกิริยา/วัน เช่น ปอนด์/1,000 ฟ³/วัน เพื่อเลือกค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังทดสอบอิทธิพลของสภาพแวดล้อมที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลของ pH และปริมาณอาหารเสริมสร้าง โดยทั่วไปค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์จะอยู่ระหว่าง 50 ถึง 250 ปอนด์ ปอนด์/1000 ฟ³/วัน

จะเห็นได้ว่า สำหรับปริมาณน้ำทิ้งค่าหนึ่ง และความเข้มข้นของบีโอดี ค่าหนึ่งค่าระยะเวลาที่สารอินทรีย์ สัมผัสกับแบคทีเรียจะขึ้นอยู่กับค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2525 : 225)

3. ระบบแอมแอโรบิค คอนแทค (Aaerobic Contact)

หลักการ เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Formers) เจริญเติบโตได้ช้า ระบบบำบัดแบบ คอนเว็นชันนอล แอมแอโรบิค ไดเจสชัน (Conventional Anaerobic Digestion) จึงต้องใช้เวลานานมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีต่ำและมีปริมาณมาก เพราะจะต้องสร้างถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่มาก ระบบแอมแอโรบิค คอนแทค เป็น

ระบบที่จะแก้ปัญหานี้ โดยอาศัยหลักการเดียวกันกับระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน กล่าวคือ มีการแยกตะกอนแบบที่เรี่ยออกจากน้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกริยาแล้วนำตะกอนกลับมาใช้ในการบำบัดอีกครั้ง ทำให้ค่าระยะเวลาที่สารอินทรีย์สัมผัสกับแบคทีเรียเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มระยะเวลาเก็บกักหลายเท่า จึงสามารถลดขนาดของถังปฏิกริยาลงได้

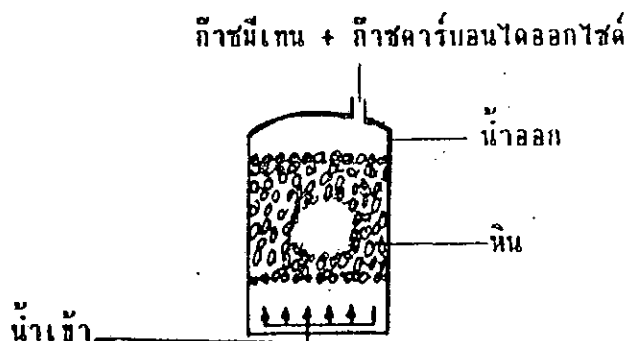
ระบบแอนเอโรบิค คอนเทค เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีปานกลาง ผลการบำบัดน้ำทิ้ง ด้วยระบบบำบัดแบบนี้อาจมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึงร้อยละ 95 (Eckenfelder.1996 : 126))

ข้อยุ่งยากของระบบแอนเอโรบิค คอนเทค คือการแยกตะกอนแบบที่เรี่ยออกจากน้ำทิ้งที่ระบายออกจากถังปฏิกริยา เนื่องจากน้ำทิ้งมีฟองก๊าซปนอยู่มาก จึงทำให้ ตะกอนลอยขึ้นสู่ผิวหน้า แทนที่จะจมลงก้นถังแต่ อาจแก้ปัญหานี้ได้โดยนำน้ำทิ้งมากำจัดก๊าซเสียก่อน โดยใช้เครื่องไล่ก๊าซสุญญากาศ (Vacuum Degasifier) เนื่องจากตะกอนไม่เข้มข้นนัก จึงทำให้ปริมาณน้ำตะกอนที่สูบกลับไปเข้าถังปฏิกริยามากกว่าปริมาณน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบประมาณ 2 ถึง 4 เท่า

การคำนวณออกแบบระบบใช้หลักการเดียวกับของระบบคอนเวนชันแนล แอนเอโรบิค ไคเจสชั่น (McCarty. 1964 : 103)

4. ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter)

หลักการ ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลางมีหลักการคล้ายคลึงกับระบบกรองชีวภาพ (Trickling Filter) ดังภาพประกอบ 4 คือ ถังปฏิกริยาเป็นถังกลมสูงประมาณ 2 - 3 เมตร ภายในถังมีตัวกลาง (Medium) เช่น ก้อนหินบรรจุอยู่เต็ม น้ำทิ้งจะถูกปล่อยเข้ามาทางก้นถังแล้วไหลออกทางตอนบน (upward flow) แบคทีเรียที่เจริญจะยึดเกาะตัวกลางเป็นฟิล์มและเกาะกันเป็นตะกอนติดอยู่ตามช่องว่างระหว่างตัวกลาง-จึงทำให้ค่า SRT สูงกว่าค่า HRT มาก ด้วยเหตุนี้ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลาง จึงสามารถใช้น้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีไม่สูงนักได้เช่นเดียวกับระบบแอนเอโรบิค คอนเทค แต่ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลางง่ายกว่าระบบแอนเอโรบิค คอนเทคมากเพราะไม่ต้องมีการตกตะกอนและไม่ต้องมีการสูบตะกอนจากก้นถังตกตะกอนกลับมาเข้าถังปฏิกริยาอีก



ภาพประกอบ 4 แผนผังระบบตัวหมักแบบใช้ตัวกลาง

ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลางยังไม่มีที่แพร่หลายกันนักในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว ทั้งนี้ เพราะถ้าน้ำทิ้งมีค่า บีโอดี ต่ำกว่า 10,000 มก/ล แล้วก๊าซมีเทนที่ได้จะมีปริมาณไม่มากพอที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้งได้ จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงกว่าวิธีการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน เช่นระบบเร่งตะกอน แต่สำหรับในประเทศไทยจะไม่มีปัญหาเรื่องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทิ้ง ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบใช้ตัวกลาง จึงน่าจะเป็นระบบที่เหมาะสมและประหยัดที่สุด

ระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลางสามารถรับปริมาณ บีโอดี ได้พอ ๆ กับระบบบำบัดแบบเร่งตะกอน หรือแบบกรองชีวภาพ คือ มากกว่า 200 ปอนด์ ซีโอดี/1000 ฟ³/วัน ประสิทธิภาพในการบำบัดจะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 60 - 95

การออกแบบ การคำนวณออกแบบระบบถังหมักแบบใช้ตัวกลาง ยังต้องอาศัยผลการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปประสิทธิภาพบำบัดจะลดลง ถ้าอัตราการรับปริมาณ ซีโอดี เพิ่มขึ้น จากค่าอัตราการรับปริมาณ ซีโอดี สามารถคำนวณหาปริมาตรของตัวกลางได้

ประสิทธิภาพในการบำบัดจะมีค่าสูงสุดทางตอนล่างของถังปฏิกริยาและจะมีตะกอนแบคทีเรียมากที่สุดบริเวณนั้น ส่วนบนของถังปฏิกริยาจะช่วยทำให้น้ำทิ้งใสขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของแบคทีเรีย เพราะขาดแคลนอาหาร ดังนั้นความสูงของถังปฏิกริยาจึงไม่ควรน้อยกว่า 4 ฟุต (McCarty. 1964 : 121)

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาการของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนหรือแบบไร้อากาศ (Anaerobic Process Development)

การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการแบบไร้ออกซิเจน ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศส โดย เอ็ม หลุยส์ มัวราส (M. Lousis Mouras) โดยได้ลงพิมพ์ในวารสารฝรั่งเศสชื่อ คอสโมส (Cosmos) ในเดือนธันวาคม ค.ศ.1881 และมกราคม ค.ศ.1882 เรียกกระบวนการนี้ว่า มัวราส ออโตเมติก สกาเวนเจอร์ (Mouras Automatic Scavenger) โดยอาศัยย่อยสลายตะกอนแขวนลอยสารอินทรีย์ในน้ำเสีย รูปร่างและวิธีการทำงานคล้ายกับถังเกรอะ (septic tank) ในรุ่นแรก ๆ

ต่อมา สก็อตต์ มอนครีฟ (W.D. Scott-Moncrieff) ได้ศึกษาการสลายตัวเป็นของเหลว (lique-faction) ของของแข็งในน้ำเสียในสภาพไร้ออกซิเจน ในปี ค.ศ.1890 และ ค.ศ.1891 โดยก่อสร้างเป็นถังสองส่วน ส่วนล่างเป็นถังว่างส่วนบนเป็นชั้นหิน น้ำเสียจากคน 10 คน ถูกนำไปเข้ายังส่วนล่างและไหลขึ้นไปยังชั้นหินส่วนบน ซึ่งถือได้ว่าเป็นการนำเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนมาใช้เป็นครั้งแรกหลังจากการใช้งานอยู่นานถึงเจ็ดปีก็ได้พบว่า ตะกอน (sludge) ยังมีไม่เต็มถึงและสามารถนำไปทิ้งได้เลย ซึ่งข้อดีของวิธีนี้ได้รับการยืนยันจาก ฮุสตัน (A.C.Houston) ซึ่งได้พบว่าปริมาณของตะกอนที่ต้องนำไปทิ้งมีน้อยมาก

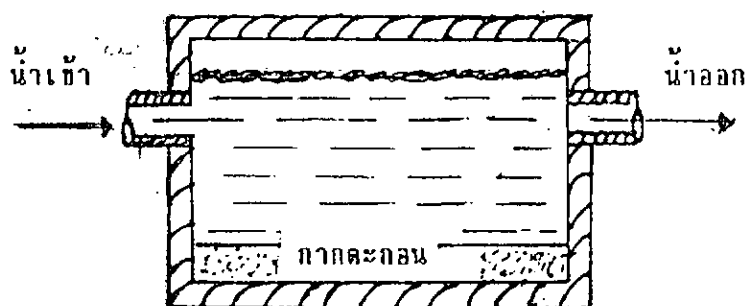
ในปี ค.ศ.1894 ได้มีรายงานจากสมาคมสุขภาพแห่งรัฐแมสซาชูเซต (Massachusetts State Board of Health) โดยกล่าวถึงข้อดีของการเก็บกักของแข็งในน้ำเสียเอาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้เกิดการทำงานทางแตกตัวด้วยน้ำ (hydrolytic) และการย่อยสลายด้วยแบคทีเรีย (bacteriolytic) เปลี่ยนสารอินทรีย์ไปเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นเหม็น และสารประกอบที่สามารถละลาย

น้ำและออกไปกับน้ำเสียออก (out-flowing wastewater) ได้ นอกจากนั้นยังได้แนะนำว่า การสูบน้ำทิ้งทำเป็นครั้งคราวเท่าที่จำเป็น เนื่องจากแบคทีเรียเจริญเติบโตได้ช้า

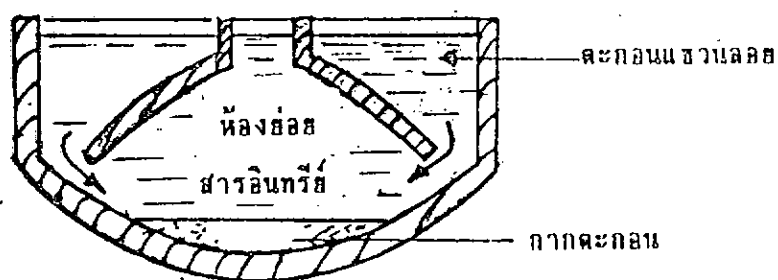
โดนัล คาเมรอน (Donald Cameron) ได้ก่อสร้างถังคล้ายกับ มัวร์ส ออโตเมติก สกาเวนเจอร์ ขึ้น ในประเทศอังกฤษเมื่อปี ค.ศ.1895 เพื่อบำบัดน้ำเสียขั้นแรกจากน้ำเสียรวม ซึ่งผ่านการกรองแล้ว (screened combined wastewater) ปริมาณประมาณ 230 ลบ.ม./วัน ซึ่งได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์และเรียกว่าถังเกรอะ (Septic Tank) ค.ศ. ในปี 1893 คาเมรอน (Cameron) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบนี้ทางด้านวิศวกรรมจนมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ซึ่งต่อมาเมืองอีเซเตอร์ (Exeter) ได้ยอมรับและใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้กับน้ำเสียทั้งหมดของเมือง สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา เทบอท (A.N. Talbot) ได้ออกแบบระบบคล้ายกันนี้ให้กับเมืองอุบานา (Urbana) มลรัฐอิลลินอยส์ (Illinois)

ในปี ค.ศ.1898 คาเมรอนได้นำก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากถังเกรอะที่เมืองอีเซเตอร์มาใช้ในการทำความร้อนและแสงสว่างในโรงบำบัดน้ำเสีย ต่อมาในปี ค.ศ.1897 มีรายงานว่าที่นิคมโรคเรื้อน มาตunga (Matunga) เมือง บอมเบย์ (Bombay) ได้มีการเก็บก๊าซจากถังบำบัดน้ำเสียและนำมาใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์

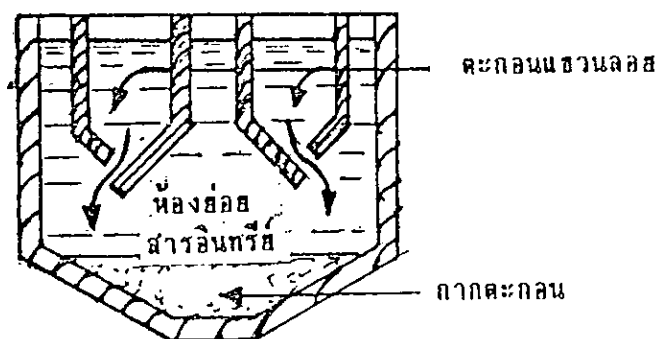
ในปี ค.ศ.1904 วิลเลียม โอ ทราวิส (William O. Travis) เจ้าหน้าที่สาธารณสุขผู้ควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียที่เมืองแฮมตัน (Hampton) ได้ใช้กระบวนการแบบสองขั้นตอน (two-stage process) ตามภาพประกอบ 5 ซึ่งตะกอนแขวนลอยจะถูกแยกออกจากน้ำเสียไปรวมอยู่ในช่องเก็บตะกอน (Hydrolyzing - Chamber (Buswell, 1930 : 20) นอกจากนั้นยังมีแผ่นกั้นน้ำ (baffles) จนถึงเพื่อกักตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กที่ไม่ตกตะกอนเอาไว้อีกด้วย



ถังเกรอะ



ถังทราฟ



ถังอินสอฟฟ์

ภาพประกอบ 5 ถังบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนระยะแรก

ทราวิส (Travis) มีความเห็นว่าควรจะให้น้ำเสียบางส่วนไหลผ่านช่องเก็บตะกอน แต่ตามความจริงแล้วจะเป็นการสร้างปัญหาเกี่ยวกับตะกอนแขวนลอยและเน่าเหม็น (septic conditions) ให้กับน้ำออก (effluent) งานก่อสร้างถังทราวิส (Travis Tank) ได้เริ่มต้น ในปี ค.ศ. 1905 แต่ได้ถูกดัดแปลงแก้ไขโดยคาร์ล อิมฮอฟฟ์ (Karl Imhoff) (Buswell. 1930 : 86) เมื่อเขาได้มาเป็นวิศวกรที่สำนักงานระบายน้ำของเมือง เอ็มเชียร์ (Emscher) และเรียกชื่อใหม่ว่า ถังอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Tank) ซึ่งมีข้อแตกต่างจากถังทราวิส ตรงที่ไม่นำให้น้ำเสียไหลผ่านช่องเก็บตะกอน ทำให้ตะกอนถูกเก็บอยู่ด้านล่างหลายสัปดาห์ถึงหลายเดือน และหากควบคุมการทำงานอย่างถูกต้องก็จะไม่มีกลิ่นเหม็น สามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนการใช้ถังแบบอิมฮอฟฟ์ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำตะกอนไปทิ้งทำให้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหรัฐอเมริกา เพราะเป็นทางเลือกที่ดีนอกจากถังเกรอะ ในปี ค.ศ. 1914 พบว่ามี 75 เมือง และสถาบันต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกาได้รับอนุญาตให้ใช้ถังอิมฮอฟฟ์ ได้ (Mah and Susman. 1968 : 135)

ถังอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Tank) มีถังย่อยแยกอยู่ต่างหาก ซึ่งเป็นข้อที่ดีกว่าถังเกรอะ อย่างชัดเจน แต่ก็ยังคงมีปัญหว่า ถังย่อย (Digestion Tank) ต้องอยู่ติดกับถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) และมีความสูงมาก ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้พยายามที่จะแยกถังย่อยออกจากถังตกตะกอน

ระบบถังเกรอะและถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Septic and Anaerobic Filter) เพกและคนอื่น ๆ (Phakde and others) (McCarty. 1961 : 92) ศึกษาการใช้ถังเกรอะบำบัดน้ำเสียพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดปฏิกิริยา มีค่าประมาณร้อยละ 20 - 50 การเพิ่มระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสูงขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย พบว่าที่เวลากักเก็บน้ำเสียประมาณ 20 วัน ถังเกรอะจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดปฏิกิริยาได้ประมาณร้อยละ 80

ในปี ค.ศ.1933 แบบบิท และบัวแมน (Babbitt and Baumann) ได้ใช้ถังเกรอะชนิดต่าง ๆ กัน 6 ชนิด โดยให้รับน้ำเสียรวม และมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำประมาณ 30 ชม. พบว่า ถังเกรอะแบบรวม (Conventional Septic tank) มีค่าเฉลี่ยของบีโอดีที่ออกจากถัง 91 มก./ล. โดยน้ำเสียที่เข้าสู่ถังมีค่าบีโอดี เฉลี่ยประมาณ 320 มก./ล.

ในปี ค.ศ.1949 ยัง และแมคคาตี (Young and McCarty) ได้ทำการศึกษาและวิจัยเรื่องถังกรองไร้ออกซิเจนการวิจัยได้นำทั้งเยลิม 2 ชนิด คือ น้ำเสียที่มีส่วนผสมของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (Protein - Carbohydrate Waste) และ น้ำเสียที่มีกรดวาทาลิต (Votalite Acid Waste) ผลการวิจัยพบว่า ในสภาวะของภาระบรรทุกในรูปบีโอดี (COD Loading) เดียวกัน ประสิทธิภาพการลดของค่าบีโอดีเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับค่าของความเข้มข้นบีโอดีหรือบีโอดีของน้ำเสียนั้น ๆ

ในปี พ.ศ.2518 สุรพล สายพานิช ได้ศึกษาและวิจัยถังกรองไร้ออกซิเจนในการทำควมสะอาดน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ถังกรองไร้ออกซิเจนสามารถทำงานโดยรับปริมาณบีโอดีได้สูงถึง 4.0 กก./ลบ.ม.-วัน และสามารถลดบีโอดีได้ถึงร้อยละ 92 ถังกรองไร้ออกซิเจนทำงานได้ดีโดยไม่ต้องมีการควบคุมองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ค่าปริมาณบีโอดี 1.4 กก./ลบ.ม.-วันให้ค่าการลดบีโอดีได้ร้อยละ 94

ในปี ค.ศ.1953 รามาน และเชคလာเดอรี (Raman & Chakladar) ได้ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลของถังกรองไร้ออกซิเจนในการทำควมสะอาดน้ำเสียที่ผ่านออกจากถังเกรอะ ทำการทดลองในประเทศอินเดียโดยตั้งถังกรองไว้ในเมืองต่าง ๆ 3 แห่ง พบว่า ถังกรองไร้ออกซิเจนทั้ง 3 แห่งสามารถลดค่าบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 65 - 75 บีโอดีน้ำเสียที่ผ่านถังกรองมีค่าประมาณ 35 - 70 ก./ลบ.ม. ประสิทธิภาพการลดบีโอดีมีค่าประมาณร้อยละ 55 - 68

ในปี ค.ศ.1959 โรแมน และคาน (Raman and Khan) ได้ทดลองและวิจัยถึงกรองไรร็อกซิเจนทำความสะอาดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย ทั้งการทดลองในห้องทดลองและในสนาม ถึงกรองที่ใช้ทดลองในห้องทดลองเป็นท่อขนาด 0.10 ม. ใช้หินขนาด 20 - 25 มม. ความสูงของหินกรอง 1 - 2 ม. ผลการวิจัยพบว่า ถึงกรองไรร็อกซิเจนสามารถลดบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 70 - 80 บีโอดีของน้ำที่ผ่านถึงกรองไรร็อกซิเจนมีค่าประมาณ 25 - 30 มก./ล. ปริมาณการกรองมีค่าประมาณ 3.4 ลบ.ม./ตร.ม. / วัน ปริมาณบีโอดีมีค่าประมาณ 0.34 ก./ลบ.ม./วัน อุณหภูมิระหว่างทดลองประมาณ 23 - 32.5 °C ถึงกรองไรร็อกซิเจนสามารถทำงานได้นาน 1.5 ถึง 2 ปีโดยไม่มีการอุดตัน

ในปี ค.ศ.1962 เจนัง และคนอื่น ๆ (Genung and other) ได้ศึกษาเครื่องกรองแบบไรร็อกซิเจนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.64 ม. สูง 6 ม. บำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีความเข้มข้นบีโอดี 60 - 220 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 15 - 20 °C โดยมีระยะเวลาการกักเก็บน้ำ 2.5 - 10.5 ชม. รับน้ำเสียในอัตรา 19 ลบ.ม./วัน ปรากฏว่า เครื่องกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีร้อยละ 55

ในปี ค.ศ.1983 โทบาชียาชิ (Kobayashi) ได้ศึกษาเครื่องกรองไรร็อกซิเจนห้องปฏิบัติการทำด้วยท่อโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 37 นิ้ว รับน้ำเสียจากบ้านเรือน ซึ่งมีค่าซีโอดีเฉลี่ย 288 มก./ล. ที่อุณหภูมิ 20, 25 และ 35 °C ตามลำดับ โดยมีภาระบรรทุกในรูปบีโอดี 0.32 ก./ลบ.ม.-วัน ปรากฏว่าเครื่องกรองมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 73 ที่อุณหภูมิ 25 °C และ 35 °C ไม่พบความแตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิ 20 °C ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดลง

ในปี พ.ศ.2521 บุญสิน สุภัทวงศ์ ได้ศึกษาเครื่องกรองไรร็อกซิเจน ใช้ถึงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.57 ม. สูง 0.5 ม. และ 1 ม. ภายในบรรจุหินเพื่อบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนที่มีค่าซีโอดีเฉลี่ยก่อนเข้าเครื่องกรองไรร็อกซิเจน 160 มก./ล. ประสิทธิภาพการทำงานของถึงกรองทั้ง 2 ขนาด มีค่าใกล้เคียงกันมาก ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีประมาณร้อยละ 70 โดยมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง

ในปี พ.ศ.2522 สุเมธ ชวเดช และเสริมพล รัตสุข ได้ทำการพัฒนาถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter) โดยใช้ตัวกลางไม้รวกเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเฉลี่ย 1.51 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย 2.33 ซม. สูงเฉลี่ย 2.0 ซม. จำนวน โดยเฉลี่ย 68.75 ท่อน ใส่ลงในถังหมัก ขนาด 200 ลิตร ทดลองหมักน้ำมูลสุกร โดยควบคุมค่าซีโอดี ให้มีค่าคงที่ประมาณ 30,000 ม.ก./ล. จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดี ประมาณร้อยละ 87 โดยมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำมูลสุกร 12 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Process) ซึ่งได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียมาโดยตลอด จนกลายเป็นถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter) ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ในการบำบัดสารอินทรีย์ รวมทั้งเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีราคาถูกและมีขั้นตอนในการดูแลรักษาน้อย เหมาะแก่การนำมาใช้งานในประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการของระบบการเติมอากาศแบบการไหลในราง (Channel Flow Aeration System ชื่อย่อ CFAS)

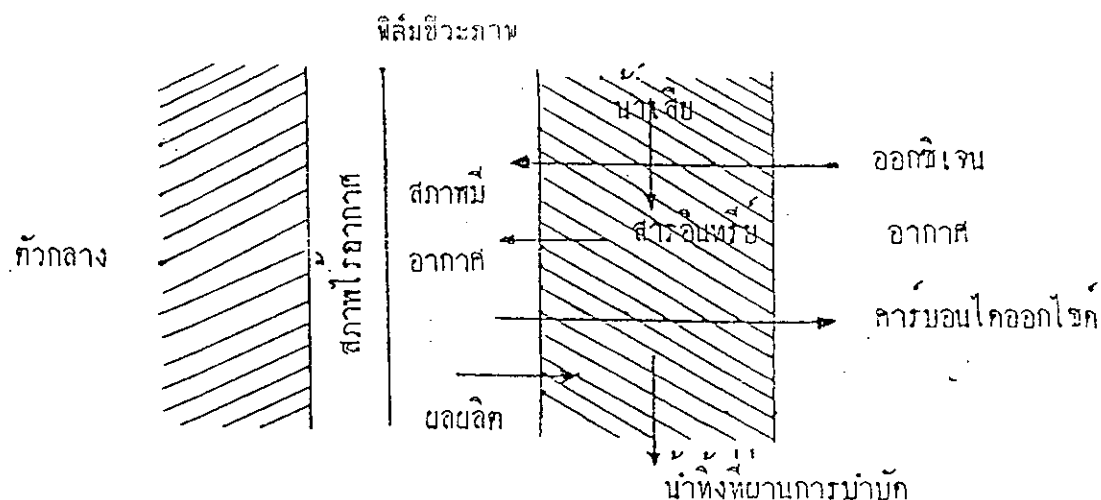
ระบบการเติมอากาศแบบการไหลในรางมีขั้นตอนการพัฒนามาจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบฟิล์มตรึง ซึ่งมักจะเรียกกันทั่วไปว่า ระบบเอฟ เอฟ บี (Fixed Film Biological Reactor, FFB) เป็นระบบแรกที่มีมนุษย์ได้ค้นพบขึ้นมาเพื่อบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน (Antonie, 1976 : 96) เพราะความง่ายในการใช้งานของระบบนี้จึงทำให้การดำเนินงานแพร่หลายไปอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของคริสต์ศตวรรษที่ 20 แต่ต่อมาได้มีการขยายตัวของเมืองใหญ่ ๆ และได้มีมาตรการในการควบคุมคุณภาพน้ำทิ้ง เข้มงวดมากขึ้น ความนิยมจึงได้หันไปหาระบบบำบัดแบบมวลแบคทีเรียแขวนลอย (Suspended Bacteria Mass) ดังเช่นในระบบเร่งตะกอน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า และขีดความสามารถในการกำจัดมลสารสูงกว่าระบบ เอฟ เอฟ บี ตามเทคโนโลยีที่มีอยู่ในขณะนั้น

อย่างไรก็ตาม ระบบแรงตะกอนเป็นขบวนการที่มีการเดินของระบบที่ยู่งยากพอสมควร และใช้พลังงานค่อนข้างสูง บวกกับค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานสูงขึ้นเป็นลำดับ ในช่วงระยะเวลา 5 - 6 ปีที่ผ่านมาบุคคลในทวงการได้หันมาพิจารณาเพื่อประหยัดพลังงานและพยายามมองหาวิธีการที่จะใช้ระบบบำบัดที่มีการใช้พลังงานต่ำมาทดแทนระบบแรงตะกอนที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน นอกจากนี้ ปัญหาทางด้านมลภาวะทั่วโลกก็ได้ทวีความรุนแรงขึ้น กฎเกณฑ์และมาตรฐานเกี่ยวกับน้ำทิ้งก็ยิ่งทวีความเข้มงวดขึ้น ระบบบำบัดแบบแรงตะกอนจึงต้องได้รับการออกแบบให้ชิดหรือระดับการบำบัดสูงขึ้น ซึ่งทำให้การทำงานของระบบยู่งยากตามขึ้นไปด้วย (Kato and Sekikawa. 1967 : 121)

ดังนั้น ในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มที่จะกลับไปหาระบบบำบัดแบบเอฟ เอฟ บี ซึ่งใช้พลังงานในการบำบัดน้อยมากและแนวโน้มนี้ก็จะมากขึ้นตลอดเวลา โดยมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีทำให้ได้ระบบบำบัดชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมา ตัวอย่างเช่น ระบบบำบัดแบบอาร์บีซี หรือระบบมีเดียชีวสัมผัส ซึ่งระบบบำบัดชนิดใหม่นี้ยังคงรักษาค่าดัชนีในการใช้พลังงานต่ำ ค่าเงินการจ่าย และยังสามารถผลิตน้ำทิ้งได้คุณภาพดีเท่ากับหรือดีกว่าของระบบแบบมวลจุลินทรีย์แขวนลอยได้ (McNeil. 1978 : 89)

หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ เอฟ เอฟ บี

ระบบบำบัดแบบ เอฟ เอฟ บี หรือระบบบำบัดทางชีววิทยาแบบฟิล์มตรึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยมวลของแบคทีเรีย ซึ่งเกาะอยู่บนตัวกลาง (media) ที่ประกอบด้วยอิฐและก้อนหิน เพื่อทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยมีการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศไปสู่ฟิล์มของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียใช้ในการดำรงชีวิตและการออกซิไดส์สารอินทรีย์ ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการ เอฟ เอฟ บี

เมื่อมีอาหารของแบคทีเรีย หรือมีมลสารในรูปของสารอินทรีย์ในน้ำเสียไหลผ่านเป็นฟิล์มบาง ๆ บนตัวกลาง จะเกิดมวลของแบคทีเรียเกาะอยู่บนตัวกลางขึ้นโดยธรรมชาติ มวลแบคทีเรียนี้จะเกาะบนตัวกลางและก่อให้เกิดรูปฟิล์มขึ้นชั้นหนึ่ง ชั้นนี้เรียกว่า ฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ก๊าซออกซิเจนจากอากาศซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้อากาศแทรกเข้าไปถึงฟิล์มชีวภาพ โดยการสร้างโพรงอากาศเพื่อเก็บอากาศ หรืออาจรับจากอากาศโดยตรง หรือโดยการอัดอากาศเข้าไปเพื่อให้อากาศแพร่กระจายตัวผ่านทะลุฟิล์มน้ำเสียไปสู่ฟิล์มของแบคทีเรีย ขณะเดียวกันสารอินทรีย์ในน้ำเสียก็จะแทรกซึมไปสู่ฟิล์มชีวภาพเช่นกัน จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีโดยแบคทีเรียเป็นผู้ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้จะกระจายตัวย้อนกลับผ่านน้ำเสียไปสู่บรรยากาศต่อไป ส่วนผลผลิตอื่น ๆ ที่เป็นสารเหนียวจะถูกถ่ายเททิ้งออกไปกับน้ำทิ้งที่

ได้รับการบำบัดแล้ว และเซลล์ใหม่ก็จะเกาะติดอยู่กับตัวกลางทำให้ความหนาของฟิล์มชีวภาพหนาขึ้น เมื่อความหนาของฟิล์มดังกล่าวมีมากขึ้นจนอากาศหรือออกซิเจนไม่สามารถแทรกตัวไปจนถึงชั้นในของฟิล์มได้ ชั้นในสุดของฟิล์มชีวภาพก็จะมีสภาพไร้ออกซิเจน ฟิล์มจะหลุดออกมาในที่สุดตัวกลางส่วนนั้น จะเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียที่จะเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะมีความสามารถในการย่อยสลายอินทรีย์มากกว่าแบคทีเรียที่หลุดออกไป ทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดฯ สูงขึ้น (Leusis. 1924 : 132)

ระบบบำบัดแบบ เอฟ เอฟ บี มีลักษณะเฉพาะตัวที่เป็นเอกลักษณ์สามารถเปรียบเทียบกับระบบเร่งตะกอนได้ดังนี้

ตาราง 4 เปรียบเทียบระบบ เอฟ เอฟ บี และระบบแรงตะกอน

ระบบ เอฟ เอฟ บี	ระบบแรงตะกอน
1. ไม่มีการหมุนเวียนของตะกอนกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยา 2. สามารถทนต่อสภาพการเพิ่มปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบฯ (Shock Load) ได้ดี เพราะแบคทีเรียถึงแม้จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเช่นเดิม ก็ยังสามารถเกาะติดอยู่กับตัวกลางและปรับสภาพตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ได้ จากนั้นจะได้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไปได้อีก 3. สามารถทนต่อสารพิษในน้ำเสียได้ดีกว่า (เหตุผลเช่นเดียวกับข้อ 2) 4. การเริ่มเดินระบบ (start up) ทำได้ง่ายมาก เพียงแต่บ่อน้ำเสียเข้าสู่ระบบ	1. การสูบน้ำตะกอนหมุนเวียนกลับเข้าสู่ถังปฏิกิริยา มีความจำเป็นอย่างยิ่งยวด และเป็นสาเหตุของความยุ่งยากและความเสียหายแก่ระบบฯ 2. ถ้ามีเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นระบบฯ มีแนวโน้มที่จะเสียหายได้ง่าย เพราะแบคทีเรียจะตายหรือไม่สามารถเจริญเติบโตและจะไหลรวมออกไปกับน้ำทิ้งออกนอกระบบฯ ทำให้ไม่มีปริมาณแบคทีเรียเพียงพอที่จะกระทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ 3. ระบบฯ อาจจะเสียหายได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของสารพิษที่เข้าสู่ระบบฯ 4. มีขั้นตอนการดูแลที่ยุ่งยาก ต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้และได้รับการฝึกฝนมาโดยเฉพาะ

ตาราง 4 (ต่อ)

ระบบ เอฟ เอฟ บี	ระบบเร่งตะกอน
5. การเดินระบบและการบำรุงรักษาทำได้ง่าย การควบคุมมวลแบคทีเรียในระบบจะปรับตัวได้เองโดยธรรมชาติ ไม่จำเป็นต้องมีพนักงานผู้ดูแลระบบฯ ที่มีการฝึกฝนมาโดยเฉพาะ (เป็นข้อคิดที่ดีมากสำหรับภาวการณ์ในประเทศไทย) 6. งบประมาณค่าเดินระบบฯ ต่ำ เพราะใช้พลังงานน้อย 7. สามารถออกแบบให้มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับใดก็ได้	5. ทำได้ยาก การรักษามวลแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้ได้ตามที่ต้องการจะต้องการควบคุมขนาดของผู้ดูแลค่อนข้างสูงถ้าระบบฯ ไม่ได้รับการออกแบบไว้ให้มีอุปกรณ์การอำนวยความสะดวกเพียงพอจะไม่สามารถควบคุมมวลจุลินทรีย์ได้เลยในบางกรณี 6. ใช้พลังงานมากกว่ามาก 7. ออกแบบให้ควบคุมระดับประสิทธิภาพการบำบัดได้ยาก

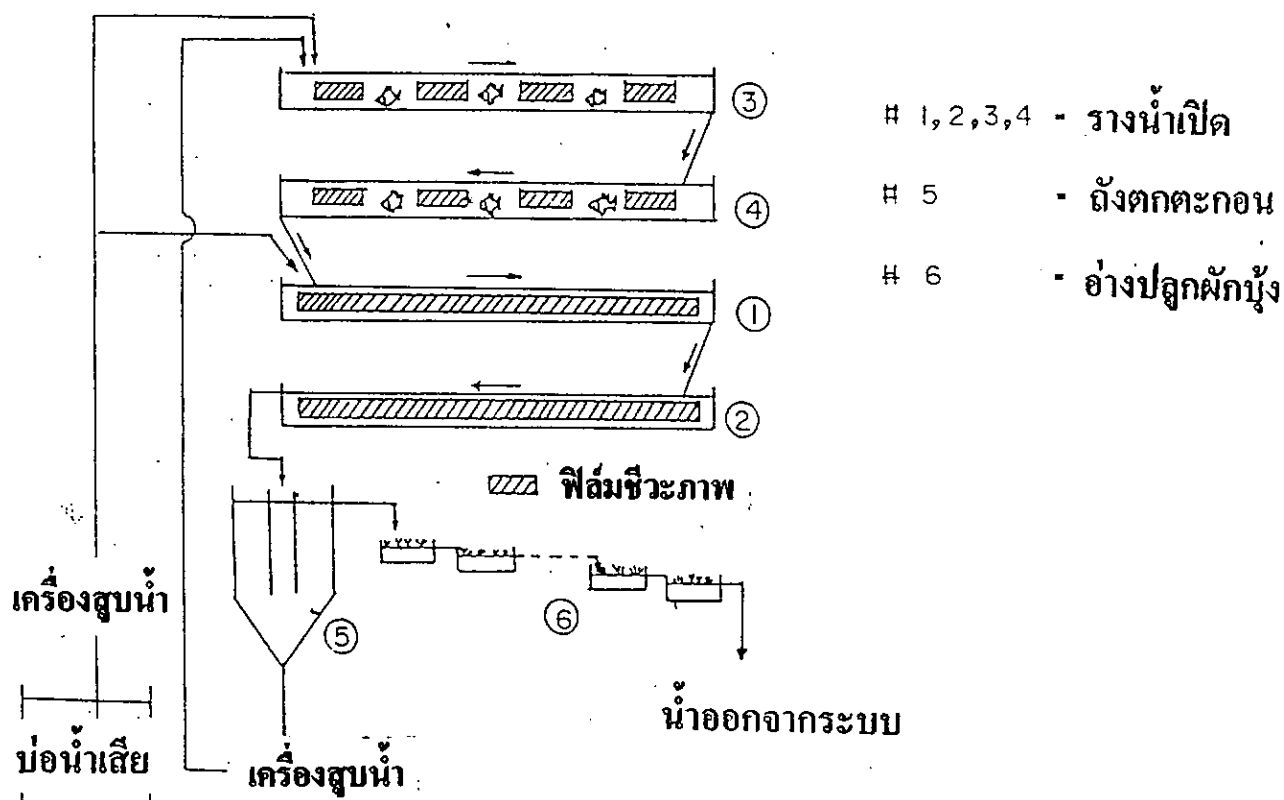
มีการดัดแปลงระบบ เอฟ เอฟ บี ออกไปอีกโดยนำเอาหลักการของระบบเร่งตะกอนมาผสมผสานเข้าด้วยกันเรียกว่า ระบบตัวกลางชีวสัมผัส บีซีเอ็ม (Biological Contact Media System, BCM) กล่าวคือ ใช้แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนเป็นตัวจักรสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์เช่นกันแต่แตกต่างกันตรงที่ในระบบ บีซีเอ็ม จะมีตัวกลางจะถูกติดตั้งและตรึงแน่นอยู่ในน้ำในถังเติมอากาศ จึงทำให้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบเร่งตะกอนแบบฟิล์มตรึง (Fixed Film Activated Sludge System, FAS) (Kato. 1967 :76) ตัวกลางนี้มักจะเป็นพลาสติกในรูปแบบต่าง ๆ กันเช่น แบบรวงผึ้ง (honey comb) ตาข่ายไนลอน ลูกบอลพลาสติกบรรจุอยู่ในตาข่าย หรือแม้กระทั่งวัสดุทิ้งแล้ว เช่น ขวดพลาสติกขนาดเล็ก การเติมอากาศจะก่อให้เกิดการ

หมุนเวียนของน้ำเสียผ่านตัวกลางครึ่งแล้วครึ่งเล่า ทำให้แบคทีเรียมีโอกาสย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้นยังผลให้เกิดประสิทธิภาพการบำบัดดีขึ้น วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำ ๆ (ยามากูชิ เคนจิ. 1974 : 88) และต้องการน้ำทิ้งคุณภาพค่อนข้างดี เพราะถ้าใช้ระบบเร่งตะกอนธรรมดามักไม่สามารถทำให้น้ำทิ้งที่มีบีโอดีต่ำมาก ๆ เช่น น้อยกว่า 20 มก./ลบ.คม.ได้ และมักมีปัญหาการควบคุมปริมาณตะกอนแบคทีเรียจนถึงเติมอากาศให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ แต่ในระบบบำบัดน้ำ ระบบนี้แบคทีเรียจะเกาะอาศัยอยู่ที่ตัวกลาง และจะเพิ่มหรือลดจำนวนแบคทีเรียตามค่าบีโอดีในน้ำเสียโดยปริมาณบีโอดี สารอาหารจะเป็นตัวกำหนดมวลแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนตัวกลางเองโดยธรรมชาติ และเช่นเดียวกับระบบเอฟเอฟบีทั่วไป ระบบนี้จึงไม่ต้องการหมุนเวียนตะกอนแบคทีเรีย เช่นระบบเร่งตะกอนจึงลดภาระแก่ผู้ดูแลในการควบคุมประสิทธิภาพของระบบได้มาก (Schulze. 1960 : 136) ข้อเสียของระบบ บีซีเอ็ม คือ ถ้าใช้กับน้ำเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นของบีโอดีสูง อาจก่อให้เกิดปริมาณแบคทีเรียมากเกินไปจนเกิดการอุดตันระหว่างตัวกลาง และอาจเกิดปัญหาออกซิเจนถ่ายเทลงน้ำไม่พอแก่ความต้องการของแบคทีเรียที่มีปริมาณมากขึ้นได้ ทั้งนี้เพราะการเติมออกซิเจนลงน้ำในระบบนี้จะทำได้ในขีดจำกัด (Schulze. 1960 : 138)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ซีเอฟเอเอส (Channel Flow Aeration System) เป็นระบบใหม่ที่ชาวญี่ปุ่นได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และได้รับความสนใจจากนักวิชาการญี่ปุ่นมาก ในปี ค.ศ.1982 (Susumu Hashimoto. 1984 : 76) ระบบซีเอฟเอเอส เป็นระบบอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากวิวัฒนาการเพื่อปรับปรุงการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งอาศัยหลักเกณฑ์ของระบบ บีซีเอ็ม และระบบ เอฟเอฟบี โดยอาศัยมวลสารแบคทีเรียเกาะอยู่บนตัวกลางพลาสติก (plastic media) ซึ่งอยู่กับที่ และตัวกลางพลาสติกจะถูกจับให้จมอยู่ในน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียเข้ามาจนถึงมวลสารในรูปของสารอินทรีย์ในน้ำเสียไหลผ่านเป็นฟิล์มบาง ๆ บนตัวกลาง จะเกิดมวลสารของแบคทีเรียเกาะอยู่บนตัวกลางโดยธรรมชาติ ซึ่งส่วนของสารอินทรีย์ที่ละลายหรืออยู่ในสภาพคอลลอยด์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียชนิดที่ต้องการออกซิเจนซึ่งเกาะอยู่ที่ผิวของตัวกลางพลาสติก เมื่อแบคทีเรียเจริญเติบโตมากขึ้นความหนาของฟิล์มแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงของ

แบคทีเรียจะลดลงเนื่องจากมีอายุนาน ออกซิเจนจากบรรยากาศไม่สามารถแทรกซึมถึงชั้นในของเมือก ทำให้แบคทีเรียด้านในไม่สามารถรับออกซิเจนได้ เมือกแบคทีเรียจึงหลุดออกจากตัวกลางพลาสติก เนื่องมาจากน้ำหนักของตัวมันเองและการไหลของน้ำทำให้แบคทีเรียเกิดการตกตะกอนในถังตะกอน ตะกอนแบคทีเรียนี้ก็จะทับถมกันเป็นจำนวนมากและออกซิเจนไม่สามารถแทรกซึมผ่านไปถึง ทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในตอนล่างของถัง ฉะนั้นจะต้องนำตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังออกไปบำบัดน้ำต่อไป (Susumu Hashimoto. 1984 : 103)

ผลงานวิจัยและผลการใช้งานของระบบ ซีเอฟเอส โดย ชูชุม ฮาชิโมโตะ ในปี ค.ศ. 1984 (Susumu Hashimoto) ได้สร้างระบบต้นแบบตามภาพประกอบ 7 โดยระบบต้นแบบนี้จะประกอบไปด้วยรางน้ำ เปิด 4 ถัง (# 1, 2, 3 และ 4) แต่ละถังมีขนาดกลาง 0.25 ม. สูง 0.25 ม. ยาว 8.0 ม. ปริมาตร ประสิทธิภาพ (Effective Volume) 300 ลิตร รางน้ำ 8 ราง (# 6) แต่ละใบกว้าง 0.55 ม. ยาว 0.715 ม. สูง 0.256 ม. ปริมาตรประสิทธิภาพ 60 ลิตร และถังตกตะกอน 1 ถัง (#5) ปริมาตรประสิทธิภาพ 130 ลิตร รางน้ำเปิดทั้ง 4 ถัง มีตัวกลางบรรจุอยู่ โดยรางน้ำเปิด #1 และ 2 บรรจุตัวกลางฟิล์มชีวะ 7 ชั้น และรางน้ำเปิด #3 และ 4 บรรจุตัวกลางฟิล์มชีวะภาพ 4 ชั้น ส่วนอ่างทั้ง 8 รางใช้สำหรับปลูกผักกาดไทยเพื่อดูการเจริญเติบโต น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีบีโอดี 30 - 120 มก./ลบ.ตม. อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ระบบ 25 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้เครื่องสูบน้ำ P₁ ความเร็วของน้ำในระบบ 1.35 เซนติเมตร/วินาที และมีอัตราการไหลย้อนกลับ 800 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้เครื่องสูบน้ำ P₂ ผลการทดลองปรากฏว่า น้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีลักษณะใส ค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดี ร้อยละ 90 ซึ่งจัดว่าเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงระบบหนึ่ง



ภาพประกอบ 7 แสดงแผนผังระบบการเติมอากาศชนิดการไหลในรางจากการทดลองของ

ซูซุมุ ฮาชิโมโตะ (Susumu Hashimoto)

สำหรับในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2530 อภิชัย นิลเจียรสกุล ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการเติมอากาศชนิดการไหลในราง โดยใช้ระบบต้นแบบชนิดถังเหล็ก ขนาด 1.8 x 4 x 0.8 ม. ใช้น้ำจากบ่อน้ำผิวดินธรรมชาติบ่อน้ำเข้าระบบคงที่เท่ากับ 600 ลิตร/ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี อยู่ในระดับดี คือ สามารถลดบีโอดีได้ถึงร้อยละ 80 เมื่อทำการทดลองกำจัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีระหว่าง 30 - 120 มก./ล แต่เมื่อทดลองกำจัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีมากกว่า 400 มก./ล พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์

ในรูปบีโอดี ลดลงคือสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ร้อยละ 54 เนื่องจากเกิดตะกอนในระบบมาก ออกซิเจนไม่สามารถผ่านเข้าไปได้อย่างทั่วถึง ทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจนขึ้น และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในตะกอนเป็นจำนวนมาก และทำให้ตะกอนลอยตัวขึ้น และก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดกากตะกอนต่อไป

จากผลการศึกษาของ ซูซุมุ ฮาชิโมโตะ (Susumu Hashimoto) และอิกิชิ นิชิเงียร์สกุส แสดงให้เห็นว่าระบบเติมอากาศชนิดการไหลในราง (Channel Flow Aeration System) มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์ ในน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีระหว่าง 30 - 120 มก./ล ในสภาวะที่มีกากตะกอนน้อย ดังนั้นระบบบำบัดระบบนี้ จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเป็นอย่างดี เพราะคุณสมบัติของน้ำที่ปล่อยเข้าสู่ระบบเติมอากาศระบบนี้มีค่าบีโอดีระหว่าง 30 - 65 มก./ล ซึ่งเป็นค่าที่ระบบเติมอากาศชนิดการไหลในรางมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดสารอินทรีย์ และมีขั้นตอนในการดำเนินการบำบัดไม่ซับซ้อนเหมาะแก่การนำมาใช้ในประเทศไทยต่อไป

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างน้ำ

1. ความสำคัญของการเก็บตัวอย่างน้ำและลักษณะสมบัติที่ควรวิเคราะห์ของน้ำเสียประเภทต่าง ๆ โดยขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียถูกกำหนดด้วยภาระทางชลศาสตร์ (Hydraulic Load) และภาระทางปริมาณมลสารที่ต้องกำจัด (Pollution Load) ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณอัตราการไหล และลักษณะสมบัติของน้ำเสียจึงมีความสำคัญในการคำนวณออกแบบและควบคุมระบบบำบัดอย่างมาก แต่ข้อมูลลักษณะสมบัติและปริมาณดังกล่าวจะเชื่อถือได้เพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ ดังนั้นผู้ที่ทำหน้าที่เก็บตัวอย่างน้ำหรือผู้ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์จะต้องมีความเข้าใจในรายละเอียดของกระบวนการผลิตและระบบบำบัดเป็นอย่างดีเพื่อจะได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำได้ถูกต้อง และเป็นตัวแทนที่แท้จริงของน้ำเสียอีกประการหนึ่งก็คือ ผู้เก็บตัวอย่างน้ำหรือผู้วิเคราะห์ต้องทราบก่อนว่าจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำนั้นไป

เพื่อวิเคราะห์อะไร ควรใช้อุปกรณ์ และเตรียมอุปกรณ์อย่างไรจึงจะเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำได้ถูกต้อง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 3 - 4)

2. จุดเก็บตัวอย่างน้ำ ในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำจะต้องทำการพิจารณาสถานที่เก็บน้ำเสียที่ต้องการศึกษาได้แก่

ถ้าเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้เก็บตัวอย่างน้ำทั้งจากทุก ๆ จุดที่มีการปล่อยน้ำทิ้งออกมา และที่จุดรวมของน้ำทั้งก่อนระบายออกนอกโรงงาน ในการตรวจสอบและควบคุมระบบบำบัดฯ. ให้เก็บตัวอย่างน้ำจากจุดที่ระบายออกจากระบบก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลองหรือท่อระบายของเทศบาล ส่วนในการตรวจสอบหาประสิทธิภาพและควบคุมการทำงานของระบบบำบัด ให้เก็บจากจุดต่าง ๆ ตามขั้นตอนของระบบบำบัดฯ. บริเวณที่จะเก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวจะต้องเป็นบริเวณที่ไม่มีการตกตะกอน และน้ำทิ้ง (effluent) ควรรวมตัวกันได้ดี (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 4)

3. วิธีเก็บตัวอย่างน้ำ

การที่จะเก็บตัวอย่างน้ำ ให้ได้ตัวแทนที่มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียทั้งหมดนั้น จำเป็นต้องเลือกวิธีเก็บตัวอย่างน้ำที่เหมาะสม ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

3.1 การเก็บแบบจ้วง (grab sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงเอาโดยตรง ๆ แล้วนำไปวิเคราะห์หาค่าที่ต้องการทราบ ดังนั้น ตัวอย่างน้ำจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะสมบัติของน้ำ ณ จุดเก็บเฉพาะเวลานั้นเท่านั้น การเก็บตัวอย่างน้ำแบบไม่มีข้อดีในกรณีที่น้ำเสียไม่ได้ไหลแบบต่อเนื่องมีการปล่อยทิ้งเป็นครั้งคราวเนื่องจากกระบวนการผลิตเดินเครื่องเป็นช่วง 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 ครั้งต่อช่วงการผลิต โดยแบ่งแต่ละช่วงระยะเวลาของการเก็บให้สม่ำเสมอ ปริมาณการเก็บขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำแล้วนำมารวมลงจนถึงเก็บใบเดียวกัน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ประมาณ 10°C การเก็บวิธีนี้มีข้อดีตรงที่ลดจำนวนตัวอย่างน้ำที่ต้องวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายเคมีภัณฑ์ และเวลาในการศึกษาได้มากแต่ถึงอย่างไรก็มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำนานกว่าวิธีแรกในการเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อให้ได้ข้อมูลจากกระบวนการผลิตอย่างสมบูรณ์ต้องเก็บทั้งแบบจ้วง และแบบผสมรวม การเก็บไม่เพียงแต่จะเก็บจากท่อน้ำทิ้งรวมเท่านั้น แต่ควรเก็บจากแต่ละจุดในกระบวนการผลิตที่มีน้ำเสียออกมาด้วย

3.3 ช่วงความถี่ของการเก็บตัวอย่างน้ำและจำนวนครั้งของการเก็บขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย นั้น ๆ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงอาจจะเก็บชั่วโมงละครั้ง ถ้าน้ำนั้นมีลักษณะสมบัติที่แปรปรวนมาก หรืออาจจะเก็บทุก 2, 4, 8 และ 16 หรือ 24 ชั่วโมงต่อครั้งในกรณีที่ลักษณะสมบัติของน้ำเสียนั้นไม่ค่อยแปรผัน แต่ถ้าเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำแบบผสมรวม เวลาที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของน้ำเสียและไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง ถ้าลักษณะสมบัติของน้ำค่อนข้างคงที่ควรใช้เวลาในการเก็บทั้งหมดอยู่ระหว่าง 8 - 12 ชั่วโมง

ตาราง 5 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ

ค่าที่ต้องการวิเคราะห์	น้ำเสียที่มีลักษณะสมบัติ แปรผันมาก	น้ำเสียที่มีลักษณะสมบัติ แปรผันน้อย
บีโอดี	4 ชั่วโมง	12 ชั่วโมง
ซีโอดี	2 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
เอสเอส	8 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
สภาพต่าง สภาพกรด	1 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง
พีเอช	เก็บต่อเนื่องกันไป (continuous)	4 ชั่วโมง
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	24 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
โลหะหนัก	4 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง

3.4 ปริมาณตัวอย่างน้ำ ในการเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละครั้ง ผู้เก็บตัวอย่างน้ำต้องตั้งจุดมุ่งหมายไว้ก่อนว่าจะเก็บตัวอย่างน้ำไปเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าอะไรบ้าง เพื่อที่จะได้เก็บตัวอย่างน้ำให้มีปริมาณมากพอที่จะทำการวิเคราะห์ได้ตามต้องการ ในการเก็บแบบผสมรวมปริมาณตัวอย่างน้ำควรจะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของน้ำด้วย โดยทั่วไปแล้วควรเก็บตัวอย่างน้ำปริมาณไม่น้อยกว่า 5 ลบ.ดม. (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 7 - 8)

4. การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ (preservation)

โดยทั่วไปผลการวิเคราะห์จะเชื่อถือได้ที่สุด และเป็นตัวแทนคุณภาพน้ำที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดก็ต่อเมื่อต้องทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทันทีภายหลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว ทั้งนี้ เพราะเมื่อทิ้งตัวอย่างไว้นานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทั้งทางด้านเคมีและชีววิทยาได้

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะช้า หรือเร็วขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างในแต่ละประเภท ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์และสภาพการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ เช่น การเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำเนื่องจาก การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ถ้าเก็บตัวอย่างน้ำไว้ในที่มืดและที่อุณหภูมิต่ำ (4°C) จะลดการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนทำการตรวจวิเคราะห์ได้อย่างมาก

หลักการโดยทั่วไปที่ต้องทำการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ ก็เพื่อป้องกันและลดอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของตัวอย่างในช่วงเวลาหลังการเก็บและก่อนตรวจวิเคราะห์ เป็นต้นว่า วิธีการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำโดยทั่วไปทำได้โดย ควบคุมค่าพีเอช, การเติมสารเคมี, การแช่เย็น และการแช่แข็ง ดังแสดงในตาราง 6 และ 7 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 9 - 11)

ตาราง 6 การเก็บรักษาตัวอย่างโดยการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของตัวอย่างน้ำ ก่อนนำมาทำการวิเคราะห์

วิธีเก็บรักษา	กลไก	ใช้ได้กับ
HgCl ₂	ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส
HNO ₃	ละลายโลหะ, ป้องกันการตกผลึก	โลหะ
H ₂ SO ₄	ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	สารอินทรีย์ (ซีโอดี, น้ำมัน และไขมัน, อินทรีย์คาร์บอน ฯลฯ)
NaOH	สร้างเกลือโดยจับกับเบสในรูปสารอินทรีย์	แอมโมเนีย, อามีน
การแช่เย็นหรือ การแช่แข็ง	สร้างเกลือโดยจับกับสารระเหยง่าย ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	ไซยาไนด์, กรดอินทรีย์ สภาพกรด, สภาพด่าง, สารอินทรีย์, บีโอดี, กลิ่น, ฟอสฟอรัสอินทรีย์, สี, ไนโตรเจนอินทรีย์, คาร์บอน คลิฟอร์ม ฯลฯ

ตาราง 7 การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำ

พารามิเตอร์	การเก็บรักษา	ช่วงระยะเวลาที่ยอมให้เก็บ
สภาพกรด-ด่าง	แช่เย็น 4 °c	24 ชั่วโมง
บีโอดี	แช่เย็น 4 °c	6 ชั่วโมง
แคลเซียม	ไม่จำเป็น	7 วัน
ซีโอดี	2 ลบ.ซม. H ₂ SO ₄ /ลบ.คม.	7 วัน
คลอไรด์	ไม่จำเป็น	7 วัน
สี	แช่เย็น 4 °c	24 ชั่วโมง
ไซยาไนด์	NaOH ถึง พีเอช 10	24 ชั่วโมง
ดีโอ	วัดทันที	ห้ามเก็บ
ความกระด้าง	ไม่จำเป็น	7 วัน
โลหะ	5 ลบ.ซม. HNO ₃ /ลบ.คม.	6 เดือน
โลหะละลาย	กรอง : 3 ลบ.ซม. 1:1 HNO ₃ /ลบ.คม.	6 เดือน
แอมโมเนีย	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.คม. ---4 °c	7 วัน
น้ำมันและไขมัน	2 ลบ.ซม. H ₂ SO ₄ /ลบ.คม. ---4 °c	24 ชั่วโมง
ฟิโอดี	2 ลบ.ซม. H ₂ SO ₄ /ลบ.คม. ---4 °c (pH2)	7 วัน
พีเอช	วัดทันที	ห้ามเก็บ
ฟีนอล	1.0 n. CuSO ₄ /ลบ.คม. + H ₃ PO ₄ ให้ได้ pH 4.0 ---4 °c	24 ชั่วโมง
ฟอสฟอรัส	40 มก. HgCl ₂ */ลบ.คม. ---4 °c	7 วัน

* ตัวอย่างเหล่านี้จะมีสารบรอกไดด้วย การถ่ายทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมก็ถือว่าเป็นการทำลายสภาวะแวดล้อมด้วย ขณะนี้กำลังมีงานวิจัยที่จะหาสารอื่นมาใช้แทนการใช้สารบรอก

5. การส่งตัวอย่างน้ำเข้าห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างน้ำเมื่อเก็บมาแล้วต้องรีบส่งเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจวิเคราะห์ทันที แต่ถ้ามีการล่าช้าด้วยประการใดก็ตาม ควรเก็บตัวอย่างเหล่านี้ไว้ในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 c เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเขียนฉลากติดไว้ที่ข้างขวด

5.1 การเขียนฉลาก : หลังจากเก็บตัวอย่างแล้วควรเขียนทันที ตัวอย่างการเขียนฉลากมีดังนี้

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

6.2 ช่วงเวลาระหว่างการเก็บและการตรวจวิเคราะห์ : โดยปกติแล้วการตรวจวิเคราะห์ควรกระทำทันทีเพื่อมิให้สภาพน้ำที่เก็บมาเปลี่ยนแปลงไปถ้าเป็นการตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพควรทำในขณะที่เก็บหรือทันทีที่ตัวอย่างถึงห้องทดลอง ระยะเวลาที่ยอมให้มากที่สุดที่จะเก็บตัวอย่างไว้ก่อนวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพเป็นดังนี้

น้ำไม่สกปรก (unpolluted waters)	72 ชั่วโมง
น้ำสกปรกเล็กน้อย (slightly polluted waters)	48 ชั่วโมง
น้ำสกปรก (polluted waters)	<u>12 ชั่วโมง</u>

(ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 13)

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ควรวิเคราะห์

1. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิ หมายถึง ระดับความร้อน อุณหภูมิของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยที่สิ่งมีชีวิตในน้ำอาจถึงตายได้ในการที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไปและยังมีส่วนให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40°C

2. สี (Color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนของแสง ซึ่งจำแนกเป็น 2 ประเภทคือ สีปรากฏ (Apparent color) เป็นสีของน้ำที่ปรากฏให้เห็นแก่สายตาเป็นส่วนใหญ่ โดยเกิดจากการสะท้อนของแสงจากสารแขวนลอยในน้ำ พื้นท้องน้ำ และจากท้องฟ้าและสีจริง (True color) เป็นสีของน้ำ เกิดจากสารละลายชนิดต่าง ๆ โดยอาจจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และธาตุอาหารพืช หรือสารอนินทรีย์ เช่น แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดสีของน้ำต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติเฉพาะตัวของสารดังกล่าว

การแยกสีทั้งสองประเภทออกจากกันทำได้ โดยกำจัดสารแขวนลอย และความขุ่น (Turbidity) ออกจากน้ำด้วยวิธีทำให้ตกตะกอน หรือใช้เซนตริฟิวส์ (Centrifuge) ซึ่งตัวอย่างน้ำดังกล่าวจะมีแต่เฉพาะสีจริงเท่านั้น (ไมตรี คงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528 : 14)

3. พีเอช (pH)

พีเอช (pH) เป็นค่าแสดงปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน $[\text{H}^+]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$$

เมื่อ $[\text{H}^+]$ = ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็นโมลต่อ ลบ.คม.

ในทางปฏิบัติ ค่า pH แสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่า pH มากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีพีเอช เท่ากับ 7

ค่า pH ของน้ำทิ้งมีความสำคัญในการกำจัดด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ 2525 : 36)

4. ปริมาณสารทั้งหมด (Total solids : TS) หมายถึง ปริมาณสารที่เหลืออยู่ในภาชนะหลังจากระเหยน้ำออกจากตัวอย่างจนหมด แล้วนำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 °C จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในเตลิกเกตเตอร์ แล้วชั่งหาน้ำหนักของของแข็งในภาชนะนั้น จะได้ปริมาณของของแข็งทั้งหมดมีหน่วยเป็น มก./ลบ.ดม. (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ 2525 : 50)

5. ปริมาณสารแขวนลอย (Suspended Solids : SS) หมายถึง ปริมาณตะกอนแขวนลอยที่สามารถกรองได้ด้วยกระดาษเยแก้ว "Whatmann" GF/C (Nonfiltrable Solids) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 ถึง 105 °C ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนกระดาษกรอง มีหน่วยเป็น มก./ลบ.ดม. (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ 2525 : 48)

6. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD) หมายถึง ความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งที่หาได้ โดยใช้ขบวนการทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้ง ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้คือปริมาณบีโอดี ปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างออกซิเจนกับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ กว่าสารอินทรีย์จะถูกทำลายหมดจะใช้เวลาหลายสัปดาห์ ตามมาตรฐานสากลจึงวัดค่าบีโอดีทั้งหมดในเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิของน้ำในฤดูร้อนของประเทศหนาว บีโอดีในระยะ 5 วัน (BOD₅) จะมีค่าร้อยละ 70 - 80 ของปริมาณบีโอดีทั้งหมดที่ต้องการ (Ultimate BOD) (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524 : 18)

การวิเคราะห์ค่าบีโอดี เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำในแม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบบำบัดควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีโดยทั่วไปเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในเวลา

5 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20°C เนื่องจากออกซิเจนในอากาศสามารถละลายน้ำได้ในจำนวนจำกัด คือประมาณ 9 มก./ลบ.คม. ในน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 20°C ดังนั้นน้ำเสียซึ่งมีความสกปรกมากจำเป็นต้องทำให้ปริมาณความสกปรกเจือจางลงอยู่ในระดับซึ่งสมดุลพอดีกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ การวิเคราะห์นี้เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในน้ำ จึงจำเป็นต้องทำให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกล่าวคือ ไม่มีสารพิษแต่มีอาหารเสริมสำหรับแบคทีเรีย เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น เพียงพอนอกจากนี้ การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำกระทำโดยแบคทีเรียหลายชนิดจึงจำเป็นต้องมีปริมาณแบคทีเรียชนิดต่าง ๆ เหล่านี้เพียงพอยังอยู่ในน้ำตัวอย่างซึ่งทำการวิเคราะห์ถ้าไม่มีหรือมีปริมาณน้อยไปควรเติมแบคทีเรีย ซึ่งเรียกว่าหิวเชื้อ (seed) ลงไป (ธงชัย พรหมสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ 2525 : 56)

7. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) หมายถึง ค่าความต้องการออกซิเจนของน้ำทิ้งที่ทำได้โดยวิธีการทางเคมี ดังนั้น ค่าซีโอดี จึงแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำทิ้งทั้งที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ และไม่ได้ โดยปกติค่าซีโอดี จึงสูงกว่าค่าบีโอดีเสมอ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์.2524 : 22)

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี เป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียโดยคิดเปรียบเทียบารูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์โดยใช้สารเคมี ซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูง (Strong chemical oxidant) ในสารละลายที่เป็นกรด (ธงชัย พรหมสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ 2525 : 65)

8. ออกซิเจนละลาย หรือดีโอ (Dissolved Oxygen: DO) หมายถึง การหาปริมาณออกซิเจนซึ่งละลายอยู่ในน้ำอันเป็นลักษณะสำคัญที่จะบอกให้ทราบว่าน้ำนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและแนวการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในน้ำว่าเป็นแบบใช้ออกซิเจนอิสระ (aerobic) หรือ ไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ (anarobic) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสัมพันธ์กับ อุณหภูมิของน้ำ ความกดดันของอากาศ และสิ่งเจือปนในน้ำ (impurities)

การหาค่าออกซิเจนละลายสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น วัดโดยตรง

เครื่องดีไอมิเตอร์ (DO meter) หรือออกซิเจนมิเตอร์ (oxygen meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในสารละลายเป็น มก./ดม. ได้โดยตรง หรือจะใช้วิธีทางเคมี เช่น วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันของไอโอไดเมตริก (Azide Modification of Iodometric Method) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนในน้ำที่สกปรก เช่น น้ำทิ้ง น้ำเน่าเหม็น น้ำคลอง เป็นต้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. 2525 : 48)

9. โลหะหนักชนิดต่าง ๆ (Metals)

9.1 พรอท (Mercury) การนำพรอทมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช ผลิตน้ำยาซักแห้ง เป็นต้น เปิดโอกาสให้พรอทและสารประกอบของพรอทกระจายทั่วไปทุกหนทุกแห่งในสิ่งแวดล้อม เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาพรอทเป็นพิษ (จันทร์วิชัยมงคล. 2523 : 69) สารพรอทเข้าสู่สิ่งแวดล้อมมี 2 ทางใหญ่ ๆ คือ โดยการกระทำของมนุษย์และโดยธรรมชาติ เมื่อสารพรอทได้ถูกปลดปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมแล้ว บางส่วนจะเข้าไปติดอยู่กับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ในปี ค.ศ.1968 บอทเนอร์ (Bothner) และ คาร์เพนเทอร์ (Carpenter) ได้รายงานว่าปริมาณร้อยละ 50 ถึง 75 ของพรอทที่ออกในแม่น้ำโคลัมเบียจะเข้าไปติดอยู่กับวัตถุที่แขวนลอยอยู่ในน้ำภายใน 10 - 60 ชั่วโมง หลังจากปล่อยออกดังกล่าวนี้ลงไปในปี ค.ศ.1969 ฮันเนอร์ (Hannerz) ได้พบสิ่งแขวนลอยในน้ำและทากน้ำที่คล้าย ๆ กับตัวกิ้งก่าพรอทออกไปจากน้ำ โดยที่มันจะเหนียวน้ำให้พรอทออกมาเกาะติดแล้วก็จะเกิดการตกตะกอนลงสู่พื้นของแหล่งน้ำในเวลาต่อมา ความสามารถของพรอทในการที่จะแทรกซึมเข้าไปติดอยู่กับวัตถุที่อยู่ใกล้ตัวมัน ได้ถูกแสดงไว้โดยเจนาสสัน (Janasson) เขาพบว่า ปริมาณร้อยละ 70 ของพรอทที่มีความเข้มข้น 500 ppm สามารถซึมซับเข้าไปในภาชนะแก้วที่บรรจุอยู่ภายในระยะเวลา 5 ถึง 10 วัน

ในสภาวะของการรีดิวซ์ (reducing condition) พรอทในน้ำจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพรอทซิลไฟด์ (cinabar) แล้วเกิดการตกตะกอนพรอทในรูปนี้จะละลายน้ำได้น้อยมากหรือไม่ละลายเลย อย่างไรก็ตามพรอทซิลไฟด์อาจถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้โดยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) และมีโอกาสละลายน้ำออกมาได้อีก ในแม่น้ำที่มีการขาดออกซิเจนนั้นที่บริเวณก้นแม่น้ำจะมีไฮโดรเจนซิลไฟด์ออกมา ดังนั้นปฏิกิริยาการเปลี่ยนพรอทให้เป็นพรอทซิลไฟด์จึงมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่า แม่น้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ในระดับปกติ (Bothner. 1972 : 77)

ปรอทในแต่ละรูปจะมีความเป็นพิษไม่เท่ากัน ปรอทที่อยู่ในรูปเมทิล (Methyl) และเอทิล (Ethyl) จะมีความเป็นพิษมากที่สุด รองลงมาได้แก่ปรอทในรูปโลหะ และที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุด ได้แก่ ปรอทในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น เกสโคลโลไรด์ และซิลไฟด์ ในปี ค.ศ. 1970 ฮาวิส และคนอื่น ๆ (Harris and other) ได้รายงานความเข้มข้นของเมทิล เมอคูรี (Methyl Mercury) ที่ 1 ppb ในน้ำทะเลสามารถลดอัตราการสังเคราะห์แสงของแพลงค์ตอนพืชได้ และที่ความเข้มข้น 50 ppb การสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้ง และพบว่า เมทิล เมอคูรี ฟอสเฟต (Methyl Mercury Phosphate) สามารถฆ่าแพลงค์ตอนพืชได้ ที่ความเข้มข้น 60 ppb

ในปี ค.ศ. 1970 เวียร์ และฮิม (Weir and Him) ได้รายงานว่าปรอทในรูปของโลหะ สามารถแสดงความเป็นพิษต่อปลาทองที่ความเข้มข้นเพียง 0.03 ppm เมทิล เมอคูรี (Methyl Mercury) ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ppm สามารถลดความแข็งแรงของเชื้อสปีพันธุ์ตัวผู้ของปลา

ความเป็นพิษของสารปรอทยังขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่นความเป็นพิษของปรอทจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความเข้มข้นของปรอทคลอไรด์ที่ทำให้ผลต่อปลาเทรา คือ 0.40 ppm 0.28 ppm และ 0.22 ppm ที่ 5 °C, 10 °C และ 20 °C ตามลำดับ มาทิดา และคนอื่น ๆ (Matida and other. 1978 : 116) ได้รายงานว่ปลาที่ถูกเจือปนด้วยสารปรอทในชั้นสูงจะมีสีคล้ำลง กินอาหารน้อยลง และไม่สามารถทรงตัวอยู่ในสภาพปกติ ในบางครั้งลำตัวจะคดและตาบอด

เมื่อปรอทเข้าสู่ร่างกายแล้ว ก็จะมีปฏิกิริยาต่อน้ำย่อย บางชนิดปฏิกิริยาตอบสนองมี 2 แบบ คือ (1) หยุดยั้งการทำงาน และ (2) กระตุ้นให้ทำงานมากขึ้นกว่าเดิม อย่างไรก็ตามสารปรอทมีผลในด้านยับยั้งการทำงานของน้ำย่อยเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะน้ำย่อยที่มีหมู่ ซัลไฮดริล (-SH) อยู่บริเวณใกล้เคียงกับบริเวณเร่ง (active site) เมื่อไอออนของโลหะจับกับหมู่นี้จะทำให้น้ำย่อยไม่สามารถทำงานได้เหมือนเดิมอีกต่อไป (ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. 2526 : 58) มีน้ำย่อยบางชนิดที่สารปรอทกระตุ้นให้ทำงานมากขึ้นกว่าเดิมได้ น้ำย่อยชนิดนี้ได้แก่ น้ำย่อยที่มีหน้าที่ต่อต้านความเป็นพิษ (detoxification enzyme) สารอินทรีย์ของปรอทละลายได้ดีมากในไขมัน ดังนั้น เมื่อเข้าสู่ร่างกายจึงไปสะสมตามเนื้อเยื่อของร่างกายที่มีความเข้มข้นของไขมันสูง เช่น ไขมันสมอง และไปขัดขวางระบบการทำงานของระบบประสาท ทำให้ระบบประสาทผิดปกติเกิดอาการของโรคมีนามาตะ มีอาการเบื้องต้นคือ ทำให้เสียสมดุลในการมองเห็นความรู้สึกและการได้ยิน ถ้ามีอาการมากอาจทำลายระบบสมองและเซลล์ประสาท (มาลีณี ลิ้มโสภา. 2523 : 22)

อันตรายจากปรอทและสารประกอบของปรอทเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก ได้มีการศึกษาทดลองเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการวัดหาปริมาณปรอทที่มีจำนวนน้อย ๆ โดยเหตุที่ปรอทเมื่อสะสมในร่างกายไม่ว่าจะเป็นจำนวนน้อยเพียงใดย่อมจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ดังนั้น ความสำคัญของวิธีการวิเคราะห์สารที่มีปรอทปนเปื้อนในระดับความเข้มข้นเป็น ppm ย่อมเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก (ไมตรี สุทธิจิตต์. 2523 : 65)

9.2 แคดเมียม (Cadmium) โลหะแคดเมียมในวงการอุตสาหกรรมใช้ทำนิกเกิลแคดเมียม (Ni-Cd) แบตเตอรี่ชนิดอัดประจุใหม่ได้ ใช้ทำโลหะผสมในการชุบ การทำยาง การทำพลาสติก และทำภาชนะหรือกระป๋องใส่อาหารอุตสาหกรรมเหมือนแร่ในการเกษตรกรรม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเจือปนของแคดเมียมสู่บรรยากาศ ดิน และ น้ำ ได้ในรูปยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช ยาปราบวัชพืช ฯลฯ (Fairhall. 1969) แคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทาง คือ ทางปาก โดยการรับประทานอาหารซึ่งบรรจุในกระป๋องที่เคลือบด้วยแคดเมียม (Cadmium-plated container) การดื่มน้ำจากแม่น้ำ การรับประทานข้าวและพืชผักต่าง ๆ ที่มีแคดเมียมเจือปนอยู่ และทางจมูกโดยการหายใจเอาฝุ่นละอองหรือไอของแคดเมียมเข้าไปโดยเฉพาะคนงานในโรงงานถลุงแร่ และโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตโลหะเจือ (manufacturing of alloys) การฉีดหรือพ่นสีที่มีแคดเมียมเป็นองค์ประกอบ (spraying of metallic cadmium pigment) และการให้ความร้อนกับแคดเมียมที่ฉาบไว้ (heating of cadmium coated ion) บนผิวของวัตถุต่าง ๆ นอกจากนี้แคดเมียมยังเข้าสู่ร่างกายได้โดยการสูบบุหรี่ และ/หรือการหายใจเอาควันบุหรี่เข้าไป (ไมตรี สุทธิจิตต์. 2523 : 88)

9.3 ตะกั่ว (Lead) เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำสารตะกั่วมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มาก เช่น การทำสีทาอาคาร แบตเตอรี่ หมึกพิมพ์ ยาปราบศัตรูพืช กระป๋องใส่อาหาร หรืออื่น ๆ ทำให้มนุษย์และสัตว์ได้รับพิษจากสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีการต่าง ๆ แล้วเกิดความเป็นพิษขึ้น อาการพิษอันเนื่องมาจากตะกั่วแบบเฉียบพลันมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น อ่อนเพลีย คลื่นไส้ วิงเวียน การกระตุกของกล้ามเนื้อ และอาการอื่น ๆ สำหรับพิษแบบเรื้อรัง ที่สำคัญ ได้แก่ โรคโลหิตจาง

นอกจากตะกั่วจะมีผลกระทบโดยตรงต่อร่างกายแล้ว ยังให้ผลกระทบในทางอ้อมได้ ทำให้ความต้านทานของร่างกายต่อโรคหลายชนิดลดลง เช่น ทำให้ร่างกายมีความสามารถในการต้านทานโรคไข้ไทฟอยด์ได้น้อยลง

การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะต่าง ๆ นั้น อาจทำได้ทั้งการวิเคราะห์โดยใช้วิธีเคมีธรรมดา (classical method of analysis) และโดยการใช้เครื่องมือ (instrumental method of analysis) แต่เนื่องจากปริมาณของโลหะในน้ำเสียมีจำนวนน้อยถ้าใช้การวิเคราะห์โดยวิธีเคมีธรรมดาแล้วจะได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร เพื่อให้ได้ผลแน่นอน และรวดเร็วโดยไม่ต้องผ่านกรรมวิธีหลายขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ ควรใช้วิธีวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือซึ่งมีวิธีต่าง ๆ ดังนี้คือ อะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectro Photometry) คัลเลอร์รีเมตรี (Colorimetry) หรือโพลารोगราฟฟี (Polarography)

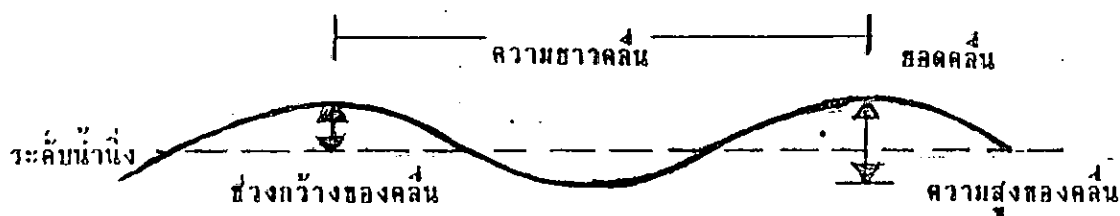
ในสามวิธีนี้ ในทางปฏิบัติและผลที่ได้พบว่า วิธีที่ 1 มีความสะดวก ให้ผลที่รวดเร็ว กว่าวิธีที่ 2 และ 3 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2525 : 45)

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับพลังงานคลื่น

พลังงานคลื่น เป็นพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำทั้งในแนวตั้งและแนวราบการเคลื่อนที่ของคลื่นในแต่ละรอบจะมีการถ่ายเทพลังงานออกมาในปริมาณที่ต่างกัน โดยจะขึ้นกับความสูงและความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น ถ้าคลื่นมีความสูง และความเร็วมากจะมีการถ่ายเทพลังงานออกมามาก ความสูงของคลื่นจะมีค่าเป็น 2 เท่าของความกว้างของคลื่น แสดงตามภาพประกอบ 8 (John Twidell and Tony Weir. 1986 : 315)

1. ลักษณะของคลื่น

ถือกันว่าคลื่นอุดมคติ (ideal wave) เคลื่อนที่ไปข้างหน้าในลักษณะเป็นเส้นโค้งแบบคลื่นไซน์ (sinusoidal progressive wave) มีส่วนประกอบที่สำคัญต่าง ๆ คือ (อุบสรสุดา ศิริพงศ์. 2536 : 32)



ภาพประกอบ 8 แสดงส่วนประกอบสำคัญของคลื่น

- 1.1 ยอดคลื่น (crest) หมายถึง ส่วนที่สูงที่สุดของคลื่น
- 1.2 ท้องคลื่น (trough) หมายถึง ส่วนต่ำลงไปเป็นแอ่งระหว่างยอดคลื่น 2 ยอด
- 1.3 ความสูงของคลื่น (wave height, H) หมายถึง ระยะทางในแนวตั้งระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน
- 1.4 ความกว้างของคลื่น (amplitude, a) หมายถึง ครึ่งหนึ่งของความสูงของคลื่นซึ่งแสดงให้เห็นระยะทางไกลสุดที่น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งสมดุลซึ่งจัดเป็นระดับน้ำนิ่ง
- 1.5 ความยาวคลื่น (wave length, L) หมายถึง ระยะทางตามแนวระนาบจากยอดคลื่นหนึ่งไปยังยอดคลื่นถัดไป หรือจากท้องคลื่นหนึ่งไปยังท้องคลื่นถัดไป
- 1.6 คาบของคลื่น (wave period, T) หมายถึง เวลาที่ยอดคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ติดกันใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านจุดคงที่จุดหนึ่ง มักใช้เวลาเป็นวินาที เป็นค่าที่วัดหาได้ง่าย เป็นประโยชน์ในการจัดจำแนกชนิดของคลื่น

2. ชนิดของคลื่น

คลื่นในแหล่งน้ำสามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดได้ดังนี้ (อุบสรสูตร ศิริพงศ์. 2526 : 97 - 99)

2.1 คลื่นลม เป็นผลจากการถ่ายทอดพลังงานและโมเมนตัมจากลมสู่ผิวน้ำน้ำจะพัดผ่านผิวน้ำมหาสมุทร เป็นผลให้มีการถ่ายทอดพลังงานจำนวนมากจากบรรยากาศสู่มหาสมุทร จากการศึกษพบว่า ถ้ามีลมพัดด้วยความเร็วคงที่เป็นช่วงเวลา (duration) นานพอสมควรตามระยะทาง (fetch) ยาวพอที่จะเกิดคลื่นขึ้นได้ คลื่นที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับความเร็วลม บริเวณที่เกิดลมพัดรุนแรงคลื่นอาจมีขนาดใหญ่นปวน เรียกสภาพทะเลพัฒนาเต็มที่ (fully arisen sea) เกิดคลื่นหัวแตก (white cap) มีความซับซ้อนมาก ความเร็วของลมต่างกันก่อให้เกิดคลื่นขนาดต่างกัน บอกได้โดยมาตรฐานโบฟอร์ท (Beaufort scale) คลื่นที่เกิดขึ้นในบริเวณที่มีลมพัดจะเคลื่อนที่ออกจากเขตที่เกิดด้วยความเร็วที่เป็นสัดส่วนกับคาบเรียกประเภทนี้ว่า swell) เมื่อเคลื่อนที่ห่างออกไปจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นที่ให้พลังงาน ความสูงของคลื่นจะลดลง แล้วอาจสลายตัวก่อนเดินทางถึงฝั่ง คลื่นลมนอกจากขึ้นกับความเร็วลมแล้ว ยังขึ้นกับระยะเวลาที่ลมพัดและช่วงระยะทางที่ลมพัดผ่านอีกด้วย

2.2 คลื่นน้ำใต้ (tsunami) หรือคลื่นสึนามิ เกิดจากความผันผวนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นมหาสมุทร เป็นคลื่นที่มีคาบและความยาวคลื่นยาวมาก อาจถึง 15-20 นาที และ 200 กิโลเมตรตามลำดับ คลื่นชนิดนี้จึงทำตัวเป็นคลื่นยาว ในที่ลึกอาจเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็ว 200 เมตรต่อวินาที ในที่น้ำลึกความสูงและคลื่นน้อยกว่า 1 เมตร อาจไม่เป็นที่สังเกตแต่เมื่อเข้าใกล้เขตน้ำตื้นความเร็วลดลงความสูงจะเพิ่มขึ้นกลายเป็นคลื่นขนาดใหญ่อาจสูงได้ถึง 10 เมตร หรือมากกว่า ทำให้เกิดความเสียหายแก่บริเวณชายฝั่งได้มาก เกิดได้บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก

2.3 คลื่นอยู่กับที่ในแหล่งน้ำปิดหรือเกือบปิด (seiche) เช่น ในอ่าวหรือทะเลสาบ การเคลื่อนที่ของน้ำจะเปลี่ยนระดับขึ้นลงสลับกัน การเคลื่อนที่ในแนวราบจะมีน้อยมาก

คาบของคลื่นอยู่กับที่หาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$T = \frac{2}{g} \sqrt{\frac{1}{d}}$$

เมื่อ 1 = ความยาวของแหล่งน้ำปิด (เมตร)

d = ความลึก (เมตร)

g = ความเร่งมีค่า 9.8 เมตร/วินาที

2.4 คลื่นบริเวณชายฝั่ง (surf-zone wave) คลื่นที่เคลื่อนที่จากที่ลึกเข้าใกล้ชายฝั่งจะมีลักษณะต่างกันไป เนื่องจากผลการเปลี่ยนความลึกของน้ำ จากที่ลึกมาเป็นตื้นสามารถจำแนกคลื่นเหล่านี้ออกได้ดังนี้

2.4.1 คลื่นแตกถล่ม (spilling breaker) เป็นคลื่นที่เคลื่อนเข้ามาในเขตน้ำตื้นแล้วแตกตัวเป็นฟองผอยทลายลงมาทางด้านหน้าคลื่น พบเห็นได้ง่ายบริเวณชายฝั่งที่มีพื้นที่ลาดเอียงชันมากนัก

2.4.2 คลื่นแตกกระโจน (plunging breaker) เป็นคลื่นที่เคลื่อนเข้ามาในเขตน้ำตื้นแล้วแตกชะโงกจู่ลงมา พบบริเวณชายหาดที่มีความชันเพิ่มขึ้น แตกตัวได้ง่ายกว่าคลื่นประเภทแรก

2.4.3 คลื่นแตกซัดขึ้น (surging breaker) เกิดเป็นคลื่นแตกบริเวณหาดที่มีความชันมาก พบเห็นได้บ่อย



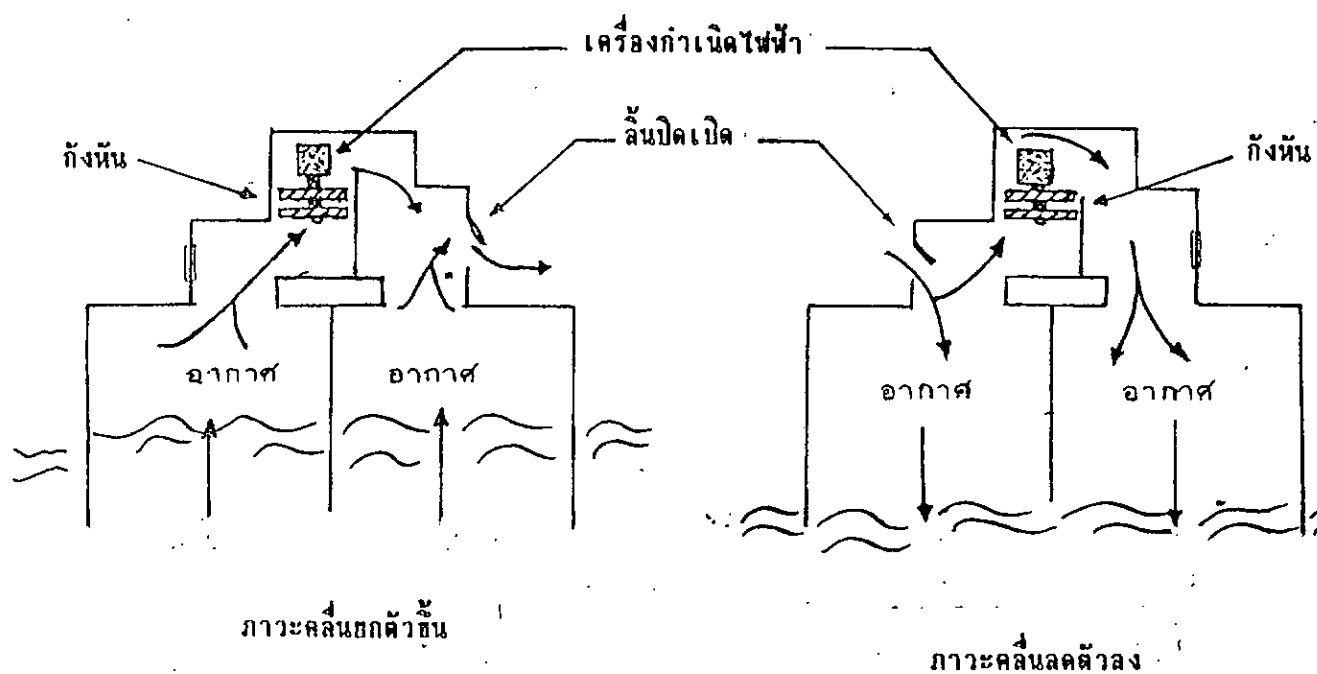
ภาพประกอบ 9 แสดงคลื่น 3 แบบบริเวณชายหาด

3. พลังงานของคลื่น

พลังงานของคลื่น (wave energy) พลังงานในคลื่นมี 2 ชนิด คือ พลังงานจลน์ เกิดจากคลื่นที่เป็นวงของอนุภาคน้ำในคลื่น และพลังงานศักย์ ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคของน้ำถูกพาออกไปจากที่อยู่เดิมในสภาพสมดุลจากระดับน้ำนิ่งเฉลี่ย ในการเคลื่อนที่ของคลื่นมีการเปลี่ยนรูปของพลังงานศักย์เป็นพลังงานจลน์ และเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์ใหม่เกิดขึ้นตลอดเวลา (Bascom. 1977 : 76)

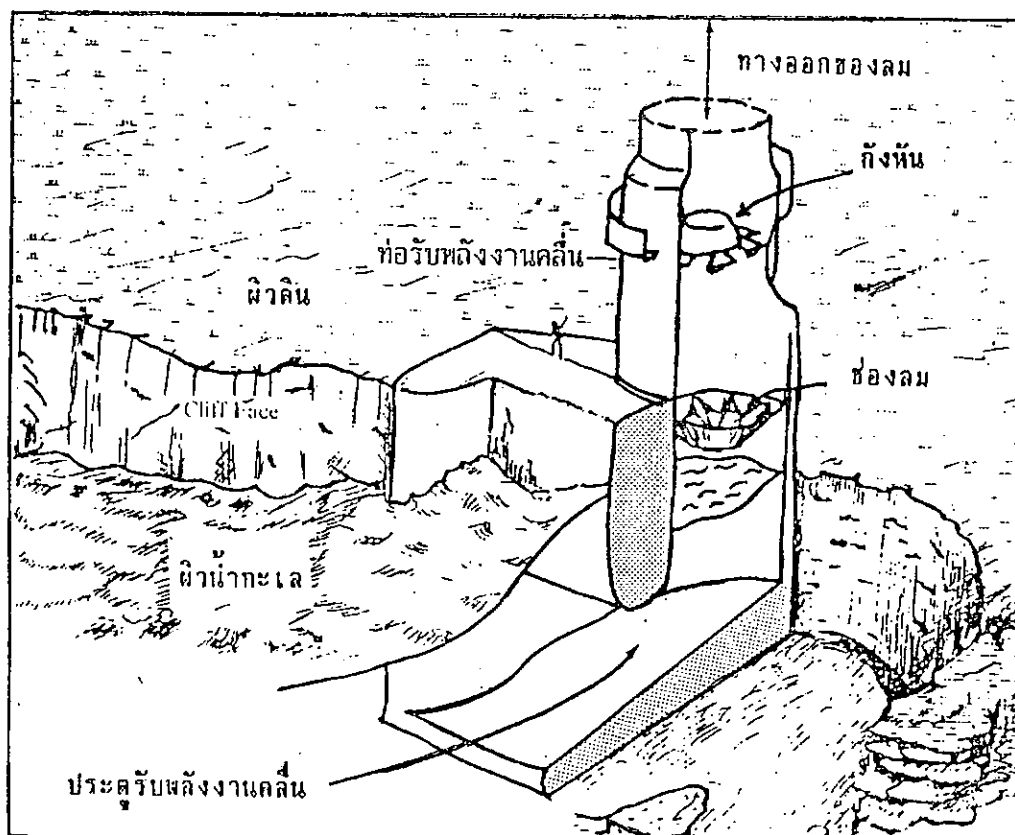
ในยุคปัจจุบัน กำลังเป็นช่วงที่โลกกำลังขาดแคลนพลังงานประเทศต่าง ๆ หลายประเทศให้ความสนใจกับการศึกษาเพื่อค้นหาพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ มาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำมัน พลังงานคลื่นเป็นอีกพลังงานหนึ่งที่มีความสนใจเป็นอันมากจากนักวิทยาศาสตร์ประเทศต่าง ๆ เช่น อังกฤษ ญี่ปุ่น และประเทศในกลุ่มสแกนดิเนเวีย โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นได้ศึกษาการนำพลังงานคลื่นทะเลมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เป็นประเทศแรกของโลก ใน ค.ศ. 1974 โดยอาศัยแรงดันจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของคลื่นมาทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ติดกับสนามแม่เหล็ก

จนได้พลังงานไฟฟ้ามากพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงปฏิบัติได้ (Barber. 1969 : 12) จากนั้นในปี ค.ศ. 1980 อิซุมิ อุชิยามา (Izumi Ushiyama) ได้พัฒนาวิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากคลื่นทะเลได้สำเร็จ และมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงกว่าวิธีเดิม หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ การใช้ภาชนะคล้ายถังไม่มีก้นคว่ำลงบนน้ำทำให้เกิดมีอากาศขังอยู่ภายในที่ว่าง เมื่อเกิดคลื่นแรงดันของคลื่นจะอัดให้อากาศภายในไหลผ่านลิ้นปิดเปิดไปทำการหมุนกังหัน ในช่วงต่อมากลื่นจะยุบตัวลงอากาศภายนอกจะถูกดูดผ่านลิ้นไหลผ่านกังหันกลับลงมาอีกครั้ง ทำให้กังหันหมุนได้ทั้งสองกรณี จากนั้นนำการหมุนของกังหันไปต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งติดตั้งไว้บนท่อนลอยน้ำที่ส่งออกไปลอยรับคลื่นที่ระยะห่างจากฝั่ง 3-4 กิโลเมตร เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้ประกอบด้วย ท่อนลอยยาว 80 เมตร กว้าง 12 เมตร หนัก 813 เมตริกตัน มีกำลังการผลิต 125 กิโลวัตต์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นฝั่งได้ครั้งแรกเมื่อเดือนธันวาคม 2522 (Izumi Ushiyama. 1980 : 105)

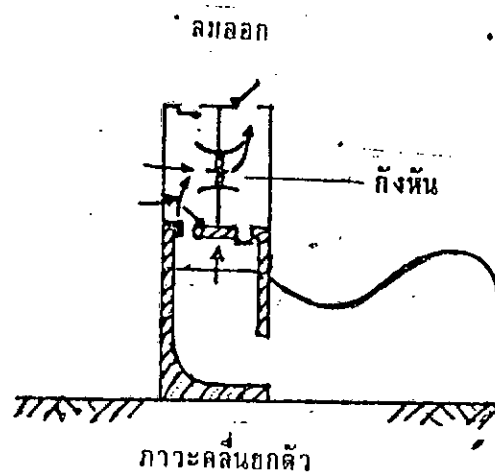


ภาพประกอบ 10 แสดงหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากคลื่น

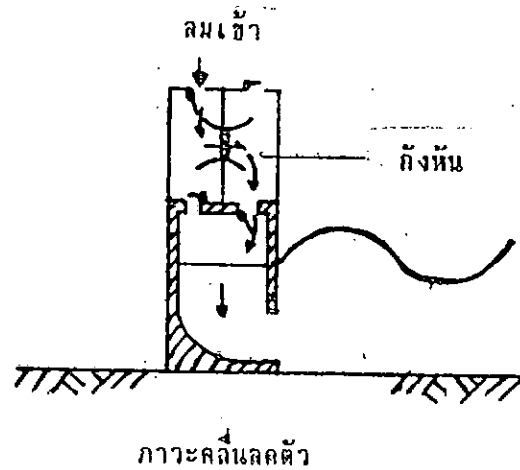
จากนั้นในปี 1982 มาสึดะ (Masuda) นักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น ได้ทำการพัฒนาท่อรับพลังงานคลื่น (Oscillating Water Column) ให้มีประสิทธิภาพในการรับพลังงานจากคลื่นให้มากขึ้น โดยเครื่องมือดังกล่าวมีลักษณะเป็นท่อขนาดใหญ่ ด้านข้างด้านหนึ่งเปิดช่องเพื่อรับพลังงานคลื่นส่วนบนของท่อติดกั้นรับพลังลมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำในท่อ ทำให้กักเก็บพลังงานอย่างต่อเนื่องดังภาพประกอบ 11 และ 12



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะการทำงานและส่วนประกอบของท่อบรับพลังงานคลื่น
(oscillating water column)



1



2.

ภาพประกอบ 12 แสดงการทำงานของที่รับพลังงานคลื่น

(Oscillating Water Column)

- 1) แสดงขณะคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในที่รับพลังงาน คลื่นระดับน้ำในที่จะสูงขึ้น
อากาศภายในจะถูกดันออก
- 2) แสดงขณะคลื่นเคลื่อนที่ออกจากที่รับพลังงาน คลื่นระดับน้ำในที่จะลดลง
อากาศภายนอกจะไหลเข้า

ท่อรับพลังงานคลื่นเครื่องนี้เหมาะกับบริเวณชายฝั่งสูงชัน และคลื่นมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง จะมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก (Salter. 1984 : 136)

ต่อมาในปี 1983 ซาลเตอร์ (Salter) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้พยายามคิดทูลอยน้ำที่มีล้นปิดให้น้ำไหลเข้าและไหลออก ในขณะที่คลื่นน้ำที่ไหลเข้าออกในท่อนจะไปทำให้กังหันที่ติดตั้งไว้ภายในท่อนเกิดการหมุน พลังงานจากการหมุนของกังหันจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อเชื่อมกับกังหันทำงานผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 750 เมกะวัตต์ โดยใช้ท่อนยาว 40 กิโลเมตร และติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานคลื่นนี้ไว้ที่ทางชายฝั่งทะเลตะวันตกของสกอตแลนด์ จากนั้นซาลเตอร์ได้ทำการศึกษาถึงความคุ้มทุนของการนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ จากการศึกษาพบว่าพลังงานคลื่นที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ในช่วง 12 ชั่วโมง ต้องเกิดคลื่นที่มีความสูงไม่ต่ำกว่า 6 นิ้วไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง จึงจะคุ้มค่าในการลงทุน (Salter. 1984 : 136)

สำหรับในประเทศไทยยังไม่ปรากฏว่ามีการศึกษาใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจะทำให้ความสนใจค้นหาวิธีการนำเอาพลังงานคลื่นมาใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อเป็นการช่วยกันอนุรักษ์พลังงานที่กำลังจะขาดแคลนลงทุกที

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบล

เครื่องสูบล (Pumps) หมายถึง เครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานศักย์ให้กับของไหลชนิดนั้น ๆ เกิดการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์ต่ำไปยังตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์สูงขึ้น ดังนั้นเครื่องสูบลจะต้องมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ (1) อุปกรณ์ทำหน้าที่ดูด (suction) (2) อุปกรณ์ทำหน้าที่คาย (delivery) (บุญศักดิ์ ใจจงกิจ. 2520 : 69)

1. ชนิดของเครื่องสูบล

เครื่องสูบลจำแนกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 3 แบบ คือ

1.1 เครื่องสูบน้ำอัด (Positive หรือ Displacement Pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้ลูกสูบดันของไหล ให้ไหลออกทางท่อปล่อย วิธีดันของไหลออกจะมีสภาวะเป็นบวก (Positive Displacement) เสมอ คือจะต้องดันของไหลออกไปเท่ากับปริมาตรช่วงชักของลูกสูบทุกครั้งไป เครื่องสูบน้ำอัดชนิดนี้ ไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเป็นเครื่องลูกสูบเสมอไป แต่ต้องมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน กล่าวคือ เครื่องสูบจะต้องดันของไหลออกไปเท่ากับปริมาตรช่วงชักของลูกสูบ จึงจะถือว่าเป็นเครื่องสูบน้ำอัด (Positive Displacement Pumps) เหมือนกันทั้งสิ้น โดยสังเกตว่าปริมาตรช่วงชักมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดห้องสูบคูณด้วยระยะชักลูกสูบ

หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำอัด แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

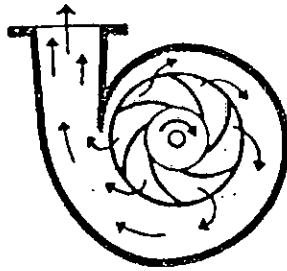
1.1.1 จังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนตัวลงทำให้ปริมาตรภายในกระบอกสูบมากขึ้น ความดันจะลดลง ทำให้ของไหลภายนอกเข้ามาในกระบอกสูบ

1.1.2 จังหวะอัด ลูกสูบจะเคลื่อนตัวขึ้นทำให้ปริมาตรภายในกระบอกสูบลดลง ความดันจะเพิ่มขึ้น และเกิดแรงดันให้ของไหลออกนอกกระบอกสูบ (ประทีป ภาวงษ์ศักดิ์, 2535 : 52) ส่วนประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสูบน้ำอัด สามารถสูบของไหลที่ขึ้นไปในระดับสูง ๆ ได้ดี แต่อัตราการสูบน้ำมีปริมาณน้อยกว่าเครื่องสูบแบบใบพัด

1.2 เครื่องสูบน้ำใบพัด (Impeller Pumps) เป็นเครื่องสูบน้ำใบพัดเป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้การหมุนของใบพัด (bladed rotor) เป็นตัวขับเคลื่อนของไหล ให้ของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดแรงดูดของไหลเข้ามาภายในสูบได้

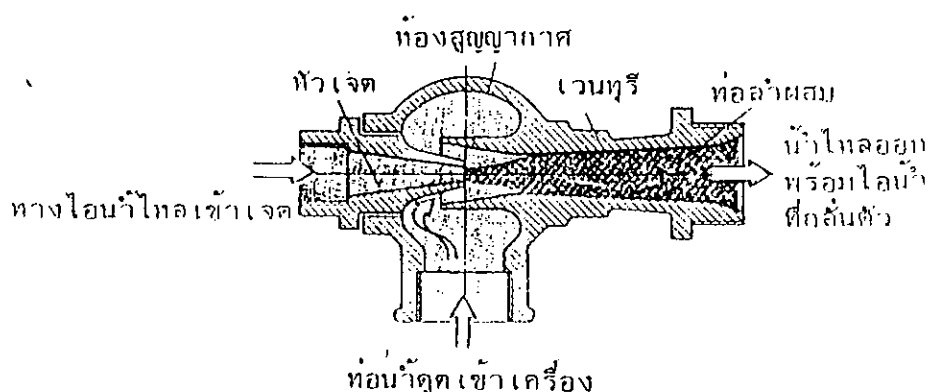
หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำใบพัด เริ่มจากใบพัดที่อยู่ภายในเครื่องสูบหมุนผ่านใบพัดที่มีลักษณะโค้งจะทำให้ของไหล ไหลผ่านขอบโค้งของผิวใบพัดจากด้านในไปสู่ด้านนอกในแนวรัศมี ดังนั้น บริเวณด้านในของใบพัดจะเกิดช่องว่างและมีแรงดูดทำให้ของไหลภายนอกไหลเข้ามาแทนที่ ส่วนของไหลภายในเครื่องสูบจะถูกใบพัดถ่ายทอดพลังงานให้เคลื่อนที่ออกนอกเครื่องสูบตามทางออกต่อไป (บุญฤกษ์ศักดิ์, 2520 : 80)

ในส่วนประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องสูบน้ำใบพัดจะเหมาะแก่การสูบของไหลให้เคลื่อนที่ไปในระดับความสูงไม่มากเหมือนกับเครื่องสูบน้ำอัดแต่อัตราการสูบน้ำมากกว่า



ภาพประกอบ 13 แสดงการเคลื่อนที่ของของไหลภายในเครื่องสูบบแบบใบพัด

1.3 เครื่องสูบเจตสุญญากาศ (Jet Pumps) เป็นเครื่องสูบที่ใช้หลักการให้ของไหลบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านคอเวนทรีแล้วออกไปเป็นลำเจตพุ่ง ขณะที่ผ่านคอเวนทรีของไหลจะเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วสูงทำให้เกิดแรงดูดที่ด้านข้างของคอเวนทรีนั้น ๆ สำหรับของไหลที่ใช้ทำเจตสุญญากาศนั้น ได้แก่ น้ำอัดหรือลมอัด หรือไอน้ำ ไม่ว่าจะใช้ของไหลประเภทใด ๆ ทำเจตสุญญากาศลักษณะการทำงานจะคล้ายคลึงกัน



ภาพประกอบ 14 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสูบน้ำเจ็ตสุญญากาศไอน้ำ

เครื่องสูบน้ำเจ็ตสุญญากาศไอน้ำ มีใช้งานมากในโรงงานเคมีอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ในเครื่องต้มระเหยน้ำ (Evaporator) และหอกลั่น โดยใช้เจ็ตสุญญากาศดึงของไหลที่เป็นไอให้ไหลออกไปจากเครื่องมีดังกล่าวดังนี้ เรียกว่าเป็นการดึงสุญญากาศของไหลออกไปนั่นเอง และเป็นการสูบลูกจากแหล่งความกดดันต่ำเข้าสู่สภาวะใหม่ที่มีความกดดันสูงขึ้น ณ จุดปลายทาง (Tyler. 1971 : 78) ในช่วงศตวรรษที่ 19 ได้มีการเริ่มพัฒนาเครื่องสูบลมกันมากขึ้น โดยมีการพัฒนาจากเครื่องสูบลมลูกสูบขั้นตอนเดียว เป็นเครื่องสูบลมลูกสูบหลายขั้นตอนและมีการผลิตอุปกรณ์เก็บลมที่เรียกว่าถังลมขึ้น จากนั้นในช่วงกลางศตวรรษที่ 19 ได้มีการพัฒนาเครื่องสูบลมแบบต่าง ๆ ขึ้นอีกหลายชนิด ได้แก่ เครื่องสูบลมสุญญากาศ (Vacuum Pump) เครื่องเป่าลม (blowers) และเครื่องอัดลมความดันสูง เพื่อใช้ในกิจการต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของการทำงาน (Morrow. 1966 : 78)

ในส่วนของการพัฒนาเครื่องสูบน้ำ ได้มีการพัฒนาเครื่องสูบน้ำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะบริษัทซัลเตอร์ (Sulzer) แห่งสวิตเซอร์แลนด์ สามารถผลิตเครื่องสูบน้ำที่ใหญ่ที่สุดในโลกขนาด 100,000 แรงม้า ได้เป็นผลสำเร็จ ในปี 1968 ในส่วนของประเทศไทยได้มีการพัฒนาเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบขึ้น ใช้กังหันลมเป็นตัวขับเคลื่อนโดย สานิตส์ โรจนสโรช ในปี พ.ศ. 2521 จากนั้นในปี

พ.ศ.2522 บริษัทมิตรยนต์ จำกัด ได้ทำการพัฒนาเครื่องสูบลมพัดขึ้น จนมีประสิทธิภาพสูง ราคา ถูก ทนทาน เหมาะกับงานเกษตรกรรมโดยทั่วไป (วิจิตร คงพล. 2524 : 61)

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา

1. ความหมายของ "สิ่งแวดล้อม"

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ให้นิยามของ สิ่งแวดล้อมไว้ในมาตรา 4 ว่า "สิ่งแวดล้อม" หมายความว่า สิ่งต่าง ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพและชีวภาพที่อยู่รอบตัวมนุษย์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และสิ่งที่มีมนุษย์ได้ทำขึ้น ถ้าดูจากเจตนารมณ์ของกฎหมายฉบับนี้ จะเห็นว่า ผู้ร่างกฎหมายมีเจตนาที่จะไม่เข้าไปยุ่งเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทางสังคม เช่น ศาสนา, วัฒนธรรม, การเมือง, กฎหมาย, การปกครอง ทั้ง ๆ ที่ปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ปัญหาทางสังคม

โดยนัยที่เป็นสากลแล้ว สิ่งแวดล้อม หมายถึง สรรพสิ่งข้อกำหนดกฎเกณฑ์ และกิจกรรมทั้งหลายที่อยู่รอบตัวมนุษย์ ทั้งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ บรรยากาศ (Atmosphere) น้ำ (Hydrosphere) ดิน-หิน (Lithosphere) พลังงาน, มนุษย์, สัตว์, และพืช สำหรับสิ่งที่มนุษย์ได้ทำขึ้นได้แก่ รถยนต์, อาคาร, โทรศัพท์, อาวุธ, ตู้เย็น ฯลฯ ตลอดจน ระบบการจัดการกิจกรรม, ข้อกำหนดกฎเกณฑ์, นโยบายการ, วัฒนธรรม, การปกครอง, กฎหมาย ศิลปกรรม, ศาสนา และเศรษฐกิจ เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับสากล

ในการประชุมเชิงปฏิบัติการนานาชาติว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อมศึกษา ที่กรุงเบลเกรด ในปี 1975 ที่ประชุมได้ตกลงให้นิยามของวัตถุประสงค์ของสิ่งแวดล้อมศึกษาไว้ 6 ข้อ วัตถุประสงค์นี้กลายมาเป็นข้อตกลงของยูเนสโกในการประชุมระหว่างรัฐบาล ที่เมืองทบิลีซี (Tbilisi) เมื่อปี ค.ศ.1977 เรียกกันโดยย่อว่า กฎบัตรกรุงเบลเกรด (The Belgrade Charter) มีดังนี้ (ปริญา นุตาลัย. 2531 : 1)

2.1 ความตระหนัก (awareness) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมตื่นตัว และมีสื่อสัมผัสต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

2.2 ความรู้ (knowledge) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมมีความเข้าใจในสภาพสิ่งแวดล้อมและปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เข้าใจถึงความดำรงอยู่อย่างรับผิดชอบและบทบาทของมนุษยชาติ

2.3 ทศนคติ (attitude) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมได้ซึมซาบถึงค่านิยมของสังคม มีความรู้สึกห่วงใยและผูกพันต่อสิ่งแวดล้อม และมีความบันดาลใจที่จะมีส่วนร่วมในการพิทักษ์และปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจังและต่อเนื่อง

2.4 ทักษะ (skill) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมมีความรู้ และความชำนาญในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม

2.5 ความสามารถในการประเมิน (evaluation ability) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมสามารถประเมินการปฏิบัติการด้านสิ่งแวดล้อม และหลักสูตรการศึกษานองศ์ประกอบต่าง ๆ คือ ระบบนิเวศ, การเมือง, เศรษฐกิจ, สังคม, ศิลปะ และการศึกษา

2.6 การมีส่วนร่วม (participation) เพื่อช่วยให้บุคคลและกลุ่มสังคมพัฒนาความรู้สึกรับผิดชอบ และความเร่งด่วนของการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้มาซึ่งการปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เหล่านั้น

ในการประชุมสมัชชานานาชาติว่าด้วยเรื่องการศึกษาและการอบรมสิ่งแวดล้อมที่กรุงมอสโก ในปี 2530 ซึ่งจัดโดยยูเนสโก (Unesco) โดยมีองค์กรนานาชาติหลายองค์กรเข้าร่วมเป็นผู้สังเกตการณ์ที่ประชุมได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษา และอบรมเรื่องสิ่งแวดล้อมในระดับนานาชาติในช่วงทศวรรษ 1990 ไว้ดังนี้

1. การสร้างแหล่งข้อมูล และการเปิดโอกาสให้ใช้ประโยชน์
2. การเพิ่มสมรรถนะในการวิจัยและการทดลอง โดยเฉพาะในการสอนด้านคุณค่า การถ่ายทอดความรู้และการพัฒนาความตระหนักในเรื่องสิ่งแวดล้อม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ภายใต้สภาวะการดำเนินงานตามธรรมชาติ

สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบ (pilot scale) ในพื้นที่ 48 ตารางเมตร ตามแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองขึ้น ในบริเวณของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ด้านริมคลองแสนแสบติดกับบริเวณที่ตั้งหอพักนิสิตโครงการเพชรในตม การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในส่วนของคุณค่าออกซิเจน ค่าพีเอช (pH) ค่าบีโอดี (BOD) และค่าซีโอดี (COD) กระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัยภาควิชาชีววิทยา และห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ในส่วนของการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ บรอม ตะกั่ว และแคดเมียมกระทำที่ กองวิเคราะห์ภาคสถาบันปรมาณูเพื่อสันติ บางเขน กรุงเทพมหานคร

ขั้นตอนและระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้เริ่มดำเนินการตั้งแต่วันที่ 2 กันยายน 2538 ถึงวันที่ 29 พฤศจิกายน 2539 ดังรายละเอียดตามตาราง 8

กิจกรรม/ขั้นตอนและ ระยะเวลาในการดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
4. สร้างหุ่นจำลอง (Model) ของระบบบำบัดน้ำเสีย ขนาด 3.5 X 5 X 3 ฟุต เพื่อนำ เสนอเป็นผลงานทางวิชาการ ในงานวันสมเด็จพระเทพฯ ที่ มศว จัดขึ้นในวันที่ 7 พฤศจิกายน 2538	<--->														
5. ศึกษาขั้นตอนการเลี้ยง แบคทีเรีย เพื่อทำหัวเชื้อ(starter)ในสาร อาหารมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ ในความ เข้มข้นที่แตกต่างกันพร้อมทั้งศึกษาหา จำนวนและชนิดของตัวกลาง(Median) ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นที่ยึดเกาะของ แบคทีเรียขณะอยู่ในถังหมักแบบใช้ ตัวกลาง						<--->									
6. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบลม พลังคลื่น ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหา รูปแบบที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด						<--->									
7. ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ พลังคลื่น ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหา รูปแบบที่ทำให้ประสิทธิภาพ สูงสุด						<--->									

กิจกรรม/ขั้นตอนและ ระยะเวลาในการดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
8. ศึกษาประสิทธิภาพของราง เติมอากาศและกังหันเติมอากาศ เพื่อหารูปแบบทำให้ประสิทธิภาพ สูงสุดในการเติมอากาศ							<----->								
9. ออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ เป็นส่วนประกอบของระบบบำบัด น้ำเสียโดยใช้วัสดุที่หาง่ายในทุก ท้องถิ่นมาใช้ในการจัดสร้าง							<----->								
10. ทาบันทึกเสนอต่อมหาวิทยาลัย ขอใช้สถานที่ริมคลองแสนแสบเพื่อ จัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบ ในพื้นที่ 48 ตารางเมตร							<-->								
11. ดำเนินการขออนุญาตกรม เจ้าท่าเพื่อติดตั้งทุ่นรับแรงจากคลื่น ขนาด 1.5 x 2.0 เมตรแต่ไม่ ผ่านการอนุมัติ เนื่องจากอาจก่อ ให้เกิดอันตรายต่อการเดินเรือ โดยสาร							<--->								

กิจกรรม/ขั้นตอนและ ระยะเวลาในการดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
12. ทำการออกแบบและปรับปรุง เครื่องสูบลมและเครื่องสูบน้ำพลัง คลื่นรูปแบบใหม่โดยพยายามใช้เนื้อ ที่ในการติดตั้งน้อยลง เพื่อไม่ให้เกิด การสั่นไหวลงไปในคลองแสนแสบ เกินกว่าที่กฎหมายกำหนดพร้อมทั้ง ศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น							<--->								
13. จัดสร้างถังหมักแบบใช้ตัวกลาง จำนวน 8 ถัง พร้อมติดตั้งสูงจากพื้น 3.5 เมตร							<--->								
14. สร้างบ่อเติมอากาศแบบการ ไหลในรางขนาด 2 X 4 X 0.8 เมตร รางกว้าง 0.35 เมตร จำนวน 5 ราง							<--->								
15. สร้างรางเติมอากาศ สูง 4.25 เมตร จำนวนชั้นทั้งหมด 11 ชั้น ความยาวรวมทั้งหมด 55.30 เมตร							<--->								

กิจกรรม/ขั้นตอนและ การดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
16. จัดสร้างกังหันเติมอากาศที่ประกอบด้วยกระบวยรับน้ำจำนวน 10 ใบ ทำการศึกษาจำนวนและขนาดของช่องระบายน้ำ ที่มีประสิทธิภาพในการเติมอากาศสูงสุด								<-->							
17. ประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดที่สร้างขึ้นตามแบบที่ที่กำหนดไว้ในระบบบำบัดน้ำเสีย							<-->								
18. ทดลองเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำเสียทั้งระบบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ ต่าง ๆ ให้ทำงานร่วมกันพร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย								<->							
19. ทดลองเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำเสียทั้งระบบเป็นครั้งที่ 2 ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียพร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่ยังบกพร่อง									<->						
20. ทำการเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำเสียทั้งระบบพร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย											<----->				

กิจกรรม/ขั้นตอนและ ระยะเวลาในการดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
21.สรุปผลการทดลองและอภิปราย ผลการทดลอง														<-->	
ขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องน้ำเพื่อชีวิตให้สอดคล้องกับเนื้อหา การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย															
1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนว ทางการพัฒนาการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น							<-->								
2. ศึกษาหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์ พุทธศักราช 2535 ในระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1 ว 101 เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต และศึกษาเนื้อหาการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการ บำบัดน้ำเสีย							<-->								
3. วิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรม และเนื้อหากิจกรรมจากบทปฏิบัติการ เรื่องน้ำเพื่อชีวิต รวมทั้งทำการ วิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและ เนื้อหาของกิจกรรมการตรวจสอบ คุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัด น้ำเสีย							<-->								

กิจกรรม/ขั้นตอนและ ระยะเวลาในการดำเนินงาน	เดือน														
	กย	ตค	พย	ธค	มค	กพ	มีค	เมย	พค	มิย	กค	สค	กย	ตค	พย
4. กำหนดจุดประสงค์และเนื้อหา ของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการเรื่อง น้ำเพื่อชีวิตสอดคล้องกับจุดประสงค์ และเนื้อหาของกิจกรรมการตรวจ สอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการ บำบัดน้ำเสีย							<-->								
5. ดำเนินการพัฒนายบทปฏิบัติการ เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้อง กับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำ เบื้องต้นการบำบัดน้ำเสียตามแผน การที่กำหนดไว้								<-->							
6. นำบทปฏิบัติการที่ดำเนินการ พัฒนาเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้ เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบความ ถูกต้อง												<-->			
7. นำผลการตรวจสอบจากผู้ เชี่ยวชาญมาทำการปรับปรุงแก้ไข ตามข้อเสนอแนะ												<-->			

ตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียในครั้งนี้ ได้แก่ น้ำทิ้งจากอาคารและสถานที่ต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อน

1. การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างน้ำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพจะกระทำภายหลังจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองได้ถูกเตรียมความพร้อมของระบบบำบัด (start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำที่อยู่นั้นขั้นตอนต่าง ๆ ของการบำบัด ด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (grab sampling) โดยการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หา ค่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช (pH) ค่าดีโอ (DO) ค่าบีโอดี (BOD) และค่าซีโอดี (COD) โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้งหมด 4 จุด ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจะกระทำรวมทั้งหมด 2 จุด ดังรายละเอียดตามภาพประกอบ 15

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างน้ำจะกระทำสัปดาห์ละ 3 ครั้งคือวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 09.00 น ถึง 10.00 น รวมเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 สัปดาห์ จำนวนตัวอย่างทั้งหมดรวม 24 ตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำโดยวิธีวิเคราะห์แบบสากล (Standard Method) โดยพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดทันทีที่เก็บตัวอย่างคือ ค่าอุณหภูมิ และค่าพีเอช ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ จะนำมาทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแล้ว เสร็จภายในวันเดียวกัน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานภายในตัวเองบำบัดตัวเอง ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้น
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในหัวข้อการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบลมหลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำหลังคลื่น

1. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของลมขนาด 0-15 ลิตร/นาที (Air Flow Meter; Dwyer, Model: RMA-26-ssv)
2. เครื่องมือวัดความดันอากาศ (Pressure Gas Meter; Merica, Model: PL-10)

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ
 - 1.1 ขวดพลาสติกใส่ตัวอย่างน้ำ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ
 - 1.2 เทอร์มอมิเตอร์ขนาด 0-100 องศาเซลเซียส จำนวน 1 อัน
 - 1.3 ปีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
 - 1.4 แบบฟอร์มการเก็บตัวอย่างน้ำ
2. อุปกรณ์สำหรับการผสมน้ำตัวอย่าง
 - 2.1 ขวดแก้วทรงกระบอก ขนาด 2.5 ลิตร จำนวน 1 ใบ
 - 2.2 กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
 - 2.3 กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
 - 2.4 กระบอกตวงขนาด 1000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ

3. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์น้ำในห้องปฏิบัติการ

3.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (Analytical Balance; PRECICA, Model Zerorotic II)

3.2 พีเอชมิเตอร์ (pH Meter; METTLER, Model : Delta 320)

3.3 ตู้อบ (Hot Air Oven ; SHEL , Model : U30)

3.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (Cooling Incubator; SHEL LAB, Model : 815)

3.5 เครื่องเติมออกซิเจน (Air Pum ; VWR SCIENTIFIC, Model : 1074)

3.6 เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer; PERKIN ELMER, Model: 373)

3.7 ขวด ปีไอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร

3.8 เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น บีเบต บิวเรตต์ ปีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดวัด ปริมาตร ขวดรูปกรวย หลอดแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) เป็นต้น

3.9 สารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพตามค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. การวัดอุณหภูมิ

การตรวจวัดอุณหภูมิทำได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ขนาด 0 - 100 องศาเซลเซียส จุ่มลงในน้ำทิ้งที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำนานประมาณ 3 นาที (โดยต้องทันทันที่ที่เก็บตัวอย่างน้ำ) อ่านค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส บันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มการเก็บตัวอย่างน้ำ

2. การวัดพีเอช (pH)

การตรวจวัดค่า พีเอช ทำโดยการปรับเครื่องวัดให้ได้มาตรฐาน โดยใช้ สารละลาย

บัฟเฟอร์มาตรฐาน (Standard Buffer Solution) พีเอช 4.01 และ 7.00 นำน้ำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 50 มิลลิลิตร จุ่ม ขั้ววัด (Electrode) ลงในน้ำตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในบีกเกอร์นาน 2 นาที บันทึกผลจากตัวเลขหน้าปัทม์เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter)

3. สารละลายออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO)

การตรวจวัดค่าดีโอ วิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide Modification) ทำโดยการเติมตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ลงในขวดบีโอดี โดยวิธีกลักน้ำจนล้นขวดอย่าให้มีฟองอากาศ แล้วเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต และสารละลาย อัลคาไล-ไฮโดรไคด์-เอไซด์อย่างละ 1 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตต์อยู่ใต้ผิวน้ำ จากนั้นปิดจุกเขย่าขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร โดยให้กรดไหลลงไปตามด้านข้างของคอขวดและให้ปลายปิเปตต์อยู่เหนือน้ำ ปิดจุกเขย่าขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมดตั้งทิ้งไว้ 5 นาทีก่อนนำไปไตเตรต แล้วเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟตและสารละลาย อัลคาไล-ไฮโดรไคด์-เอไซด์ อย่างละ 1.5 มิลลิลิตร แล้วรินสารละลายจากขวด บีโอดี จำนวน 202 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยนำไปไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล จนกระทั่งได้สีเหลืองเติมน้ำแข็ง 1 มิลลิลิตร ไตเตรตต่อไปจนสีน้ำเงินหายไปหมด บันทึกปริมาณสารละลาย โซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ไปเป็น มิลลิลิตรจะมีค่าเท่ากับค่าดีโอเป็น มิลลิกรัม/ลิตร

4. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

การตรวจวัดค่าบีโอดี วิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์แบบปรับปรุง (Azide modification) ทำโดยการใส่กระบอกตวง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำเจือจาง (dilution water) ที่เตรียมไว้จำนวน 300 มิลลิลิตร โดยไม่ให้มีฟองอากาศอุดน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาค่าบีโอดี ใส่ลงในกระบอกตวง ตามปริมาตรที่กำหนดไว้ในอัตราการเจือจาง (dilution ratio) แล้วเติมน้ำเจือจางลงในกระบอกตวงให้มีปริมาตรครบ 1,000 มิลลิลิตร ทำการผสมด้วยแท่งแก้วโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศ นานประมาณ 2 นาที จากนั้น ถ่ายน้ำตัวอย่างจากกระบอกตวงลงสู่ขวดบีโอดี ที่เตรียมไว้ โดยใช้วิธีกลักน้ำ (siphon) อย่างช้า ๆ ให้เต็มทั้ง 2 ขวด โดยไม่ให้มีฟองอากาศแล้วปิดจุกให้สนิท แล้วนำ

น้ำตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในขวด บีโอดี ชุดที่ 1 ไปหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (ค่าดีโอ) ที่วันที่ 0 ส่วนน้ำตัวอย่างที่เหลืออีก 1 ชุดนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำมาหาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำอีก 1 ชุด โดยการวิเคราะห์หาค่าดีโอทำการวิเคราะห์ตามวิธีเอชดีแบบปรับปรุง

5. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

การตรวจวัดค่าซีโอดี ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเร่งปฏิกิริยาแบบปิด (Closed reflux) ทำโดยการดูดน้ำตัวอย่างมา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดแก้วเพาะเชื้อ (culture tube) ขนาด 20 x 150 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโพตัสเซียมไดโครเมตลงไปจำนวน 3.0 มิลลิลิตร และตามด้วยกรดซัลฟูริกจำนวน 0.4 กรัม ถ้ามี Cl^- มาก ต้องเพิ่ม 7.0 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดให้แน่นแล้วเขย่าให้สารผสมกันให้ดี วางหลอดแก้วในบล็อกแล้วทำการอบในตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นออกจากหลอดลงในขวดรูปกรวยใช้น้ำกลั่นล้างสารละลายให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย แล้วหยดเฟอร์โรอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) ลงไป 2-3 หยด ทำการไตเตรตด้วยสารละลาย เพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟตมาตรฐาน จนถึงจุดยุติเปลี่ยนจาก เขียวอมน้ำเงินเป็นสีฟ้าขาว จดปริมาตรไว้ จากนั้นสารละลายมาตรฐาน (blank) โดยใช้ น้ำกลั่นแทนน้ำตัวอย่างแล้วทำตามวิธีการเดียวกัน

6. โลหะหนัก

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทั้งหมด 3 ชนิดคือปรอท ตะกั่วและแคดเมียม ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

6.1 การวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในน้ำ

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณปรอทในน้ำ น้ำตัวอย่างน้ำที่เก็บมา 1,000 มิลลิลิตร ลดปริมาตรลงจนกระทั่งเหลือปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจาก

การวิเคราะห์เบื้องต้นไม่สามารถตรวจวัดปริมาณปรอทในน้ำได้จึงจำเป็นต้องลดปริมาตรลง เพื่อให้ความเข้มข้นของปรอทมากขึ้น สำหรับสารละลายมาตรฐาน(blank) ใช้น้ำปลอดประจุที่ผ่านกระบวนการกรอง 2 ครั้ง (double deionized water) แทนตัวอย่างน้ำ

นำตัวอย่างที่ลดปริมาตรลงแล้วมาวิเคราะห์หาปริมาณปรอทโดยวิธีเฟลมเลสอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry) ตามวิธีการของ สแตนต์ (Stainton.1971) โดย Perkin Elmer - 373 Atomic Absorption Spectrophotometer ค่าความเข้มข้นของปรอทในตัวอย่างน้ำอ่านได้จากกราฟมาตรฐานที่ใช้เทียบ (calibrating curve)

6.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในน้ำ

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียมและตะกั่วในน้ำ การเตรียมตัวอย่างน้ำ ทำเช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณปรอท แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้วิธีเฟลมเลสอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตรี (Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Model 373 ของบริษัท Perkin Elmer

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1.1 เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง (start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state)

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.2.1 สืบน้ำจากบ่อรวมน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อน นำไปกักเก็บไว้ในถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter) ในถังใบที่ 1 แล้วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางใบสุดท้ายให้ไหลลงสู่รางเติมอากาศ กังหันเติมอากาศและบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางและปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วลงสู่คลองแสนแสบตามลำดับ ด้วยอัตราการไหล 3.95 ลิตร/นาที่

1.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะทำการเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบ (start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) แล้ว โดยเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (grab sampling) สัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หา ค่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าดีโอ ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี จะเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้งหมด 4 จุด คือ (รายละเอียดตามภาพประกอบ 15)

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักปรอท ตะกั่ว และแคดเมียม จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้งหมด 2 จุด คือ จุดที่ 1 และจุดที่ 4

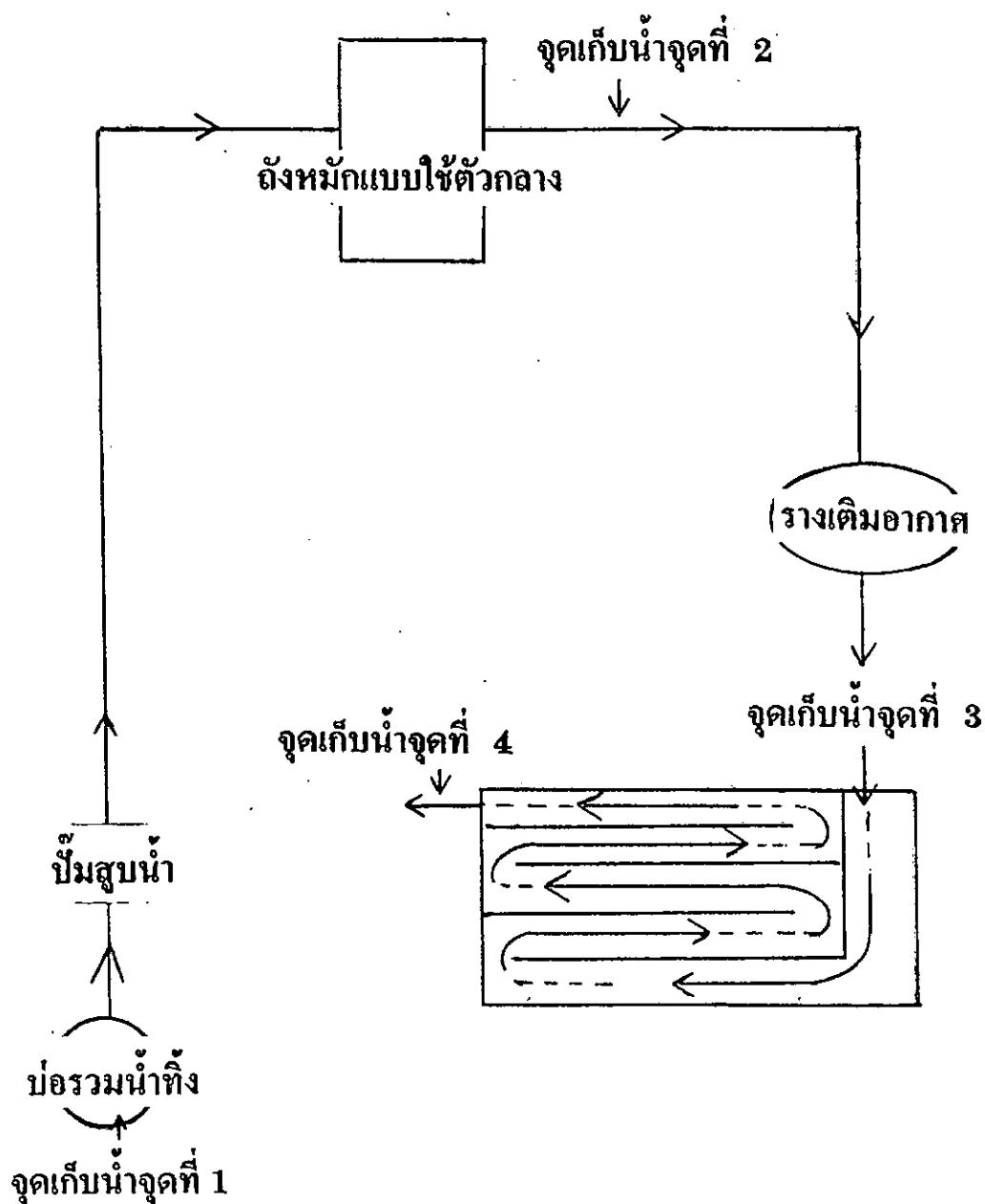
จุดที่ 1 น้ำทิ้งจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ก่อนสูบเข้าสู่ระบบบำบัด (Influent)

จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังหมักแบบใช้ตัวกลางก่อนปล่อยลงสู่รางเติมอากาศ

จุดที่ 3 น้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศก่อนปล่อยลงสู่กังหันเติมอากาศ

จุดที่ 4 น้ำที่ปล่อยออกจากระบบ (Effluent) ที่ผ่านการเติมอากาศจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางเรียบร้อยแล้ว

การเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มเก็บเวลา 09.00 น. - 10.00 น. แล้วนำไปทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำเรียบร้อยแล้ว



ภาพประกอบ 15 แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

1.2.3 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบสากล (Standard Method for Examination of Water and Wastewater 16th Edition. APHA. AWWA. WPCF, 1985) รายละเอียดดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงคุณภาพน้ำและวิธีวิเคราะห์

คุณภาพน้ำ	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าอุณหภูมิ (Temperature)	1. เทอร์มอมิเตอร์ (Thermometer)
2. ค่าพีเอช (pH)	2. พีเอชมิเตอร์ (pH meter)
3. ค่าดีโอ (Dissolved Oxygen : DO)	3. เอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide - Modification)
4. ค่าบีโอดี (Bio - chemical Oxygen demand : BOD)	4. เอไซด์โมดิฟิเคชัน : 20 C (Azide Modification : 20 c : 5 days)
5. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen demand : COD)	5. รีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method)
6. ปริมาณโลหะหนัก ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม	6. เฟลมเลสอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรเมตรี (Flameless Atomic Absorption Spectrophotometry)

2. การตรวจสอบคุณภาพของบพปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้องกับ เนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

2.2 ศึกษาหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์พุทธศักราช 2535 ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ว 101 เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต

2.3 วิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหากิจกรรมเรื่องน้ำเพื่อชีวิตรวมทั้งทำการวิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรม และเนื้อหาของกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

2.4 กำหนดจุดประสงค์และเนื้อหาของกิจกรรม เรื่อง น้ำเพื่อชีวิตให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

2.5 ดำเนินการพัฒนารูปแบบปฏิบัติการเรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียตามแผนการที่กำหนดไว้

2.6 นำแบบปฏิบัติการที่ดำเนินการพัฒนาเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบความถูกต้อง

2.7 นำผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.8 นำแบบปฏิบัติการที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมศึกษาทำการตรวจสอบคุณภาพโดยการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปเป็นเกณฑ์กำหนดคุณภาพของแบบปฏิบัติการที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของแบบปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์ และสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ (1) รองศาสตราจารย์ ดร. ทวี หอมขง รองอธิการบดีและคณบดีคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสยาม (2) รองศาสตราจารย์ ดร. วินัย วีระวัฒนานนท์ กรรมการบริหารหลักสูตรดุสิตบัณฑิตสาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (3) รองศาสตราจารย์ วราพร ศรีสุพรรณ กรรมการบริหารหลักสูตรบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1)นายไพรัช เรืองกลิ่น อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัด นนทบุรี (2) นายทวีศักดิ์ อริยวัฒน์วงศ์ อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนปรกแก้ววิทยา อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1) นางสาว เพ็ญแข วิสิฐพันธุ์ อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี (2) นางสาวปราณี สมสกุล อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม อำเภท่ามะกา จังหวัด กาญจนบุรี

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานได้แก่ สถิติพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย(Mean) ค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าร้อยละ ในการพรรณนาข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเพื่อเปรียบ เทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด และนำเสนอข้อมูลในรูปตารางและรูปภาพ

2. การตรวจสอบคุณภาพของบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

หาดัชนีความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมของบทปฏิบัติการกับจุดประสงค์ของบทปฏิบัติการ ตามสูตรดังนี้

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

เมื่อ IOC แทนดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรมใน แต่ละบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

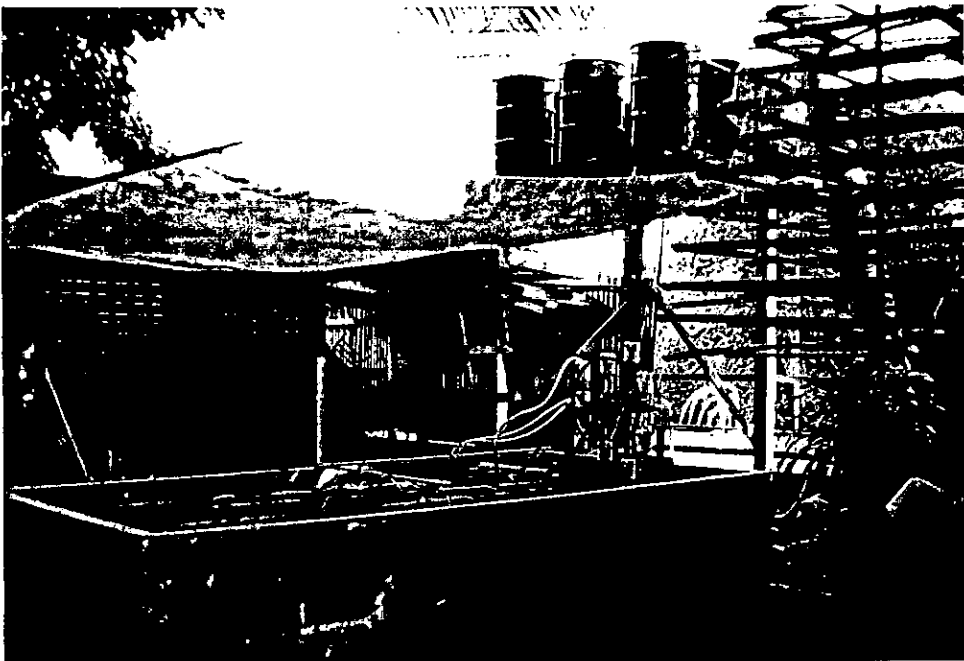
บทที่ 4

ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง บำบัดตัวเอง และบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียมีขั้นตอนการพัฒนาดังต่อไปนี้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

1. หลักการทำงานของ ระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้วิธีการบำบัด โดยวิธีทางชีวภาพทั้งสองแบบรวมเข้าด้วยกันคือ แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยในกระบวนการบำบัดดังกล่าวมุ่งเน้นการนำพลังงานที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน พลังงานที่นำมาใช้ใน ระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้ได้แก่ พลังงานจากสารอินทรีย์ที่ปะปนอยู่ในน้ำ พลังงานจากแรงโน้มถ่วง ของโลกที่กระทำกับมวลของน้ำ และที่สำคัญคือการนำพลังงานจากคลื่นน้ำมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพประกอบ 16 ภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

2. ขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบ่งออกเป็นขั้นตอนใหญ่ ๆ 2 ขั้นตอน คือ

2.1 การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน เริ่มต้นจากการสูบน้ำเสียจากบ่อพักน้ำทิ้งภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อนขึ้นไปกักเก็บไว้ในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) ภายในถังหมักจะอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งมีแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนดำรงชีวิตอยู่โดยการยึดเกาะอยู่กับตัวกลางที่ทำจากท่อ พีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวนถึงละ 60 ท่อน เพื่อใช้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรีย เพื่อเป็นการป้องกันไม่ทำให้แบคทีเรียไหลปะปนมากับน้ำที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนนี้เรียบร้อยแล้ว โดยแบคทีเรียเหล่านี้จะทาน้ำที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็ก ในขั้นตอนนี้จะทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น แต่ยังมีกลิ่นค่อนข้างเหม็นและมีสีค่อนข้างดำ



ภาพประกอบ 17 ภาพถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)

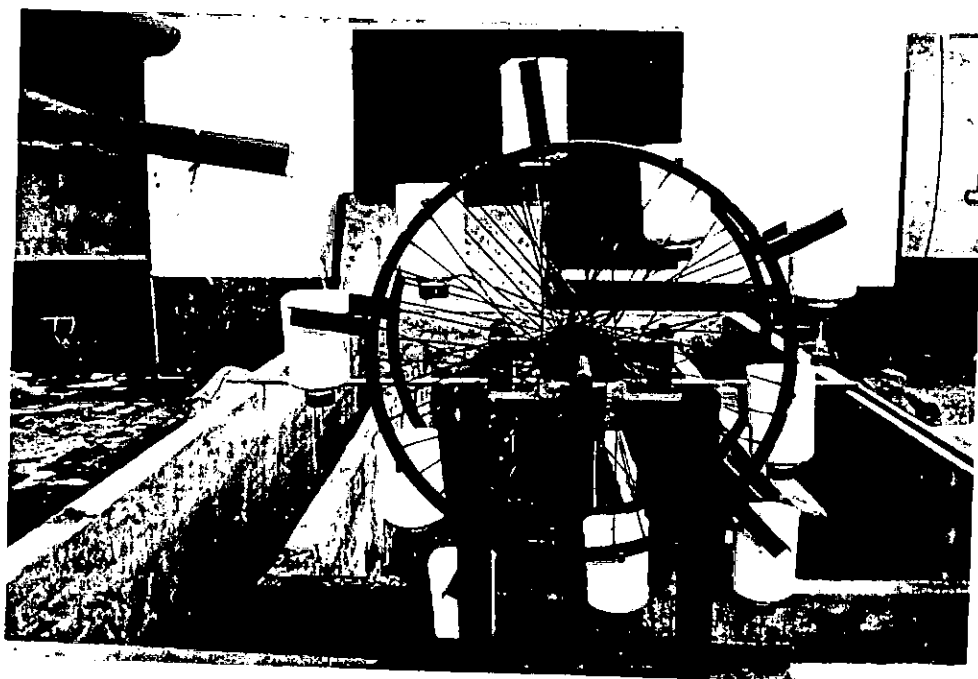
2.2 การบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน เป็นการบำบัดโดยการเติมอากาศลงไปในน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดในขั้นตอนที่ 1 แล้ว ทั้งนี้เพื่อให้แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่ยังหลงเหลืออยู่ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กลงต่อไป ในกระบวนการเติมอากาศใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.2.1 รวงเติมอากาศ เป็นรางรูปครึ่งวงกลมที่ทำจากท่อพีวีซีผ่าครึ่งนำมาต่อเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ คล้ายรูปประติมากรรมสี่เหลี่ยม ให้นำที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนที่ 1 ไหลจากด้านบนของรางเติมอากาศลงสู่ด้านล่างโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกและเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำให้สัมผัสกับอากาศให้มากขึ้น



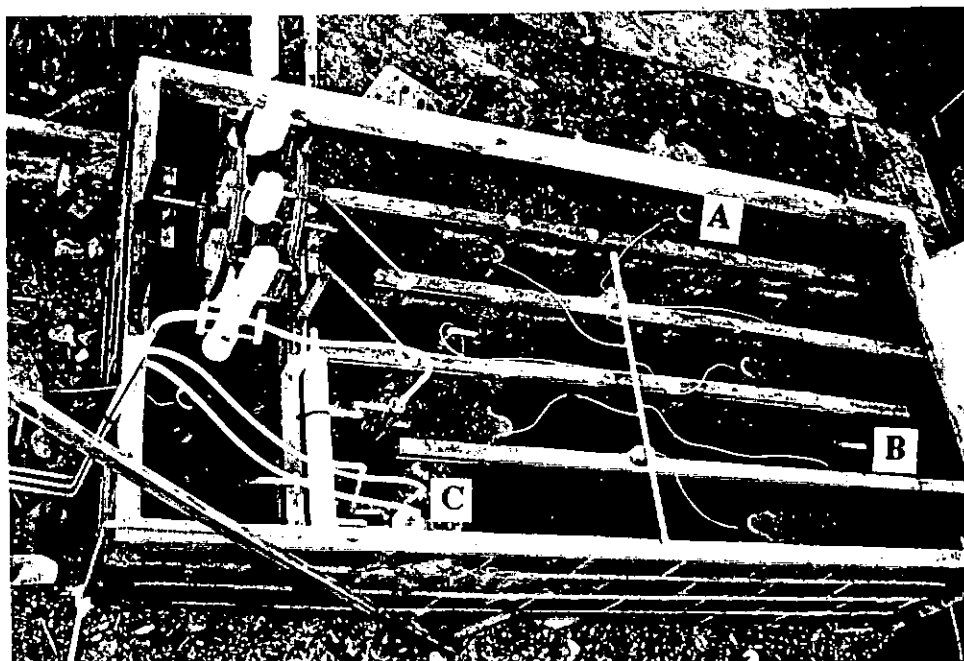
ภาพประกอบ 18 ภาพรางเติมอากาศ

2.2.2 กังหันเติมอากาศ ใช้หลักการให้น้ำไหลผ่านรูเล็ก ๆ ของกระวยรับน้ำ ทำให้น้ำมีลักษณะการไหลเป็นสายเล็ก ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มผิวสัมผัสกับอากาศให้มากขึ้น การขับเคลื่อนของกังหันจะใช้น้ำหนักของน้ำที่ปล่อยลงมาจากรางเติมอากาศทำให้กังหันเสียการสมดุล และเกิดการหมุนรอบตัวเอง



ภาพประกอบ 19 ภาพกังหันเติมอากาศ

2.2.3 ป่อเติมอากาศแบบการไหลในราง (Channel Flow Aeration System) เป็นป่อที่มีการแบ่งส่วนของพื้นที่ป่อให้มีลักษณะเป็นรางเพื่อเพิ่มระยะทางการไหลของน้ำให้มากขึ้นโดยขณะที่น้ำไหลอยู่ในรางนั้นมีการเติมอากาศโดยเครื่องสูบลมพลังคลื่นซึ่งปล่อยอากาศที่มีความดันอากาศพอเหมาะออกมาทาง หัวเติมอากาศซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบพองอากาศ และแบบอัดอากาศให้น้ำไหลจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนผิวน้ำ นอกจากนี้ที่ส่วนท้ายของป่อเติมอากาศยังประกอบด้วยระบบการสูบน้ำกลับโดยใช้เครื่องสูบน้ำพลังคลื่นซึ่งทำให้น้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้น และหมุนเวียนน้ำให้กลับมารับการเติมอากาศอีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียอีกวิธีการหนึ่งก่อนปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป



ภาพประกอบ 20 ภาพป่อเติมอากาศแบบการไหลในราง

A : หัวเติมอากาศแบบพองอากาศ

B : หัวเติมอากาศแบบอัดอากาศ

C : เครื่องสูบน้ำพลังคลื่น

3. ขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 7 ชนิดคือ (1) ถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (2) รางเติมอากาศ (3) กังหันเติมอากาศ (4) บ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง (5) เครื่องสูบลมพลังคลื่น (6) เครื่องสูบน้ำพลังคลื่น (7) เครื่องสูบน้ำเสีย โดยระบบบำบัดน้ำเสียระบบนี้ไม่มีขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาประสิทธิภาพดังนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียรวมถึงทฤษฎีการสร้างเครื่องสูบลมแบบต่าง ๆ และหลักการนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ

3.2 วางแผนและออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

3.3 ออกแบบอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 7 ชนิด โดยมุ่งเน้นใช้วัสดุที่หาง่ายในทุก ๆ ท้องถิ่นและมีขั้นตอนการสร้างที่ไม่ยุ่งยากนัก พร้อมทั้งทำการศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในเบื้องต้น

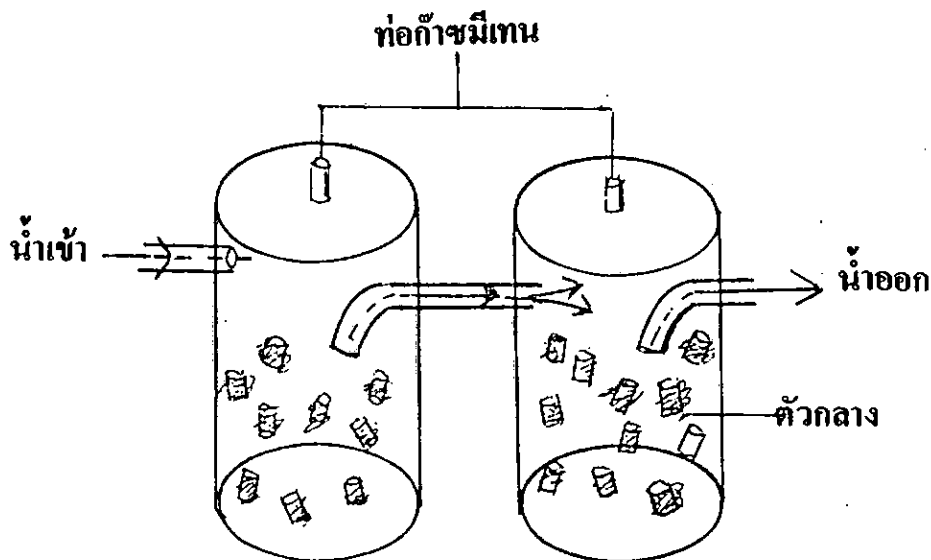
3.4 นำผลการศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในเบื้องต้น มาจัดสร้างหุ่นจำลอง (Model) ของระบบบำบัดน้ำเสีย ขนาด 3.5 x 5 x 3 ฟุต เพื่อนำเสนอผลงานในวันสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีฯ วันที่ 7 พฤศจิกายน 2538 ณ สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ดังรายละเอียดตามภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21' ภาพแสดงการนำเสนอผลงานในวันสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาสยามบรมราชกุมารี ฯ

3.5 ดำเนินการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียตามข้อมูลที่ได้
ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในเบื้องต้นซึ่งมีขั้นตอนและรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.5.1 ถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter) ประกอบด้วยถังเหล็ก
ปริมาตร 200 ลิตรจำนวน 8 ใบนำมาต่อเชื่อมกันตามรายละเอียดแสดงตามภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงลักษณะการต่อเชื่อมของถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter)

จากนั้นทำการพัฒนาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี โดยการศึกษาเบื้องต้น ผู้วิจัยพบว่า ตัวกลางที่เหมาะสมในการใช้เป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียภายในถังควรทำจากท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 60 ท่อน/ถัง ซึ่งผู้วิจัยได้แนวคิดในการพัฒนามาจาก สุเมธ ชวเดชและเสริมพล รัตสุข (2522) จากรายงานการวิจัยเรื่อง ถึงผลผลิตก๊าซชีวภาพแบบใช้ตัวกลางไม้รวก ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างและพัฒนาถังหมักแบบใช้ตัวกลางตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ศึกษารูปแบบและหลักการทำงานของถังหมักแบบใช้ตัวกลางจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถังปฏิกรณ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถังหมักแบบใช้ตัวกลาง

3.5.1.2 ออกแบบถังหมักแบบใช้ตัวกลางเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสีย

3.5.1.3 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายมาใช้ทดแทนส่วนประกอบบางอย่างในถังหมักแบบใช้ตัวกลาง

3.5.1.4 พัฒนาสูตรอาหารในการจัดเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรีย (starter) จากการชื้อเหมาเป็นการใช้มูลไก่ทดแทน จากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่ามูลไก่ความเข้มข้น 1.4 กรัม/ลิตร จะช่วยเพิ่มปริมาณแบคทีเรีย ได้ในปริมาณพอเหมาะและช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ปีไอดี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.5.1.5 พัฒนาตัวกลางชนิดใหม่เพื่อใช้ทดแทนตัวกลางในรอกจากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่า ฟอสฟอรัส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวนถึงละ 60 ฟอน จะช่วยให้แบคทีเรียใช้เป็นที่ยึดเกาะได้ดีและทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป ปีไอดี อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state)

3.5.1.6 ทำการเตรียมความพร้อมของถังหมักแบบใช้ตัวกลางโดยทำการสูบน้ำทิ้งจากบ่อน้ำทิ้งภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตรมาทำการหมักในถังหมักโดยใส่ฟอสฟอรัสจำนวนถึงละ 60 ฟอนหัวเชื้อแบคทีเรียที่ได้ผ่านการพัฒนามาแล้ว เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป ปีไอดีของถังหมักแบบใช้ตัวกลางที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น

3.5.1.7 ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของถังหมักแบบใช้ตัวกลางในการลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป ปีไอดี ให้อยู่ในเกณฑ์โดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารอินทรีย์ เข้าสู่ระบบ (Barnes et al. 1984:125) จากการศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักแบบใช้ตัวกลางที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้น ปรากฏผลว่าการใช้ตัวกลางฟอสฟอรัสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 60 ฟอน/ถัง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป ปีไอดี ได้โดยเฉลี่ย 71.23 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดตามตาราง 10

ตาราง 10 แสดงผลการศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปปฏิกูลโดยใช้ตัวกลางต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 8 ชั่วโมง ภายใต้งบบรรจุหัวเชื้อแบคทีเรีย (starter) ที่เตรียมจากมูลไก่ความเข้มข้น 1.4 กรัม/ลิตร

พารามิเตอร์	ปริมาณ ปฏิกูล		
	น้ำเข้าระบบ (มก./ล)	น้ำออกจากระบบ (มก./ล)	ประสิทธิภาพในการกำจัด (%)
T ₁	102.14	34.18	66.53
T ₂	102.14	29.38	71.23*
T ₃	102.14	29.12	71.49
T ₄	102.14	29.07	71.53

*พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน

T₁: ตัวกลาง พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 50 ท่อน

T₂: ตัวกลาง พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 60 ท่อน

T₃: ตัวกลาง พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 70 ท่อน

T₄: ตัวกลาง พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 1.5 นิ้ว จำนวน 80 ท่อน

3.5.2 รางเติมอากาศ เป็นรางรูปครึ่งวงกลมทำจากท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ผ่าแบ่งครึ่งเป็นรูปรางน้ำ นำมาต่อเชื่อมกันเป็นชั้น ๆ รวมทั้งหมด 11 ชั้นมีลักษณะคล้ายรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม สูง 4.25 ม. ความยาวทั้งหมด 55.30 เมตร ดังรายละเอียดที่

แสดงตามภาพประกอบ 23 เพื่อเพิ่มระยะทางการไหลของน้ำให้มากขึ้นและประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้าง โดยรางเติมอากาศจะทำหน้าที่รับน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางให้น้ำสัมผัสกับอากาศเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการพัฒนารางเติมอากาศขึ้น โดยอาศัยหลักการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศให้มากขึ้น



ภาพประกอบ 23 แสดงส่วนประกอบของรางเติมอากาศ

รางเติมอากาศมีขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาดังนี้

3.5.2.1 ศึกษารูปแบบและหลักการไหลของน้ำจากทฤษฎีทางชลศาสตร์และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบรางระบายน้ำ

3.5.2.2 ออกแบบรางเติมอากาศโดยอาศัยหลักการของการออกแบบราง
ระบายน้ำทิ้ง

3.5.2.3 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายมาใช้ในการสร้าง
รางเติมอากาศ

3.5.2.4 พัฒนารูปแบบ วัสดุที่จัดสร้างและขนาดของรางเติมอากาศ พร้อม
ทั้งทำการศึกษาเพื่อหาอัตราการไหล และความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำในรางเติมอากาศที่มี
ประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

3.5.2.5 ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลาย
ในน้ำโดยให้น้ำมีค่าดีโอเจสียไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตรตามค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน
ที่ไม่ใช่ประเภท 3 ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) จากการศึกษา
ประสิทธิภาพ การเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของรางเติมอากาศ พบว่ารางเติมอากาศ
สามารถทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศจากรางเติมอากาศมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำโดย
เฉลี่ย 4.92 มิลลิกรัม/ลิตร ในสภาวะที่น้ำเคลื่อนที่ในรางเติมอากาศด้วยความเร็วเฉลี่ย 14.00
เมตร /นาที่ ในอัตราการไหล 5.75 ลิตร/นาที่ ระยะเวลาที่น้ำเคลื่อนที่อยู่ในรางโดยเฉลี่ย 4.09
นาที่ จากความยาวของรางเติมอากาศ 55.30 เมตร ดังรายละเอียดตามตาราง 11

ตาราง 11 แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่าDO)ของรางเดิมอากาศ
ในสภาวะน้ำมีอัตราคาร์บอน 5.75 ลิตร/นาที่ รางมีความยาวทั้งหมด 55.30 เมตร

พารามิเตอร์	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ	ค่า DO ที่เพิ่มขึ้น
T ₁	1.20	4.80	3.20
T ₂	1.20	5.42	3.72*
T ₃	1.20	5.33	3.13
T ₄	1.20	5.14	2.94

* พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน

T₁: น้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 10.0 เมตร/นาที่ ใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ในรางทั้งหมด 5.53 นาที

T₂: น้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 12.0 เมตร/นาที่ ใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ในรางทั้งหมด 4.60 นาที

T₃: น้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 14.0 เมตร/นาที่ ใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ในรางทั้งหมด 3.95 นาที

T₄: น้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 16.0 เมตร/นาที่ ใช้เวลาเคลื่อนที่อยู่ในรางทั้งหมด 3.45 นาที

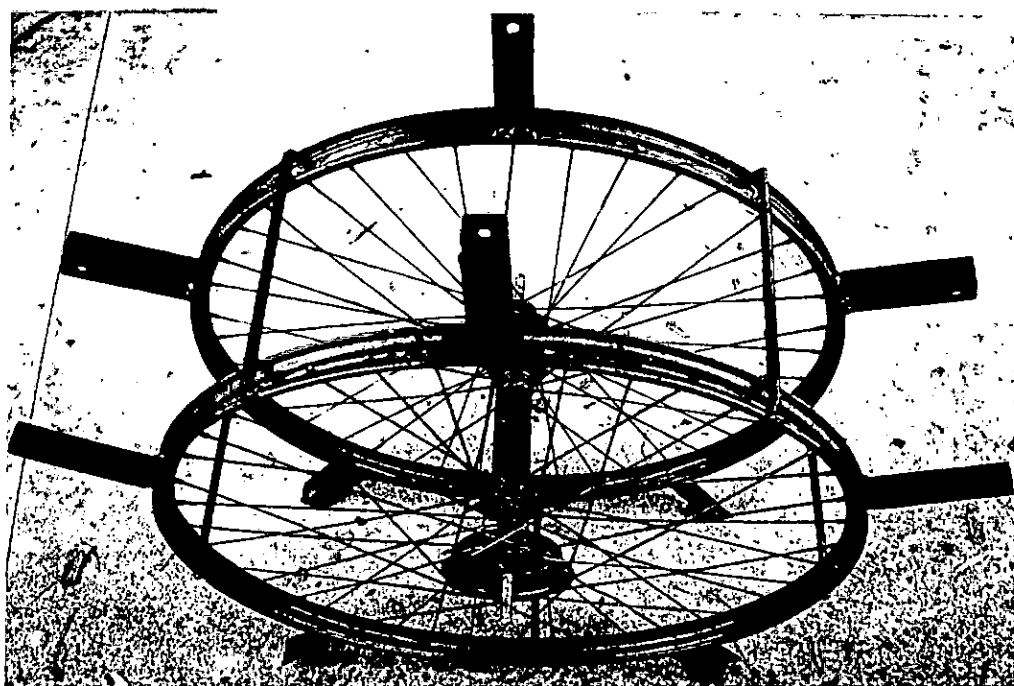
3.5.3 กังหันเดิมอากาศ เป็นกังหันรับน้ำที่ติดตั้งกระบวยรับน้ำขนาดความ

จุ 0.8 ลิตร จำนวน 10 ใบ ที่กั้นกระบวยแต่ละใบเจาะช่องระบายน้ำขนาด 0.2 เซนติเมตร

จำนวน 6 ช่อง ดังรายละเอียดตามภาพประกอบ 24 ในการพัฒนากังหันเดิมอากาศในครั้งนี้ ผู้วิจัย

ได้แนวทางการพัฒนามาจากแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลมหาราชที่ได้ทรงออก

แบบกังหันชัยพัฒนาซึ่งเป็นเครื่องกลเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยกังหันเติมอากาศมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับกังหันชัยพัฒนา แต่มีส่วนประกอบบางส่วนแตกต่างกันคือกังหันชัยพัฒนาจะใช้มอเตอร์รอบตัวขับเคลื่อนให้กังหันเคลื่อนที่ แต่กังหันเติมอากาศจะขับเคลื่อนโดยอาศัยแรงกดของน้ำในแต่ละกระบอกที่มีปริมาตรไม่เท่ากัน ส่งผลให้กังหันอยู่ในสภาวะที่ไม่สมดุลเกิดการหมุนเคลื่อนที่ได้ ในอัตรา 6.4 รอบ/นาที โดยกระบอกรับน้ำจะรับน้ำจากรางเติมอากาศแล้วระบายน้ำผ่านช่องระบายเล็ก ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศให้มากขึ้น เนื่องจากการไหลของน้ำในช่วงนี้จะมีการไหลมารวมกันเป็นเส้นขนาดใหญ่ก่อนลงสู่บ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศลดน้อยลง ดังนั้นกังหันเติมอากาศจึงเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศให้มากขึ้น จากหลักการของกังหันเติมอากาศดังกล่าวเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ (ค่าดีโอ) อีกวิธีหนึ่ง



ภาพประกอบ 24 แสดงส่วนประกอบของกังหันเติมอากาศ

กังหันเติมอากาศมีขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาดังนี้

3.5.3.1 ศึกษาแบบและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกังหันชัยพัฒนา

3.5.3.2 ทำการออกแบบกังหันเติมอากาศตามหลักการออกแบบเครื่องกล

3.5.3.3 จัดหาวัสดุและอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาง่ายมาใช้ในการจัดสร้าง

กังหันเติมอากาศ

3.5.3.4 ทำการศึกษาเพื่อหาความเหมาะสมของรูปแบบกระบวยรับน้ำ และขนาดช่องระบายน้ำที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ

3.5.3.5 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการพัฒนากังหันเติมอากาศและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ จากการศึกษาประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำของกังหันเติมอากาศ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 5.75 ลิตร/นาที กังหันเติมอากาศต้องติดตั้งกระบวยรับน้ำจำนวน 10 ใบ โดยกระบวยแต่ละใบต้องเจาะช่องระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร จำนวน 6 ช่อง จะมีประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำได้มากที่สุด โดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่า ซี.ไอ)เฉลี่ย 5.8 มิลลิกรัม/ลิตร ดังรายละเอียดตามตาราง 12

ตาราง 12 แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ (ค่าดีโอ) ของกังหันเติมอากาศ ที่มีขนาดของช่องระบายน้ำแตกต่างกันที่อัตราการไหลของน้ำ 5.75 ลิตร/นาที่

พารามิเตอร์	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่าดีโอ) (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ	ค่าดีโอ ที่เพิ่มขึ้น
T ₁	4.9	5.2	0.3
T ₂	4.9	5.4	0.5
T ₃	4.9	5.8	0.9*
T ₄	4.9	5.3	0.4

*พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

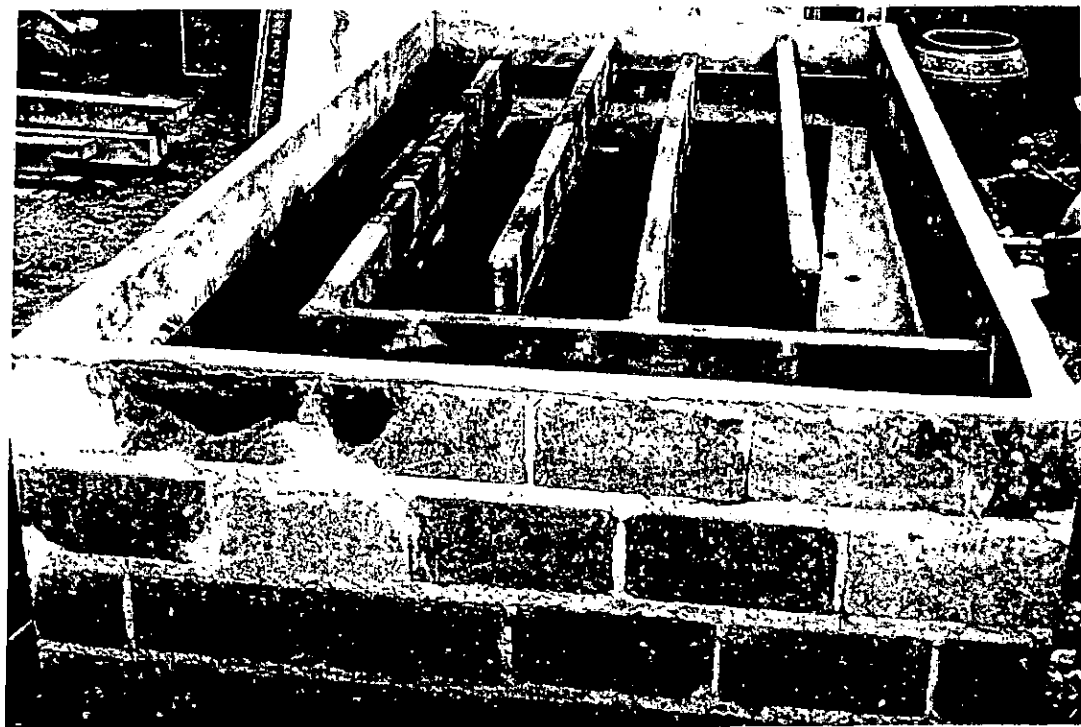
T₁: ช่องระบายน้ำของกระบวยรับน้ำขนาด 0.1 จำนวน 6 ช่อง

T₂: ช่องระบายน้ำของกระบวยรับน้ำขนาด 0.1 จำนวน 6 ช่อง

T₃: ช่องระบายน้ำของกระบวยรับน้ำขนาด 0.1 จำนวน 6 ช่อง

T₄: ช่องระบายน้ำของกระบวยรับน้ำขนาด 0.1 จำนวน 6 ช่อง

3.5.4 บ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง เป็นบ่อคอนกรีตขนาด 2.0 x 4.0 x 0.8 เมตร ภายในบ่อกันแบ่งส่วนพื้นที่เป็นรางน้ำกว้าง 0.35 เมตร ลึก 0.7 เมตร ความยาวทั้งหมด 21.20 เมตรภายในรางติดตั้งหัวเติมอากาศจำนวน 10 หัว และที่ส่วนท้ายของรางติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นจำนวน 3 เครื่องเพื่อทำการสูบน้ำบางส่วนที่ผ่านการเติมอากาศแล้ว ำให้กลับมายังจุดเริ่มต้นของรางเพื่อรับการเติมอากาศอีกครั้ง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเติมอากาศให้กับน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำมีปริมาณมากขึ้น บ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวทางการออกแบบและการพัฒนาจากผลงานวิจัยเกี่ยวกับบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง ต้นแบบ ชูซุมุ ฮาชิโมโตะ (Susumu Hashimoto. 1990 :110) รายละเอียดตามภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 ภาพ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง

ป่อเติมอากาศแบบการไหลในรางมีขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาดังนี้

3.5.4.1 ศึกษาแบบและหลักการทำงานจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ

ป่อเติมอากาศแบบการไหลในราง

3.5.4.2 ทำการออกแบบป่อเติมอากาศแบบการไหลในรางตามหลักการ

ของ ชูชุม ฮาชิโมโตะ

3.5.4.3 จัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและจัดหาได้ง่ายมาใช้สร้างป่อเติม

อากาศแบบการไหลในราง

3.5.4.4 ทำการศึกษาเพื่อหาความเหมาะสมของอัตราการจ่ายลมที่ใช้เติม

ลงไปในน้ำ และอัตราการสูบน้ำกลับของเครื่องสูบน้ำหลังคลื่น ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำ

3.5.4.5 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเหมาะสมและรูปแบบของป่อเติม

อากาศแบบการไหลในรางมาทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของป่อเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นจากการศึกษาประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจนให้กับน้ำ พบว่า ที่อัตราการจ่ายลมโดยเฉลี่ย 4.25 ลิตร/นาที่/หัวเติมอากาศ ที่ความดัน 2.4 ปอนด์/ตารางนิ้ว และอัตราการสูบน้ำกลับด้วยเครื่องสูบน้ำ

หลังคลื่นโดยเฉลี่ย 9.50 ลิตร/นาที่ มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำค่าค่อนข้างสูงโดยค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำโดยเฉลี่ย 7.7 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานมากที่สุด เนื่องจากค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของน้ำผิวดินที่ไม่ใช่ น้ำทะเลประเภทที่ 3 ได้กำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร และอีกประการหนึ่งปริมาณอากาศที่ใช้เติมลงไปมีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่องสูบลม และยังเป็น การคุ้มค่านลงทุนอีกด้วย

ตาราง 13 แสดงประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่าดีไอ) ของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางที่อัตราการจ่ายลมและอัตราการสูบน้ำกลับต่างกัน เมื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบในอัตราเฉลี่ย 3.95 ลิตร/นาที่

พารามิเตอร์	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่าดีไอ) (มิลลิกรัม/ลิตร)		
	น้ำเข้าสู่ระบบ	น้ำออกจากระบบ	ค่าดีไอ ที่เพิ่มขึ้น
T ₁	5.8	7.2	1.4
T ₂	5.8	7.7	1.9*
T ₃	5.8	7.8	2.0
T ₄	5.8	7.8	2.0

* พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน

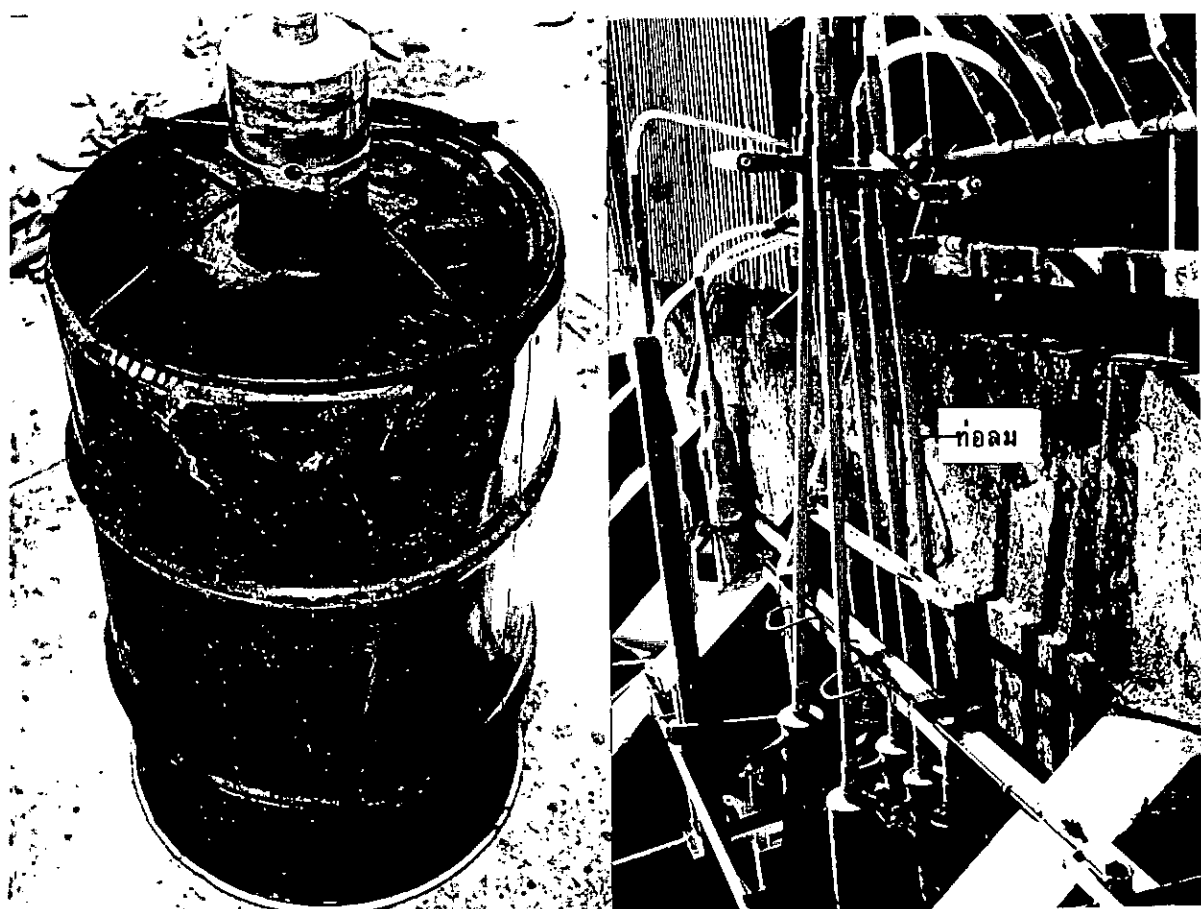
T₁: อัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 3.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลมที่ความดัน 2.40 ปอนด์/ตารางนิ้วและอัตราการสูบน้ำกลับโดยเฉลี่ย 3.50 ลิตร/นาที่

T₂: อัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 4.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลมที่ความดัน 2.40 ปอนด์/ตารางนิ้วและอัตราการสูบน้ำกลับโดยเฉลี่ย 4.50 ลิตร/นาที่

T₃: อัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 5.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลมที่ความดัน 2.40 ปอนด์/ตารางนิ้วและอัตราการสูบน้ำกลับโดยเฉลี่ย 5.50 ลิตร/นาที่

T₄: อัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 6.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลมที่ความดัน 2.40 ปอนด์/ตารางนิ้วและอัตราการสูบน้ำกลับโดยเฉลี่ย 6.50 ลิตร/นาที่

3.5.5 เครื่องสูบลมพลังคลื่น เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงาน จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำขณะเกิดคลื่นในการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบ ำให้เป็นพลังงานที่มีปริมาณอากาศและความดันพอเหมาะที่ใช้ในกระบวนการเติมอากาศให้กับน้ำ เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(ค่า ดีโอ) เพิ่มมากขึ้น รายละเอียดตามภาพประกอบ 26 ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้างและพัฒนาเครื่องสูบลมพลังคลื่นโดยอาศัยหลักการของทฤษฎี วาส์และบีม (ประทีป กววงษ์ศักดิ์ .2535) และแนวคิดของ อิซุมิ อุชิยามา (Izumi Ushiyama. 1980:89) ที่ได้นำเอาแรงดันจากคลื่นไปทำการหมุนกังหัน เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า



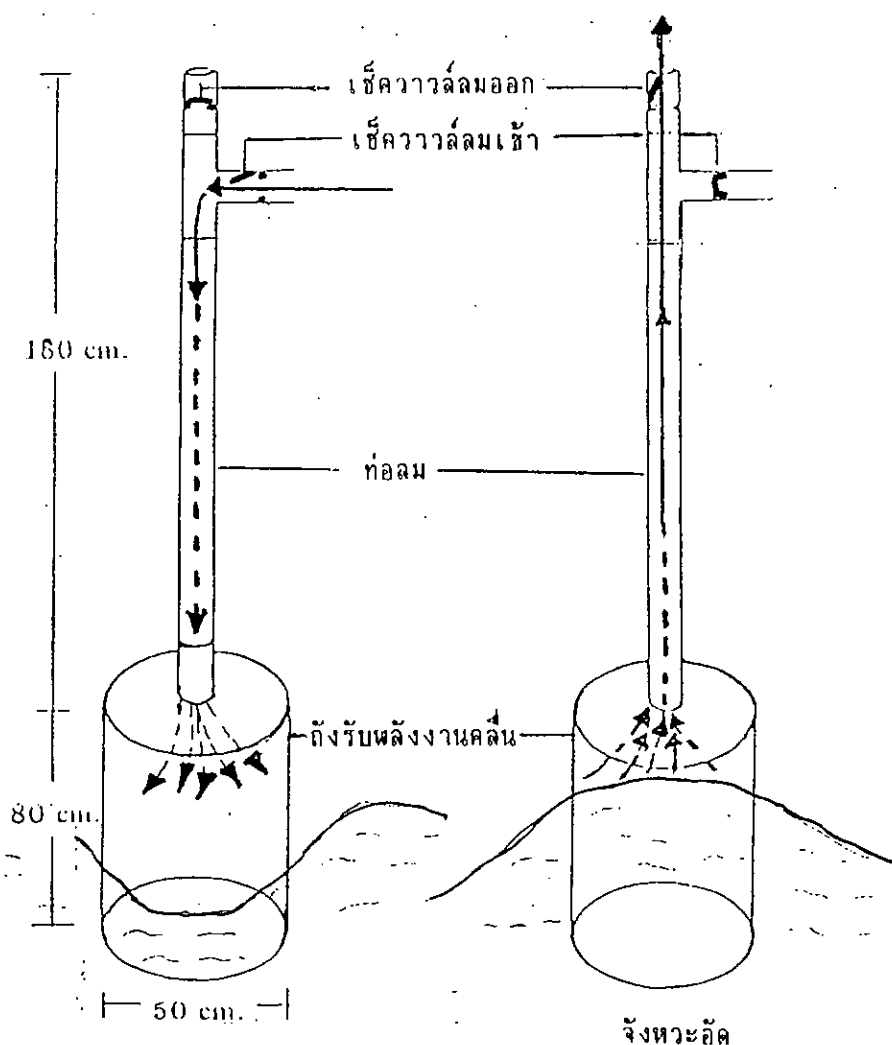
ถังรับพลังงานคลื่น

ภาพประกอบ 26 แสดงส่วนประกอบของเครื่องสูบลมพลังคลื่น

3.5.5.1 หลักการทำงานของเครื่องสูบลมพลังคลื่น อาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำขณะที่เกิดคลื่นภายในถังรับพลังงานคลื่น ที่ทำหน้าที่เป็นกระบอกสูบของเครื่องสูบลมซึ่งออกแบบไว้สำหรับรับพลังงานจากคลื่นโดยเฉพาะทำให้ความกดดันภายในถังรับพลังงานคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำ ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเข้าออกภายในถังรับพลังงานคลื่นทางเชิควาล์วลมออกและเชิควาล์วลมเข้า ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานของเครื่องสูบลมพลังคลื่นออกได้เป็น 2 จังหวะดังนี้คือ

3.5.5.1.1 จังหวะดูดเกิดจากระดับน้ำในถังรับพลังงานคลื่นเคลื่อนที่ต่ำลงทำให้ ความกดดันภายในถังรับพลังงานคลื่นต่ำลง อากาศจากภายนอกจะไหลเข้ามาทางเชิควาล์วลมเข้า และในขณะเดียวกันที่ทางด้านเชิควาล์วลมออกจะปิด ดังรายละเอียดตามภาพประกอบ

27



ภาพประกอบ 27 แสดงการทำงานของเครื่องสูบลมพลังคลื่นในจังหวะดูด และจังหวะอัด

3.5.5.1.2 จังหวะอัดเกิดจากระดับน้ำในถังรับพลังงานคลื่น มีระดับสูงขึ้นทำให้ความกดอากาศภายในถังสูงขึ้น ทำให้อากาศภายในถังรับพลังงานคลื่นเคลื่อนที่ออกมาทางเชิควาล์วลมออกเกิดเป็นพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนได้ รายละเอียดตามภาพประกอบ 27

3.5.5.2 เครื่องสูบลมพลังคลื่นมีขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาดังต่อไปนี้

3.5.5.2.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของเครื่องสูบลมชนิดต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.5.5.2.2 ศึกษาหลักการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.5.5.2.3 ศึกษาปริมาณคลื่นที่เกิดขึ้นในคลองแสนแสบตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เพื่อวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ในการนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ ตามเกณฑ์ของ อิซุมิ อุชิยามา (Izumi Ushiyama.1980 : 112) ที่ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ ผลการศึกษาพบว่าพลังงานคลื่นที่จะสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่าแก่การลงทุน ต้องเป็นพลังงานที่ได้จากคลื่นที่มีความสูงไม่น้อยกว่า 5 นิ้ว และช่วงเวลาของการเกิดคลื่นต้องไม่น้อยกว่า 7 ชั่วโมง ในเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง จากการศึกษาปริมาณคลื่นในคลองแสนแสบพบว่า ภายในเวลา 12 ชั่วโมง คลื่นที่มีความสูงมากกว่า 5 นิ้วเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 8.47 ชั่วโมง โดยมีค่าสูงสุด 9.14 ชั่วโมง ค่าต่ำสุด 7.57 ชั่วโมง ดังรายละเอียดตามตาราง 14 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ อิซุมิ อุชิยามา แล้วค่าปริมาณคลื่นในคลองแสนแสบน่าจะนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่าแก่การลงทุน

3.5.5.2.4 นำผลการศึกษาปริมาณคลื่นที่เกิดขึ้นมาทำการออกแบบเครื่องสูบลมโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและจัดหาได้ง่ายทำการสร้างเครื่องสูบลมต้นแบบ

3.5.5.2.5 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบลมต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังรับพลังงานคลื่นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลมที่ส่งผลให้เครื่องสูบลมมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.5.5.2.5 นำผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบลมที่ได้มาทำการปรับปรุงรูปแบบของเครื่องสูบลมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบลมพลังคลื่นที่ผ่านการพัฒนาแล้ว พบว่าอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังรับพลังงานคลื่น

กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อลมที่ 20:1 มีประสิทธิภาพในการจ่ายปริมาณลมเฉลี่ย 5.66 ลิตร/นาที ที่ความดันเฉลี่ย 2.4 ปอนด์/ตารางนิ้ว/เครื่องสูบลม ดังรายละเอียดตามตาราง 14

ตาราง 14 แสดงผลการศึกษาช่วงเวลาของการเกิดคลื่นในคลองแสนแสบที่มีความสูงของคลื่นขนาดต่าง ๆ ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 16.00 น.

ค่าพารามิเตอร์	ช่วงเวลาที่เกิดคลื่นในระดับความสูงขนาดต่าง ๆ (ชั่วโมง)			รวมช่วงเวลาที่เกิดคลื่นทั้งหมดในรอบ 12 ชั่วโมง
	ความสูง 5-15 นิ้ว	ความสูง มากกว่า 15-25 นิ้ว	ความสูง มากกว่า 25 นิ้ว	
T ₁	5.18	3.22	0.74	9.14
T ₂	5.04	3.14	0.52	8.70
T ₃	4.35	2.71	0.33	7.57

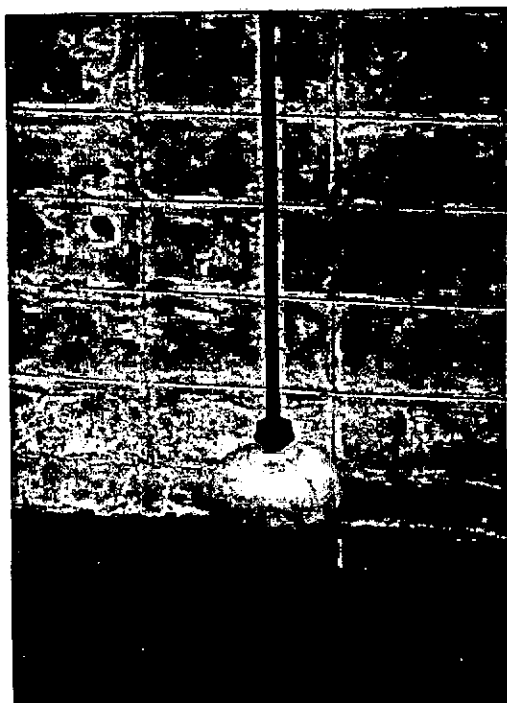
T₁: ปริมาณคลื่นที่ทำการวัดในวันราชการทำการ

T₂: ปริมาณคลื่นที่ทำการวัดในวันเสาร์

T₃: ปริมาณคลื่นที่ทำการวัดในวันอาทิตย์

3.5.6 เครื่องสูบน้ำพลังคลื่น เป็นอุปกรณ์ที่นำพลังงาน จากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของ น้ำขณะเกิดคลื่นจากการเดินเรือโดยสร้างในคลองแสนแสบมาเป็นพลังงานต้นกำลังให้กับเครื่องสูบน้ำที่ ออกแบบขึ้นโดยเฉพาะ สามารถสูบน้ำให้น้ำไหลจากส่วนสุดท้ายของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง ไหลย้อนกลับไปยังจุดเริ่มต้นของบ่อเติมอากาศฯ เพื่อให้ น้ำผ่านกระบวนการเติมอากาศจากหัวเติมอากาศ

อีกครั้งเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้มี ค่าดีโอ มากขึ้น รายละเอียดตามภาพประกอบ 28 ใน การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสร้าง และพัฒนาเครื่องสูบน้ำลมพลังคลื่นโดยอาศัยหลักการของทฤษฎีวาស់ว และปัม (ประทีป ภาวงษ์ศักดิ์ .2535)



A



B

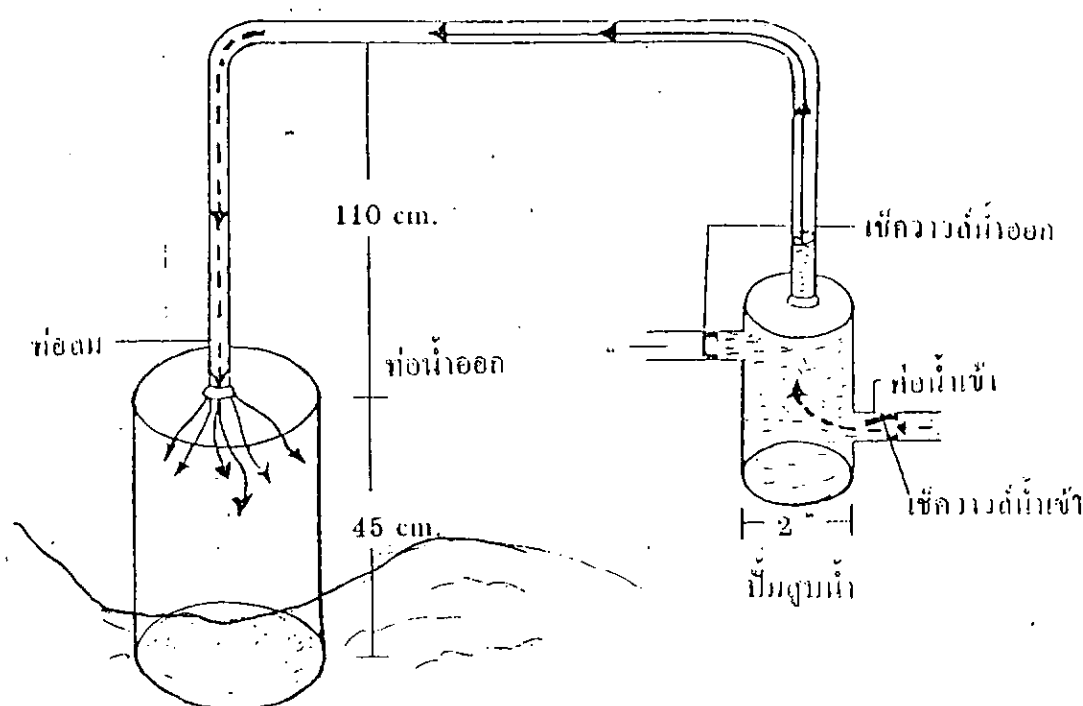
ภาพประกอบ 28 ภาพเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น

A : ภาพถังรับพลังงานคลื่น

B : ภาพเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่น

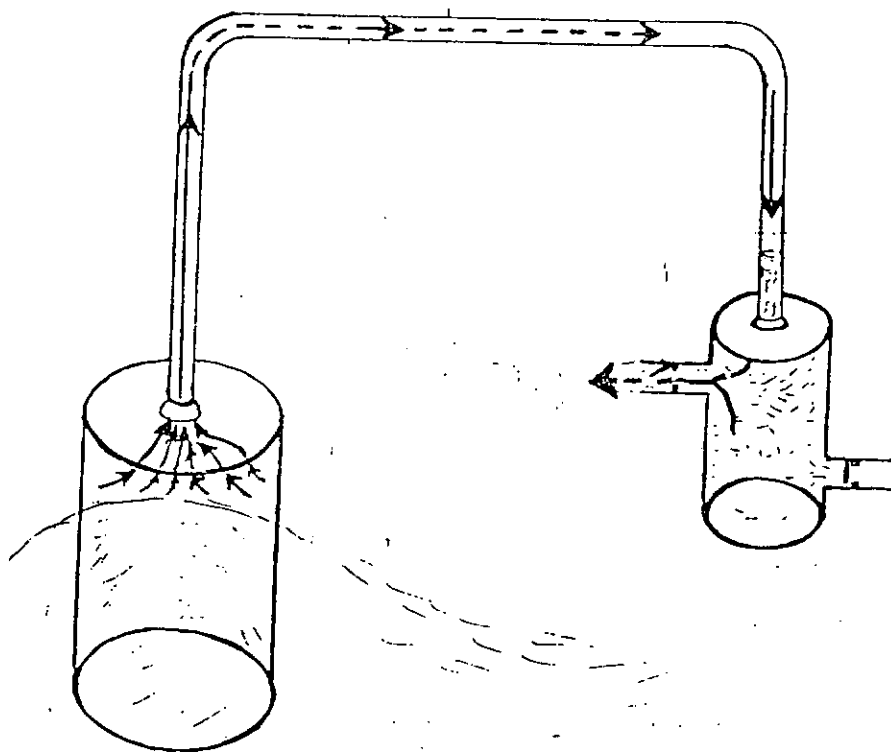
3.5.6.1 หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น อาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำขณะที่เกิดคลื่นภายในถังรับพลังงานคลื่น ที่ทำหน้าที่เป็นกระบอกสูบของเครื่องสูบลมซึ่งออกแบบไว้สำหรับรับพลังงานจากคลื่นโดยเฉพาะ ทำให้ความกดดันภายในถังรับพลังงานคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามจังหวะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของน้ำ เกิดแรงดูดและแรงอัด ที่นำมาใช้เป็นพลังงานต้นกำลังของสูบน้ำที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะ ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 จังหวะดังนี้

3.5.6.1.1 จังหวะดูด เริ่มต้นจากระดับน้ำภายในถังรับพลังงานคลื่นมีระดับต่ำลงทำให้ความดันภายในถังลดลง และเกิดแรงดูดส่งผ่านตามท่อลมทำให้เชือกสำน้ำเข้าภายในเครื่องสูบน้ำเปิดออก น้ำจากภายนอกจะไหลเข้ามาภายในเครื่องสูบน้ำจนเต็ม ดังรายละเอียดตามภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 แสดงการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในจังหวะดูด

3.5.6.1.2 จังหวะอัด เริ่มต้นจากระดับน้ำภายในถังรับพลังงานคลื่นมีระดับสูงขึ้นความดันภายในถังจะเพิ่มขึ้น และเกิดแรงอัดส่งผ่านไปตามท่อลมดันน้ำให้เข้าภายในเครื่องสูบน้ำไหลออกมาทางเชือกสำน้ำออกดังรายละเอียดตามภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 แสดงการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในจังหวัดอุดร

- พัฒนาดังนี้
- 3.5.6.2 เครื่องสูบน้ำพลังคลื่นมีขั้นตอนการสร้างและการ
- 3.5.6.2.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของเครื่องสูบน้ำชนิดต่าง ๆ
- จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.5.6.2.2 ศึกษาหลักการนำพลังงานจากคลื่นมาใช้ประโยชน์
- ในรูปแบบต่าง ๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.5.6.2.3 นำผลการศึกษาริมาณคลื่นที่เกิดขึ้นมาทำการ
- ออกแบบเครื่องสูบน้ำโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและจัดหาได้ง่ายมาทำการสร้างเครื่องสูบน้ำต้นแบบ
- 3.5.6.2.4 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ
- ต้นแบบเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังรับพลังงานคลื่นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
- ของท่อลมที่ส่งผลให้เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.5.6.2.5 นำผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

ที่ได้มาทำการปรับปรุงรูปแบบของเครื่องสูบน้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำหลังคั่นที่ผ่านการพัฒนาแล้วพบว่า อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังรับพลังงานคั่นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทอลมที่ 16:1 มีประสิทธิภาพในการสูบน้ำกลับเฉลี่ย 9.5 ลิตร/นาที่ ต่ออัตราการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ 5.75 ลิตร/นาที่ โดยในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องสูบน้ำจำนวน 3 เครื่อง อัตราการสูบโดยเฉลี่ย 3.16 ลิตร/นาที่/เครื่อง ซึ่งเป็นอัตราที่ผู้วิจัย พบว่ามีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำได้สูงสุดโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการดังกล่าวมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำหรือค่าดีโอเฉลี่ย 7.7 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินที่ไม่ใช่ใช้ทะเลประเภทที่ 3 ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) ซึ่งกำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยเฉลี่ย 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร

3.5.7 เครื่องสูบน้ำเสีย เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบสูบน้ำยี่ห้อ ฮิตาชิขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ต้นกำลังขนาด 1/2 กำลังม้า อัตราการสูบ 18 ลิตร/นาที่ ที่ระดับความสูง 7.38 เมตรทางานโดยระบบอัตโนมัติควบคุมระดับน้ำด้วยระบบลูกลอย สำหรับเครื่องสูบน้ำเสียชุดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการจัดซื้อจากบริษัทผู้ผลิตโดยมิได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาด้วยวิธีการใด ๆ

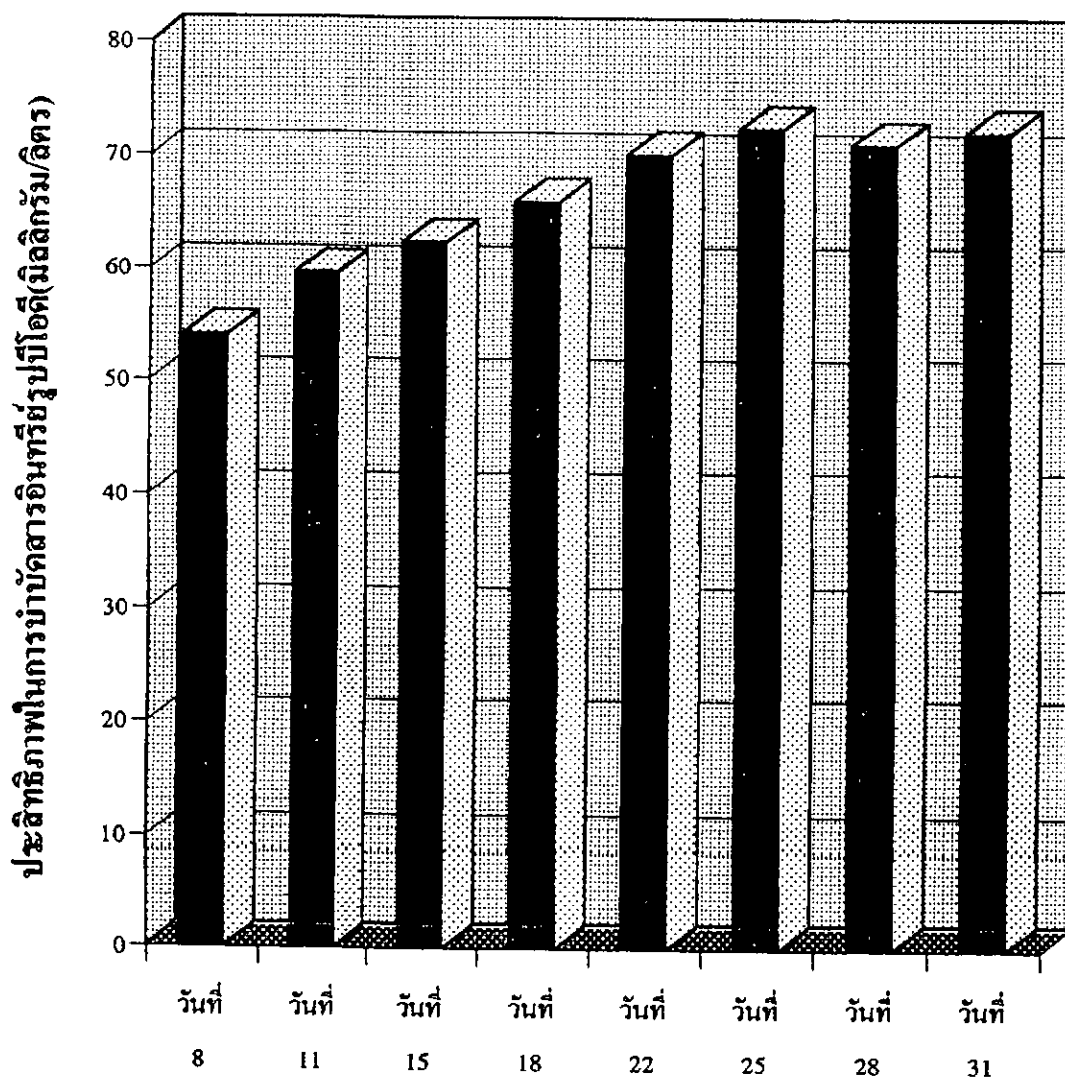
3.6 นาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบทั้งหมดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ที่ปรับปรุงประสิทธิภาพเรียบร้อยแล้วมาประกอบเป็นระบบบำบัดน้ำเสียต้นแบบ

3.7 ทดลองเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อตรวจความล้มพันธ์ในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของอุปกรณ์ที่ยังทำงานไม่สอดคล้องล้มพันธ์กัน

3.8 ทำการเตรียมความพร้อมระบบบำบัดน้ำเสียโดยการเดินเครื่องระบบเพื่อทำการเตรียมความพร้อมของระบบ (start up)ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) โดยทำการตรวจสอบประสิทธิภาพในเชิงการบำบัดสัปดาห์ละ 2 วันคือในวันจันทร์ และวันพฤหัสบดี จนประสิทธิภาพในเชิงการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าค่อนข้างคงที่ จากการตรวจสอบประสิทธิภาพเชิงการบำบัดพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองทำงานจนอยู่ในสภาวะคงที่ใช้เวลาในการเตรียมความพร้อมทั้งหมด 25 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีร้อยละ 72 ดังรายละเอียดตามตาราง 15 และภาพประกอบ 31

ตาราง 15 แสดงผลการตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี (BOD) ของระบบบำบัดแบบใช้พลังงานในตัวเอง เพื่อบำบัดตัวเองในช่วงทำการเตรียมความพร้อมของระบบบำบัด (start up) ให้อยู่ในสภาวะที่คงที่ (steady state)

จำนวนวันที่ใช้ในการศึกษา	ค่าบีโอดีเฉลี่ย (มก./ล)		ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูป บีโอดี (%)
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบ	
8	104.5	52.2	54.04
11	107.6	43.4	59.66
15	102.7	38.6	62.41
18	112.4	38.2	66.01
22	108.6	32.4	70.16
25	103.2	28.4	72.48
28	109.6	31.7	71.07
31	105.2	29.3	72.14



จำนวนวันที่ใช้ในการเตรียมความพร้อมของระบบบำบัดฯ.

ภาพประกอบ 31 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์รูปปฏิกิริยา (BOD) ในช่วงทำการเตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

3.9 ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียที่ยังบกพร่องให้มีประสิทธิภาพในการทำงานและการบำบัดน้ำเสียให้ดียิ่งขึ้น

3.10 ดำเนินการเดินเครื่องระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองทั้งระบบ เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

4. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์รวมทั้งหมด 47 รายการ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 4.1 ถังเหล็กขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 8 ใบ
- 4.2 เส้าปูนขนาด 6 x 6 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 4 ต้น
- 4.3 ไม้เนื้อแข็งขนาด 4 x 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 9 ท่อน
- 4.4 ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 2 ท่อน
- 4.5 เหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 20 ท่อน
- 4.6 เหล็กฉากขนาด 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 4 ท่อน
- 4.7 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 12 ท่อน
- 4.8 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 2 ท่อน
- 4.9 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 3 ท่อน
- 4.10 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 6 ท่อน
- 4.11 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 8 ท่อน
- 4.12 ท่อ พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ยาว 4 เมตร จำนวน 10 ท่อน
- 4.13 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 32 ตัว
- 4.14 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 32 ตัว
- 4.15 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 24 ตัว
- 4.16 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 28 ตัว
- 4.17 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 30 ตัว
- 4.18 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว จำนวน 21 ตัว
- 4.19 ช้องอฉาก พีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว จำนวน 67 ตัว
- 4.20 ข้อต่อสามทาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว จำนวน 18 ตัว
- 4.21 ข้อต่อสามทาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว จำนวน 18 ตัว

- 4.22 กาวเชื่อมท่อ พีวีซี ขนาดความจุ 0.12 ลิตร จำนวน 10 กระป๋อง
- 4.23 เทปพันเกลียวจำนวน 8 ม้วน
- 4.24 เชื้อควาส์ทางเดียวขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 22 ตัว
- 4.25 ซีเมนต์บล็อกชนิดก่อจำนวน 190 ก้อน
- 4.26 อิฐแดงสำหรับก่อจำนวน 80 ก้อน
- 4.27 ทราวยหยาบ จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร
- 4.28 ทราวยละเอียด จำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร
- 4.29 หินเทพื้นจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร
- 4.30 ปูนซีเมนต์จำนวน 8 ถุง
- 4.31 เครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ต้นกำลังขนาดขนาด 1/2 แรงม้า อัตราการสูบ 18 ลิตร/นาที ที่ระดับความสูง 7.38 เมตร จำนวน 1 เครื่อง
- 4.32 กิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ขนาด 5 แอมป์ จำนวน 1 ตัว
- 4.33 ลูกกลอยสำหรับตัดต่อวงจรเครื่องสูบน้ำจำนวน 1 ชุด
- 4.34 สายไฟฟ้าขนาด 1.2 มิลลิเมตร จำนวน 20 เมตร
- 4.35 สะพานไฟขนาด 5 แอมป์ จำนวน 1 ชุด
- 4.36 ตลับลูกปืนล้อหน้าจักรยาน จำนวน 2 ชุด
- 4.37 วงล้อจักรยานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้ว จำนวน 2 วง
- 4.38 สายยางชนิดหนาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว จำนวน 24 เมตร
- 4.39 สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร จำนวน 20 เมตร
- 4.40 สกรูเกลียวสลอยขนาด 1 นิ้ว จำนวน 60 ตัว
- 4.41 ตะปูขนาด 4 นิ้ว จำนวน 2 กิโลกรัม
- 4.42 ตะปูขนาด 3 นิ้ว จำนวน 1 กิโลกรัม
- 4.43 น๊อตขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 7 นิ้ว จำนวน 10 ตัว

4.44 หัวเติมอากาศแบบพองอากาศขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 10 หัว

4.45 หัวปรับปริมาณลมจำนวน 10 หัว

4.46 สีกากันสนิมขนาด 3.8 ลิตร จำนวน 1 กระป๋อง

4.47 แผ่นพลาสติกใสขนาด 0.8 มิลลิเมตร จำนวน 25 ตารางเมตร

5. งบประมาณที่ใช้ในการสร้าง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง
จำแนกประเภทตามหมวดเงินได้ดังนี้

5.1 ค่าใช้สอย

ค่ายานพาหนะในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดสร้างระบบบำบัดจำนวน 12
เที่ยว เป็นเงิน 5,800 บาท

5.2 ค่าตอบแทน

ค่าจ้างช่างก่อสร้างเพื่อดำเนินการก่อสร้างบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง ที่ตั้ง
ถังหมักแบบใช้ตัวกลาง รางเติมอากาศ กังหันเติมอากาศ เครื่องสูบน้ำพลังคลื่น เครื่องสูบลมพลังคลื่น
รูปแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งทำการติดตั้งในคลองแสนแสบ เป็นเงิน 42,000 บาท

5.3 ค่าวัสดุ

5.3.1 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง จำนวน
10,200 บาท

5.3.2 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างรางเติมอากาศ จำนวน 4,200 บาท

5.3.3 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างกังหันเติมอากาศ จำนวน 780 บาท

5.3.4 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างที่ตั้งถังหมักแบบใช้ตัวกลาง จำนวน 4,480 บาท

5.3.5 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างถังหมักแบบใช้ตัวกลาง จำนวน 3,260 บาท

5.3.6 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างเครื่องสูบลมพลังงานคลื่น จำนวน 6,800 บาท

5.3.7 ค่าวัสดุที่ใช้ในการจัดสร้างเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น จำนวน 2,230 บาท

รวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสิ้น 79,750 บาท

บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น
2. ศึกษาหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์พุทธศักราช 2535 ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ว 101 เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต
3. วิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหากิจกรรมเรื่องน้ำเพื่อชีวิตรวมทั้งทำการวิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย
4. กำหนดจุดประสงค์และเนื้อหาของกิจกรรม เรื่อง น้ำเพื่อชีวิตให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย
5. ดำเนินการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียตามแผนการที่กำหนดไว้
6. นำบทปฏิบัติการที่ดำเนินการพัฒนาเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบความถูกต้อง
7. นำผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญมาทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ
8. นำบทปฏิบัติการที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาทำการตรวจสอบคุณภาพโดยการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป เป็นเกณฑ์กำหนดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ (1) รองศาสตราจารย์

ดร. ทวี หอมขง รองอธิการบดีและคณบดีคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสยาม (2) รองศาสตราจารย์
 ดร. วินัย วีระวัฒนานนท์ กรรมการบริหารหลักสูตรดุขุฎิบัณฑิตสาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์
 และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (3) รองศาสตราจารย์ วราพร ศรีสุพรรณ กรรมการบริหารหลักสูตร
 บัณฑิตศึกษาด้านสาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้เชี่ยวชาญ
 ด้านการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1) นายไพรัช เรืองกลิ่น
 อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนไพร่น้อย อำเภอไพร่น้อย จังหวัด นนทบุรี (2) นายทวีศักดิ์ อริยวัฒน์วงศ์
 อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนปรกแก้ววิทยา อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และผู้เชี่ยวชาญด้านการ
 สอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1) นางสาวเพ็ญแข วิสิฐพันธุ์
 อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนไพร่น้อย อำเภอไพร่น้อย จังหวัดนนทบุรี (2) นางสาวปราณี สมสกุล
 อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม อำเภوتاมะกา จังหวัดกาญจนบุรี

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอตามลำดับของความมุ่งหมายของการวิจัย กล่าวคือ นำเสนอผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง บำบัดตัวเองเป็นลำดับแรก ส่วนผลการศึกษาความสามารถในการนำพลังงานคลื่นจากแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียเป็นลำดับที่สอง และผลการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียไว้เป็นลำดับสุดท้ายทั้งนี้โดยใช้ตาราง แผนภูมิ และคำอธิบายประกอบท้ายตารางและแผนภูมิ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามนัยข้างต้นมีดังต่อไปนี้

N แทน จำนวนตัวอย่าง

X แทน ค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์

SD แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพารามิเตอร์

Max. แทน ค่าสูงสุดของค่าพารามิเตอร์

Min. แทน ค่าต่ำสุดของค่าพารามิเตอร์

ระบบบำบัดฯ. แทน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

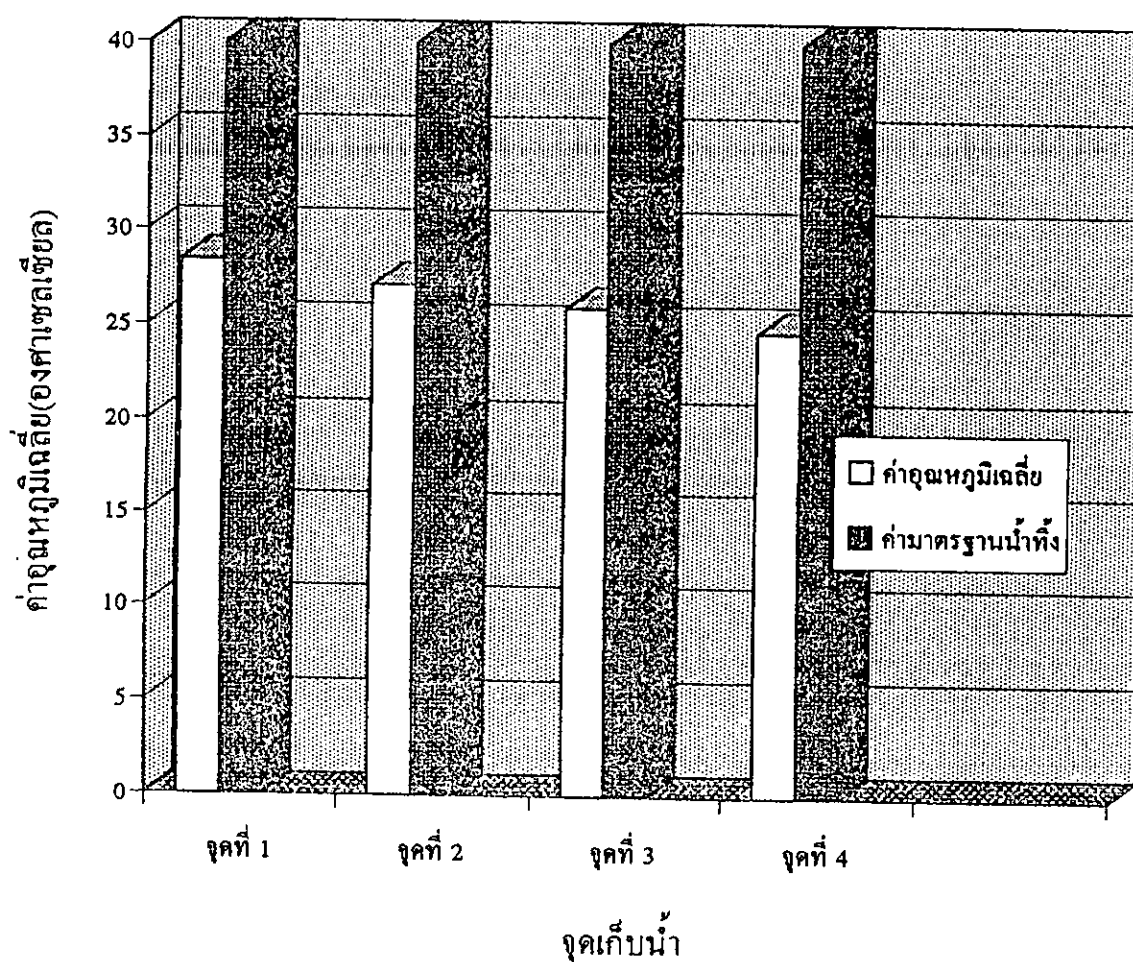
ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง
แสดงได้ดังตาราง 16 - 24 และภาพประกอบ 32 - 38

ตาราง 16 แสดงค่าอุณหภูมิจลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้
พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2(2)	จุดที่ 3(3)	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (5) (°C)
X (C)	28.38	27.12	25.94	24.75	ไม่เกิน 40
Max. (C)	29.31	27.62	26.65	25.45	
Min. (C)	27.23	26.23	24.80	23.30	
SD	0.47	0.40	0.53	0.73	
ประสิทธิภาพในการลดค่า					
อุณหภูมิจลี่ย(°C)		4.43	4.35	4.58	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากป่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียบรื้อแล้ว
- (3) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียบรื้อแล้ว
- (4) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับ 3 (พ.ศ.2539)



ภาพประกอบ 32 แสดงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)

จากตาราง 16 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ.ในจุดที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 28.38 องศาเซลเซียส สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 27.12, 25.94 และ 24.75 องศาเซลเซียสตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่า เท่ากับ 4.43, 4.35 และ 4.58 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

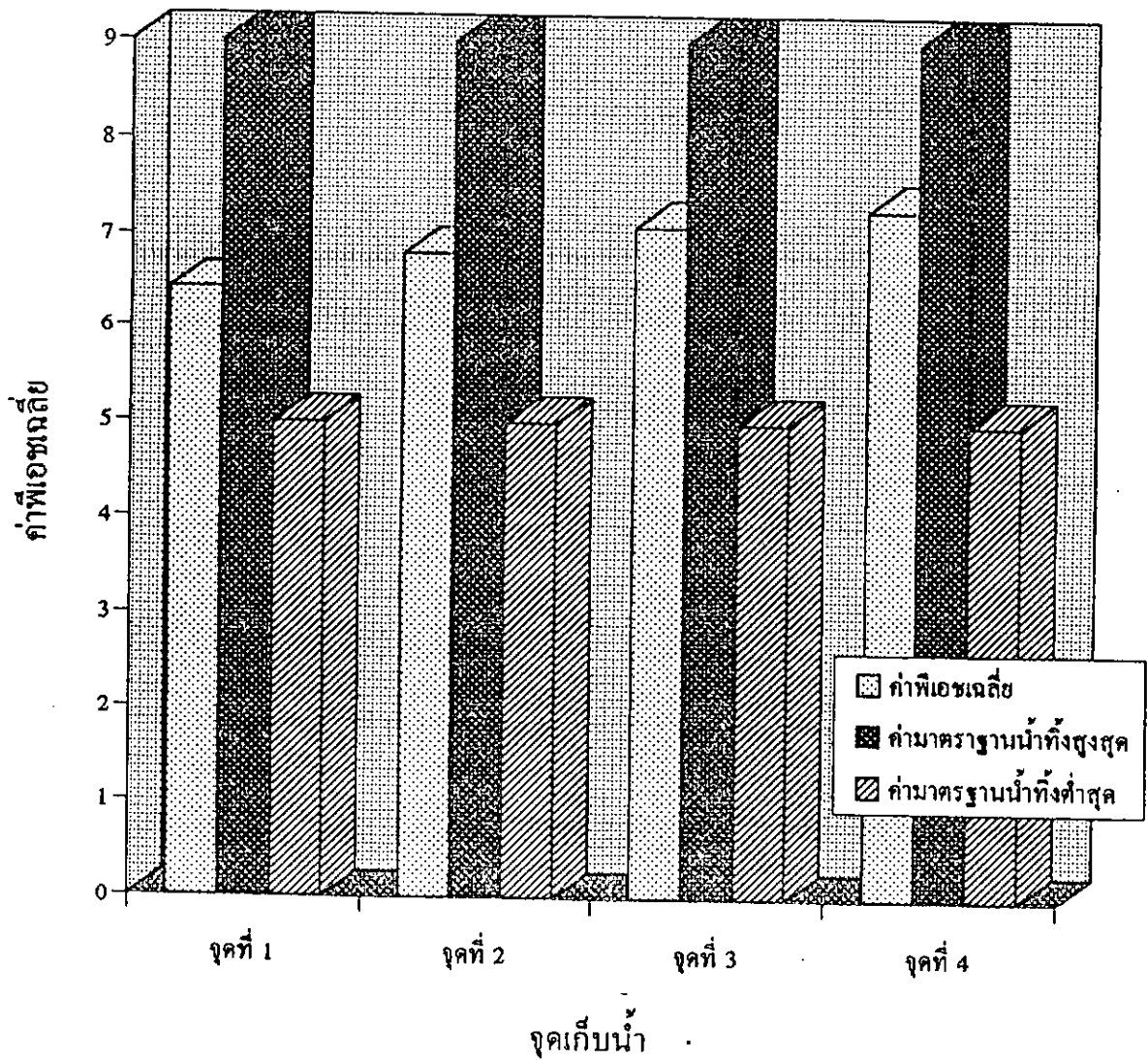
จากภาพประกอบ 32 แสดงว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 27.12, 25.94 และ 24.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 17 แสดงค่าพีเอช (pH) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2(2)	จุดที่ 3(3)	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (5)
X	6.42	6.81	7.10	7.28	5 - 9
Max.	6.89	7.24	7.32	7.54	
Min.	6.15	6.41	6.60	7.18	
SD	0.19	0.21	0.15	0.10	
ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า pH เฉลี่ย(%)		6.07	4.25	2.53	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย
วิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียวเรียบร้อยแล้ว
- (3) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียวเรียบร้อยแล้ว
- (4) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่าน
กระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งระดับชุมชน ประเภท ก. โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501
คนขึ้นไป พ.ศ. 2528



ภาพประกอบ 33 แสดงค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบ กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ. 2528

จากตาราง 17 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ ในจุดที่ 1 มีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 6.42 สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 6.81, 7.10 และ 7.28 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 6.07, 4.25 และ 2.53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

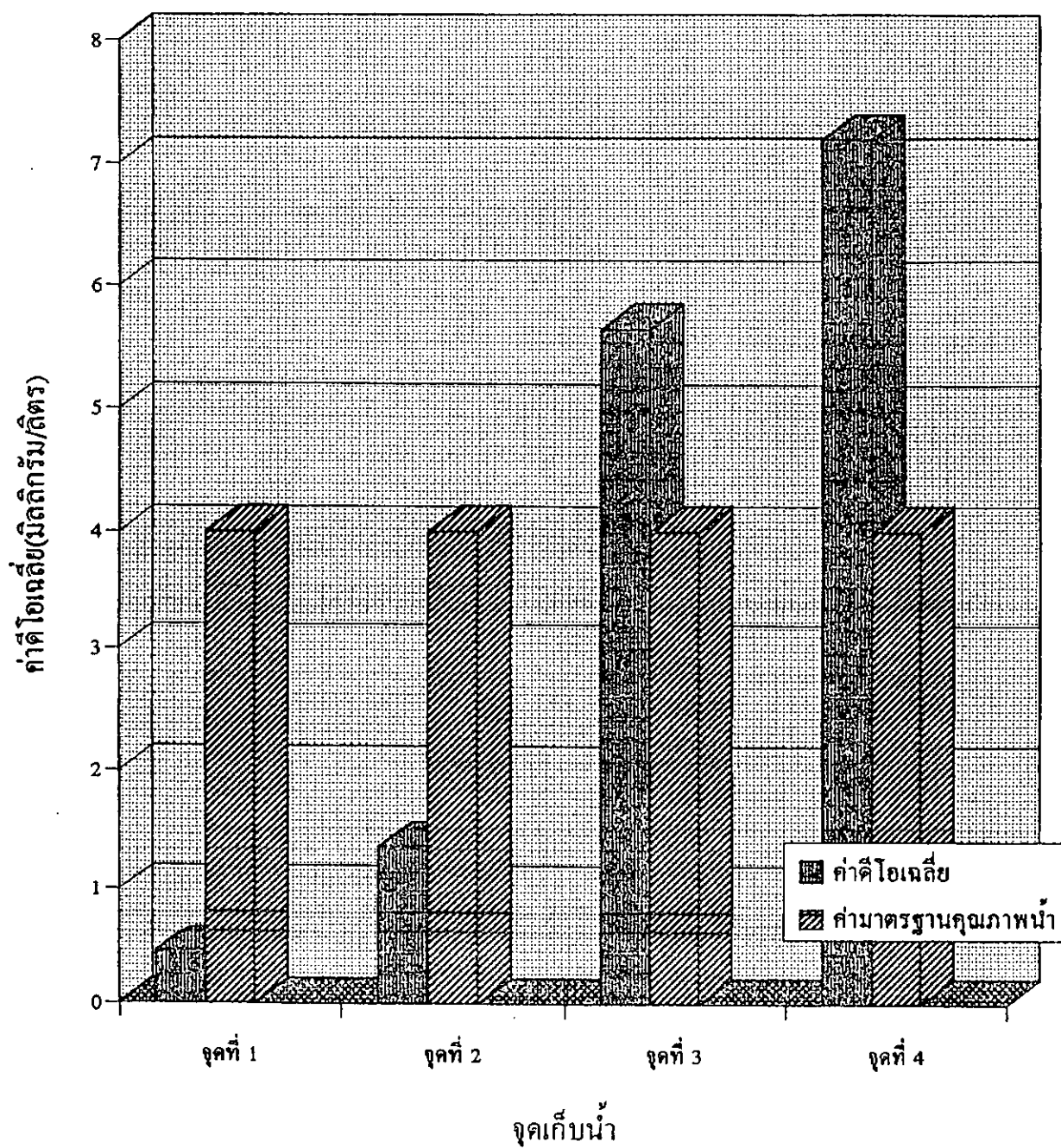
จากภาพประกอบ 33 แสดงว่าค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 6.81, 7.10 และ 7.28 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่างค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 18 แสดงค่าดีไอ (DO) เจลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2(2)	จุดที่ 3(3)	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน (5) คุณภาพน้ำ (มก./ล)
X (มก./ล)	0.44	1.37	5.65	7.19	ไม่ต่ำกว่า 4.0
Max.(มก./ล)	0.82	1.65	5.98	7.44	
Min.(มก./ล)	0.22	1.10	5.27	6.94	
SD	0.13	0.17	0.22	0.16	
ประสิทธิภาพในการเพิ่มค่า ดีไอเจลี่ย (มก./ล)		0.93	4.28	1.54	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทั้งจากบ่อรวมน้ำทั้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียบร้อยแล้ว
- (3) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียบร้อยแล้ว
- (4) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีใช้น้ำทะเลประเภท 3 พ.ศ.2529



ภาพประกอบ 34 แสดงค่าดีไอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีค่า
น้ำทะเล ประเภท 3 พ.ศ.2529

จากตาราง 18 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ ในจุดที่ 1 มีค่าดีไอเจลี่ยเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1.37, 5.65 และ 7.19 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีไอเจลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.93, 4.28 และ 5.65 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

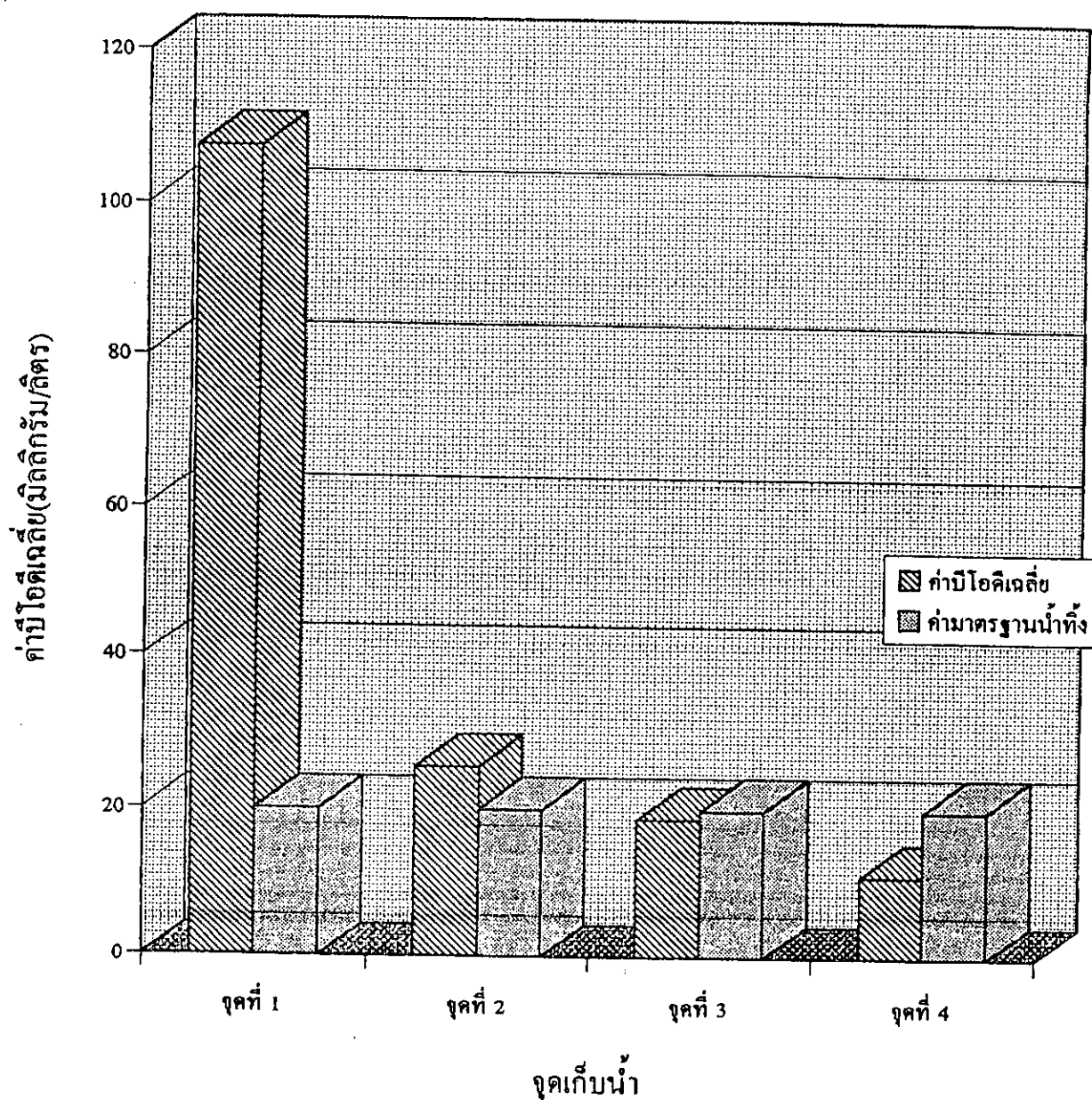
จากภาพประกอบ 34 แสดงว่าค่าดีไอเจลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 5.65 และ 7.19 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 19 แสดงค่าบีโอดี (BOD) เจลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2(2)	จุดที่ 3(3)	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน (5) น้ำทิ้ง (มก./ล)
X (มก./ล)	107.40	25.62	18.82	11.21	ไม่เกิน 20
Max. (มก./ล)	135.41	33.25	25.41	16.34	
Min. (มก./ล)	95.42	20.32	13.33	8.42	
SD	10.14	3.15	3.22	2.07	
ประสิทธิภาพในการลดค่า บีโอดีเจลี่ย (%)		76.14	26.54	40.43	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย
วิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียบร่อยแล้ว
- (3) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียบร่อยแล้ว
- (4) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่าน
กระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งระดับชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 ขึ้นไป
พ.ศ. 2528



ภาพประกอบ 35 แสดงค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งระดับชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ. 2528

จากตาราง 19 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ ในจุดที่ 1 มีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 107.40 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 25.62, 18.82 และ 11.21 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 76.14, 26.54 และ 40.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

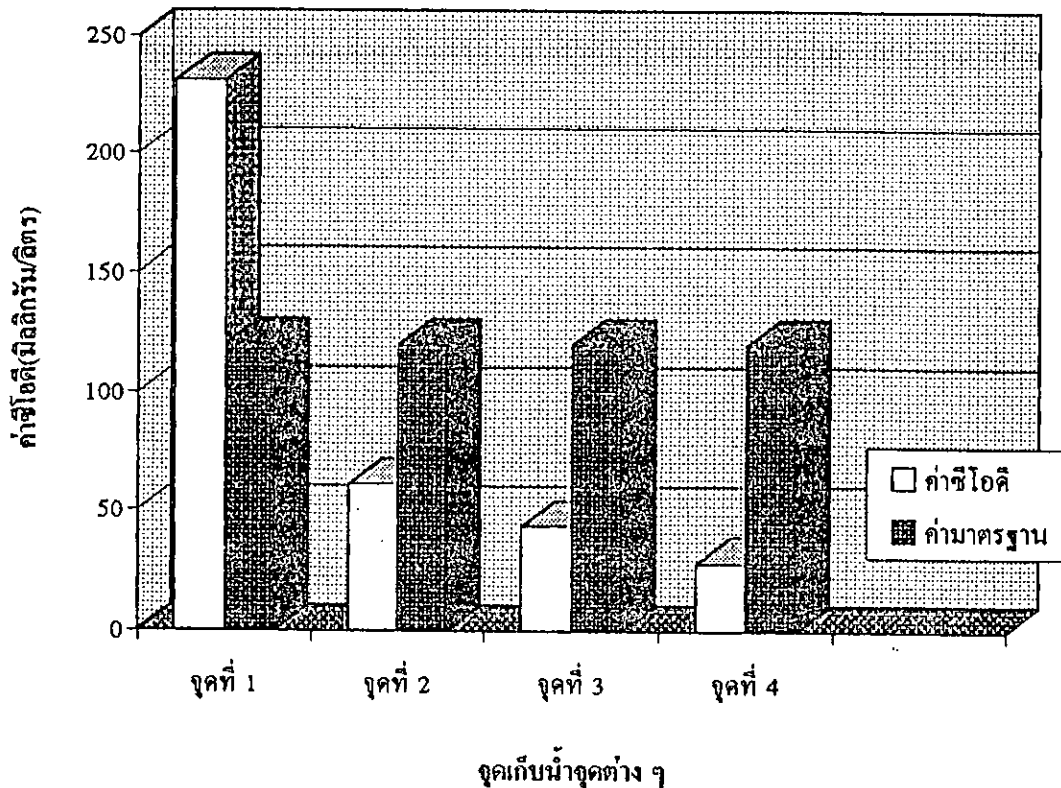
จากภาพประกอบ 35 แสดงว่าค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 18.82 และ 11.21 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 20 แสดงค่าซีโอดี (COD) เจลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 2(2)	จุดที่ 3(3)	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน(5) น้ำทิ้ง (มก./ล)
X (มก./ล)	230.78	61.07	43.53	28.52	ไม่เกิน 120
Max.(มก./ล)	278.50	74.52	55.45	39.71	
Min.(มก./ล)	198.25	45.22	31.64	19.63	
SD	19.24	7.67	6.47	5.70	
ประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดีเฉลี่ย (%)		73.53	28.72	34.48	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (2) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียบร่อยแล้ว
- (3) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียบร่อยแล้ว
- (4) หมายถึง จุดที่เก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539)



ภาพประกอบ 36 แสดงค่าซีโอดีจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)

จากตาราง 20 และภาพประกอบ 36 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ ในจุดที่ 1 มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 230.78 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 61.07, 43.53 และ 28.52 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 73.53, 28.72 และ 34.48 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากภาพประกอบ 36 แสดงว่า ค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 2 จุดที่ 3 และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 61.07, 43.53 และ 28.52 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 21 แสดงค่าปริมาณสารปรอทเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน(5) น้ำทิ้ง(มก./ล)
X (มก./ล)	0.0	0.0	ไม่เกิน 0.005
Max.(มก./ล)	0.0	0.0	
Min.(มก./ล)	0.0	0.0	
SD	0.0	0.0	
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ สารปรอทเฉลี่ย (%)		0.0	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย
วิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (4) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่าน
กระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)

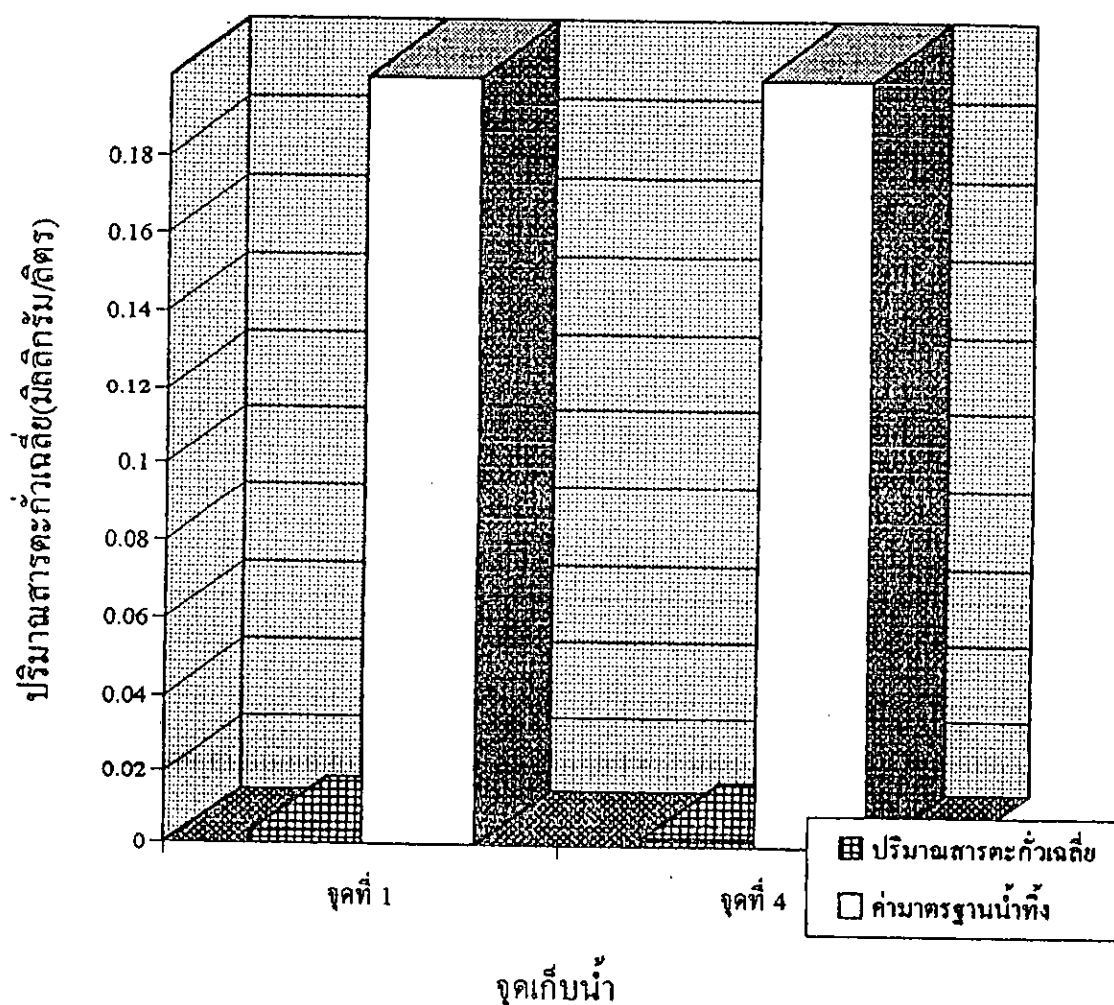
จากตาราง 21 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. ไม่มีสารปรอทเจือปนอยู่ โดยจากผลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำพบว่า ในจุดที่ 1 มีค่าปริมาณสารปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 0.0 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับในจุดที่ 2, จุดที่ 3 และ จุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.0, 0.0 และ 0.0 ตามลำดับ

ตาราง 22 แสดงค่าปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน(5) น้ำทิ้ง(มก./ล)
X (มก./ล)	0.0035	0.0025	ไม่เกิน 0.2
Max.(มก./ล)	0.010	0.009	
Min.(มก./ล)	0.0	0.0	
SD	0.0027	0.0023	
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ สารตะกั่วเฉลี่ย (%)		28.57	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (4) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)



ภาพประกอบ 37 แสดงค่าปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)

จากตาราง 22 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. ในจุดที่ 1 มีปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 0.0035 มิลลิกรัม/ลิตร และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.0025 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 28.57 เปอร์เซ็นต์

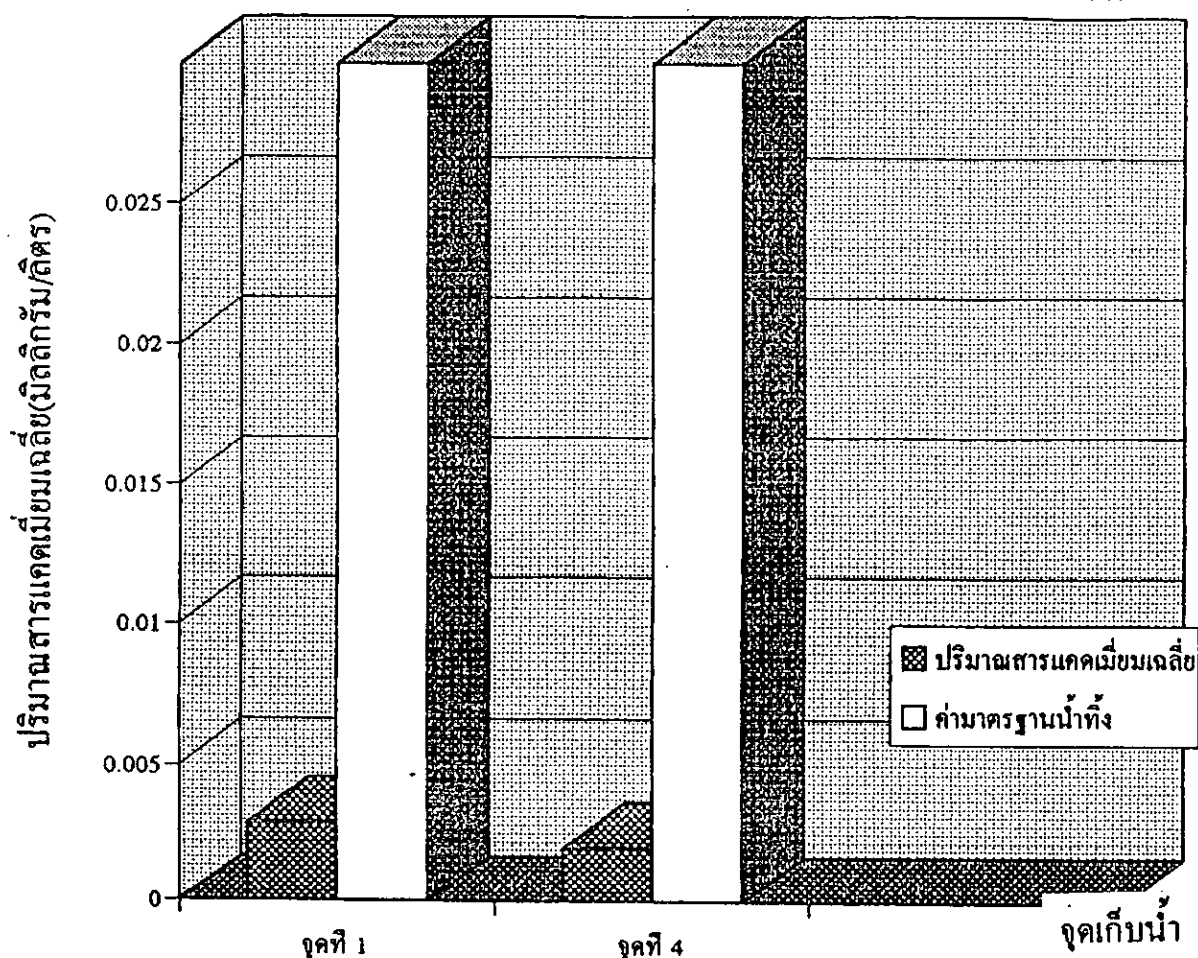
จากภาพประกอบ 37 แสดงว่าปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ยของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดฯ. ในจุดที่ 1 และน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.0035 และ 0.0025 มิลลิกรัม/ลิตรตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 23 แสดงค่าปริมาณสารแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

จำนวนตัวอย่าง (N = 24)	จุดที่ 1(1) น้ำเข้าระบบ	จุดที่ 4(4) น้ำออกจากระบบ	ค่ามาตรฐาน(5) น้ำทิ้ง (มก./ล)
X (มก./ล)	0.0029	0.0020	ไม่เกิน 0.03
Max. (มก./ล)	0.008	0.007	
Min. (มก./ล)	0.0	0.0	
SD	0.0018	0.0019	
ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ สารแคดเมียมเฉลี่ย (%)		31.03	

หมายเหตุ

- (1) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำทิ้งจากบ่อรวมน้ำทิ้งที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วย
วิธีการใด ๆ ก่อนทำการสูบเข้าสู่ระบบบำบัด
- (4) หมายถึง จุดที่ทำการเก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้งของระบบบำบัด ซึ่งน้ำเหล่านี้จะผ่าน
กระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว
- (5) หมายถึง ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน
อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)



ภาพประกอบ 38 แสดงค่าปริมาณสารแคดเมียมเฉลี่ยจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ ในระบบบำบัดน้ำ.

เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน

อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
ฉบับ 3 (พ.ศ. 2539)

จากตาราง 23 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ. ในจุดที่ 1 มีปริมาณสารแคดเมียมเท่ากับ 0.0029 มิลลิกรัม/ลิตร และจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.0020 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารแคดเมียมเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 31.03 เปอร์เซ็นต์

จากภาพประกอบ 38 แสดงว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำ. ในจุดที่ 1 และน้ำที่ผ่านการบำบัดในจุดที่ 4 มีปริมาณสารแคดเมียมเท่ากับ 0.0029 และ 0.0020 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 24 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง
บำบัดตัวเองโดยภาพรวม

คุณภาพน้ำใน จุดต่าง ๆ ของ ระบบบำบัด	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	พีเอช	ดีโอ (มก./ล)	บีโอดี (มก./ล)	ซีโอดี (มก./ล)	บรอก (มก./ล)	ตะกั่ว (มก./ล)	แคดเมียม (มก./ล)
จุดที่ 1 น้ำเข้า สู่ระบบ (influent)	28.38	6.42	0.44	107.40	230.78	0.0	0.0035	0.0029
จุดที่ 4 น้ำออก จากระบบ (effluent)	24.75	7.28	7.19	11.21	28.52	0.0	0.0025	0.0020
ค่ามาตรฐาน น้ำทิ้ง	ไม่เกิน 40	5-9	ไม่น้อย กว่า 4.0	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 0.005	ไม่เกิน 0.2	ไม่เกิน 0.03
ประสิทธิภาพ ในการบำบัด	12.79 %	13.39 %	6.75 (มก./ล)	89.56 %	87.64 %	-	28.57	31.03
ผลการเปรียบเทียบ คุณภาพ ของน้ำทิ้งหลัง การบำบัดกับค่า มาตรฐาน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-	ผ่าน	ผ่าน

จากตาราง 24 แสดงว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยภาพรวมของระบบบำบัดฯ. ดังค่า อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ค่าปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว และแคดเมียม มีค่า 12.79, 13.39, 89.56, 87.64, 28.57 และ 31.03 เบอว์เซนต์ ตามลำดับ สำหรับ ค่าดีโอดีมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 6.75 มิลลิกรัม/ลิตร และผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดฯ. กับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัย ผลปรากฏว่า มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

การศึกษาความสามารถในการนำพลังงานจากคลื่นในแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย

การศึกษาความสามารถในการนำพลังงานจากคลื่นในแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียแสดงได้ดังตาราง 25-26 และภาพประกอบที่ 39-40

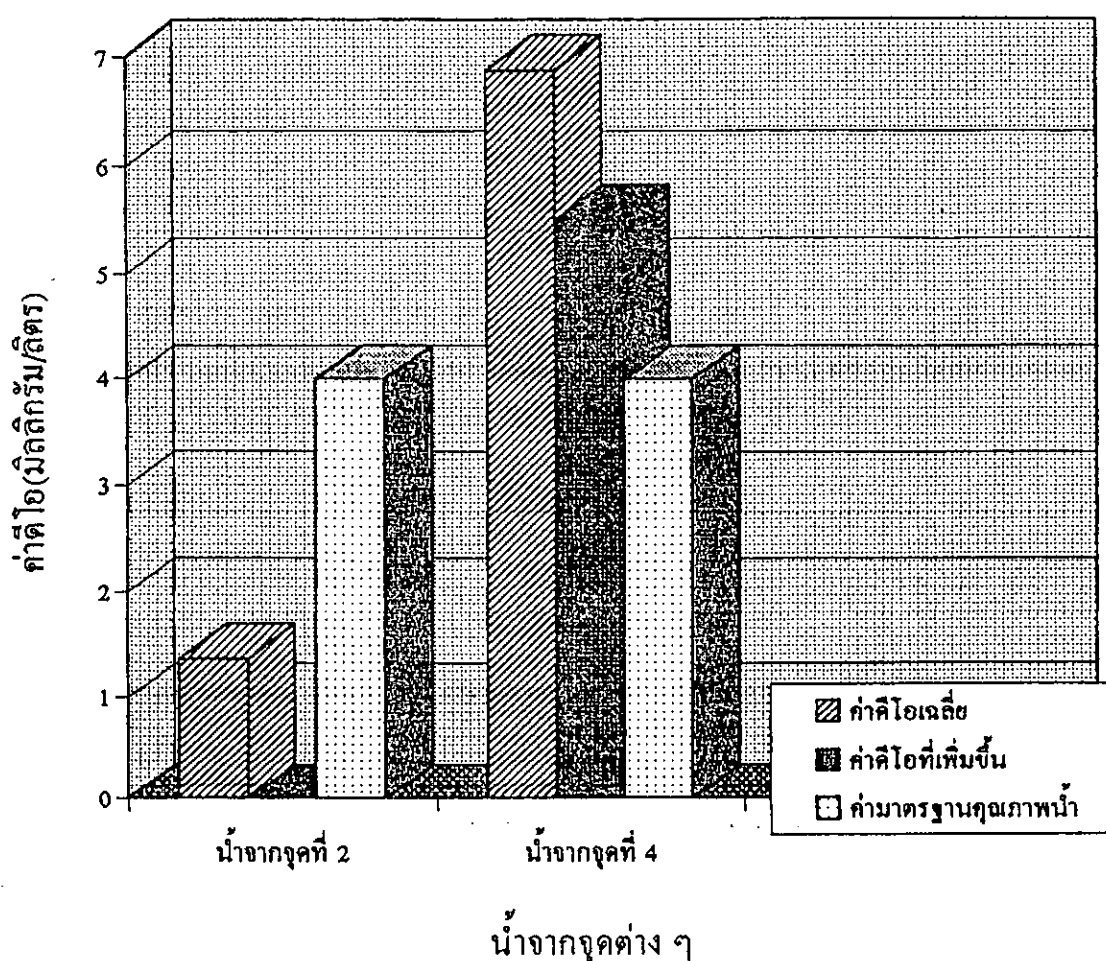
ตาราง 25 แสดงค่าดีไอ (DO) เจลลี่ของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 2 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเอง

พารามิเตอร์ (จำนวนตัวอย่าง N=24)	ปริมาณค่าดีไอเจลลี่ (มก./ล)	ปริมาณค่าดีไอเจลลี่ที่เพิ่มขึ้น (มก./ล)	ค่ามาตรฐาน(3)คุณภาพน้ำ (มก./ล)
น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (จุดที่ 2)(1)	1.37	5.5	ไม่ต่ำกว่า 4.0
น้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น(จุดที่ 4)(2)	6.87		

หมายเหตุ

พลังงานคลื่นที่นำมาใช้ในการศึกษารั้งนี้ เป็นพลังงานคลื่นจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบซึ่งมีความสูงโดยเฉลี่ยมากกว่า 5 นิ้ว ซึ่งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 8.47 ชั่วโมงในช่วงเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมงภายใน 1 วัน และอัตราการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดฯ มีค่าเท่ากับ 3.95 ลิตร/นาที่ โดยทำการเดินเครื่องระบบบำบัดวันละ 12 ชั่วโมงตั้งแต่ 08.00 น. ถึง 18.00 น.

- (1) หมายถึง น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางเรียบร้อยแล้ว ปล่อยน้ำให้ไหลลงบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางโดยไม่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศ
- (2) หมายถึง น้ำที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางโดยมีเครื่องสูบลมพลังคลื่นซึ่งทำหน้าที่เติมอากาศผ่านทางหัวเติมอากาศจำนวน 10 หัว ในอัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 4.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลม ที่ความดันเฉลี่ย 2.4 ปอนด์/ตารางนิ้ว และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำบางส่วนจากส่วนท้ายของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางไปยังจุดเริ่มต้นของบ่อเติมอากาศใหม่อีกครั้ง เพื่อให้น้ำรับการเติมอากาศอีกครั้ง
- (3) หมายถึง ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีใช้น้ำทะเลประเภท 3 พ.ศ. 2529



ภาพประกอบ 39 แสดงปริมาณค่าดีโอ (DO) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 2 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเอง

จากตาราง 25 และภาพประกอบ 39 แสดงว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางมีค่าดีโอเฉลี่ย 1.37 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อนำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นแล้วน้ำมีค่าดีโอเฉลี่ย 6.87 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่มีค่าเท่ากับ 5.5 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าพลังงานจากคลื่นแหล่งน้ำสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

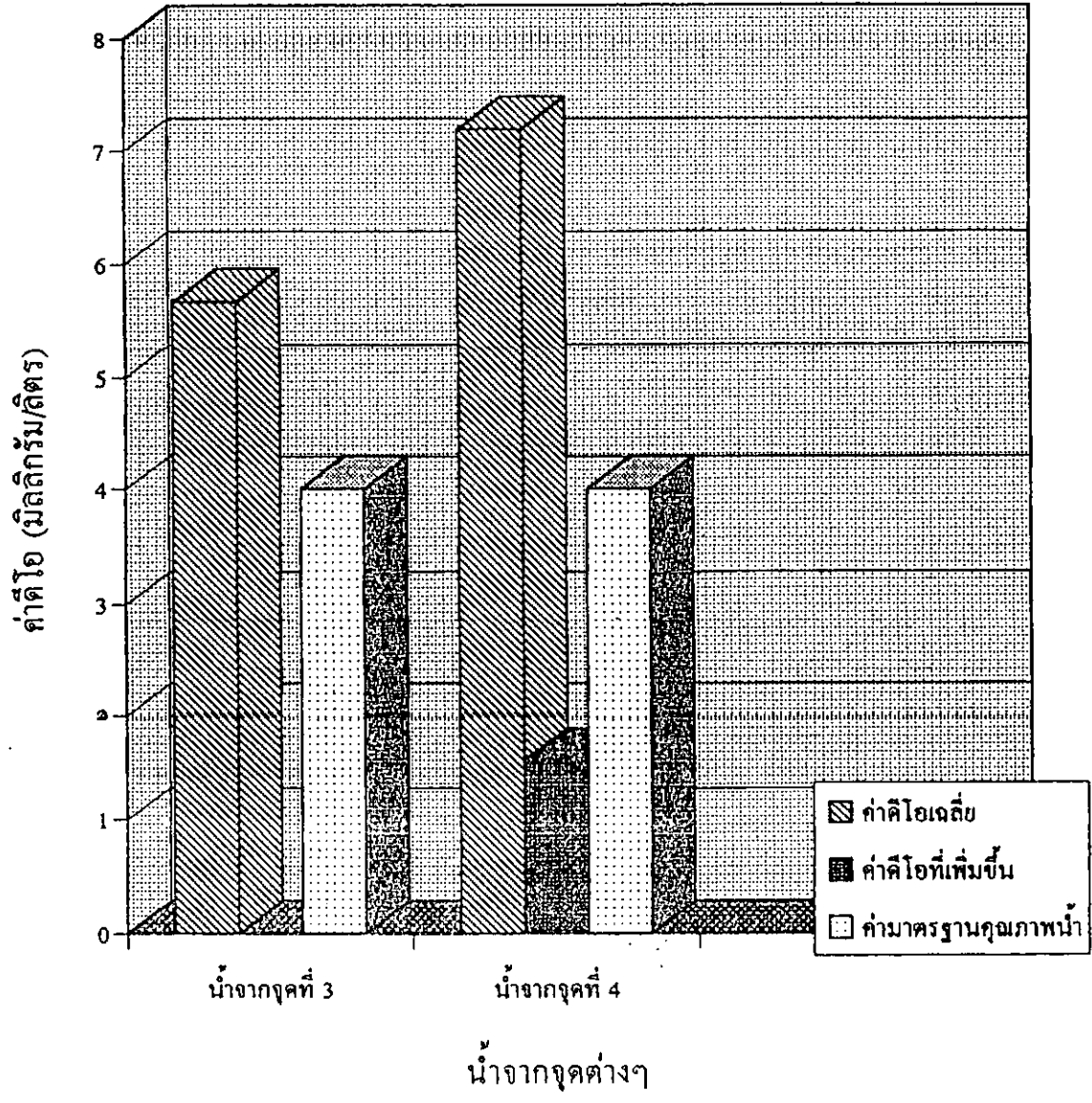
ตาราง 26 แสดงค่าดีไอ (DO) เฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 3 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

พารามิเตอร์ (จำนวนตัวอย่าง N=24)	ปริมาณค่า ดีไอเฉลี่ย (มก./ล)	ปริมาณค่าดีไอ เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (มก./ล)	ค่ามาตรฐาน คุณภาพน้ำ (มก./ล)
น้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศ จุดที่ 3)(1)	5.65	1.54	ไม่ต่ำกว่า 4.0
น้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่น และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น(จุดที่ 4)(2)	7.19		

หมายเหตุ

พลังงานคลื่นที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นพลังงานคลื่นจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบซึ่งมีความสูงโดยเฉลี่ยมากกว่า 5 นิ้ว ซึ่งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 8.47 ชั่วโมงในช่วงเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมงภายใน 1 วัน และอัตราการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดฯ มีค่าเท่ากับ 3.95 ลิตร/นาที่ โดยทำการเดินเครื่องระบบบำบัดวันละ 12 ชั่วโมงตั้งแต่ 08.00 น.-18.00 น.

- (1) หมายถึง น้ำที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศจากรางเติมอากาศเรียบร้อยแล้วปล่อยน้ำให้ไหลลงบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางเพื่อเติมอากาศ
- (2) หมายถึง น้ำที่ผ่านกระบวนการเติมอากาศจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางโดยมีเครื่องสูบลมพลังคลื่นซึ่งทำหน้าที่เติมอากาศผ่านทางหัวเติมอากาศจำนวน 10 หัว ในอัตราการเติมลมโดยเฉลี่ย 4.25 ลิตร/นาที่/หัวจ่ายลม ที่ความดันเฉลี่ย 2.4 ปอนด์/ตารางนิ้ว และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นซึ่งทำหน้าที่สูบน้ำบางส่วนจากส่วนท้ายของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางไปยังจุดเริ่มต้นของบ่อเติมอากาศใหม่อีกครั้งเพื่อให้นำรับการเติมอากาศอีกครั้ง



ภาพประกอบ 40 แสดงปริมาณค่าดีโอเฉลี่ยของน้ำจากจุดเก็บน้ำจุดที่ 3 ที่นำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมหลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำหลังคลื่นในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเอง

จากตาราง 26 และภาพประกอบ 40 แสดงว่าน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศมีค่าดีไอเจสีย 5.65 มิลลิกรัม/ลิตรเมื่อนำไปผ่านกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นแล้วน้ำมีค่าดีไอเจสีย 7.19 มิลลิกรัม/ลิตร และประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีไอเจสียของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.54 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าการเติมอากาศของเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นมีประสิทธิภาพในการเติมอากาศได้ดีในช่วงที่ค่าดีไอของน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ

ผลการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมจาก บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

ผลการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 7 คน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. จากการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องน้ำเพื่อชีวิตให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย โดยบทปฏิบัติการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วยกิจกรรมการทดลองทั้งหมด 10 กิจกรรมดังรายละเอียดต่อไปนี้

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

กิจกรรมที่ 1. สำรวจสภาพปัญหาและความเป็นอยู่ของชุมชนที่ตั้งอยู่โดยรอบของโรงเรียน

จุดประสงค์

เพื่อให้นักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิต สภาพปัญหา ที่เกี่ยวกับมลภาวะของแหล่งน้ำ ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และแนวทางการแก้ปัญหาของคน ในชุมชนนั้น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม

ตัวอย่างกิจกรรม

ให้นักเรียนทำการสำรวจข้อมูลในแหล่งชุมชนที่ตั้งอยู่รอบ ๆ บริเวณโรงเรียนโดยแบ่งนักเรียน ออกเป็นกลุ่ม ๆ และขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการสำรวจตามความเหมาะสม แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการสรุป และนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิชนิดต่าง ๆ ที่นักเรียนเห็นว่าเหมาะสมที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ช่วงเวลาในการจัดกิจกรรมนี้ควรเริ่มในช่วงต้นของภาคเรียน เพื่อให้นักเรียนได้ทราบข้อมูล ที่เกี่ยวกับมลภาวะของแหล่งน้ำกำลังเกิดขึ้นภายในท้องถิ่นของตนเองได้อย่างชัดเจน และสามารถนำ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหา ในรูปแบบของการทำโครงงานทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมวิทยาศาสตร์ กิจกรรมชุมนุมสิ่งแวดล้อม หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์ได้ทุกรายวิชา เพื่อศึกษาสภาพปัญหา ในชุมชนสำหรับเป็นแนวทางในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์ เพื่อค้นหาแนวทางการแก้ ปัญหาต่อไป

ตาราง 27 แสดงตัวอย่างแบบสำรวจสภาพชุมชนและสภาพแหล่งน้ำโดยทั่วไป

ชื่อผู้สำรวจ..... โรงเรียน.....
สถานที่ที่สำรวจ.....

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
1	สภาพที่ตั้งของแหล่งชุมชน -หมู่บ้าน -ตลาด -พื้นที่เกษตรกรรม -ริมแหล่งน้ำธรรมชาติ -ชุมชนแออัด		
2	ลักษณะของที่อยู่อาศัยในชุมชน -บ้านชั้นเดียวทำด้วยไม้ -บ้านชั้นเดียวทำด้วยปูนซีเมนต์ -บ้าน 2 ชั้นทำด้วยไม้ -บ้าน 2 ชั้นทำด้วยปูนซีเมนต์ -บ้านเป็นตึกแถว -บ้านเป็นห้องแถวไม้ -บ้านเป็นกระต๊อบ -บ้านเป็นเพิง -อื่น ๆ		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
3	จำนวนสมาชิกในครอบครัว - 2 - 4 คน - 5 - 7 คน - 8 - 10 คน มากกว่า 10 คน		
4	อาชีพของสมาชิกในครอบครัว - รับราชการ - ทำงานเอกชน - ค้าขาย - ทาเกษตรกรรม(ปลูกพืช) - ทาฟาร์มเลี้ยงสัตว์ - รับจ้าง - อื่น ๆ.....		
5	แหล่งน้ำที่ใช้ในการอุปโภค - น้ำประปา - น้ำแม่น้ำ (ชื่อน้ำ.....) - น้ำคลอง (ชื่อน้ำ.....) - น้ำบาดาล - สระน้ำ - บ่อน้ำ - น้ำฝน - อื่นๆ.....		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
6	คุณลักษณะของแหล่งน้ำที่ใช้ใน การอุปโภคที่สังเกตเห็น - สี ใส ค่อนข้างใส ค่อนข้างขุ่น ขุ่นมาก สีค่อนข้างดำ สีดำ อื่น ๆ..... - กลิ่น ไม่มีกลิ่น ค่อนข้างมีกลิ่นดินโคลน มีกลิ่นดินโคลนมาก ค่อนข้างมีกลิ่นเหม็นเน่า มีกลิ่นเหม็นเน่ามาก อื่น ๆ.....		
7.	สภาพโดยทั่วไปของแหล่งน้ำที่ใช้ในการ อุปโภคที่สังเกตเห็น สถานที่ตั้ง - อยู่ห่างจากแหล่งชุมชนอย่างน้อย 40 เมตร		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
8.	น้ำก่อนนำมาใช้ในการอุปโภคได้ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีใด - มีอาคารบ้านเรือนตั้งอยู่ริมน้ำ - แหล่งน้ำไหลผ่านแหล่งชุมชนที่มีการปล่อยของเสียลงสู่ลำน้ำ - เช่น ตลาด โรงงานอุตสาหกรรม - ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ แหล่งเกษตรกรรม - ที่มีการใช้ยาฆ่าแมลง ฯลฯ - อื่น ๆ สภาพทั่วไปภายในแหล่งน้ำ - สะอาดปราศจากขยะมูลฝอยและเศษวัชพืช - ค่อนข้างสะอาดมีขยะมูลฝอยและเศษวัชพืชปะปนอยู่เล็กน้อย - ค่อนข้างสกปรกมีขยะมูลฝอยและวัชพืชปะปนอยู่ค่อนข้างมาก - สกปรกมีขยะมูลฝอยและเศษวัชพืชปะปนอยู่มาก - อื่น ๆ		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
9.	- นำนาสานภาชนะกักเก็บเพื่อให้เกิดการตกตะกอน - นำนาด้านการกรองก่อน - นำนาดื่มคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค - อื่น ๆ..... แหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค - น้ำประปา - น้ำแม่น้ำ (ชื่อแม่น้ำ.....) - น้ำคลอง (ชื่อคลอง.....) - น้ำบาดาล - สระน้ำ - บ่อน้ำ - น้ำฝน - อื่นๆ..... คุณลักษณะของแหล่งน้ำที่ใช้ใน บริโภคที่สังเกตเห็น - สี ใส ค่อนข้างใส ค่อนข้างขุ่น ขุ่นมาก สีค่อนข้างดำ สีดำ		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
10	อื่น ๆ..... - กลิ่น ไม่มีกลิ่น ค่อนข้างมีกลิ่นดินโคลน มีกลิ่นดินโคลนมาก ค่อนข้างมีกลิ่นเหม็นเน่า มีกลิ่นเหม็นเน่ามาก อื่น ๆ..... น้ำก่อนนำมาใช้ในการบริโภคได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำโดยวิธีใด - นำมาใช้โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ - นำมาทำการแกว่งสารส้ม - นำมาใส่ภาชนะกักเก็บเพื่อ ให้เกิดการตกตะกอน - นำมาผ่านการกรองก่อน - นำมาต้มให้เดือดเพื่อฆ่าเชื้อโรค - นำมาเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค - อื่น ๆ.....		
11.	สถานประกอบการชุมชนปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านการบำบัด - โรงงานอุตสาหกรรม - ฟาร์มเลี้ยงสัตว์		

รายการ	หัวข้อที่ทำการสำรวจ	ความถี่	รวม
12.	- พื้นที่เกษตรกรรม - เหมืองแร่ - ตู้ซ่อมเครื่องยนต์ - อื่น ๆ..... สภาพปัญหาที่พบอยู่เป็นประจำในการนำน้ำจากแหล่งน้ำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภค - มีอาการท้องเสียบ่อย ๆ เมื่อนำน้ำมาทำการบริโภค - น้ำที่นำมาทำการบริโภคมียีสและกลิ่นที่ไม่น่าบริโภค - เมื่อนำน้ำมาอาบมักจะมีอาการคันตามผิวหนัง - ขาดแคลนน้ำที่จะใช้ในการอุปโภคและบริโภคในฤดูแล้ง - อื่น ๆ.....		

13. ปัญหาและอุปสรรคที่เกี่ยวกับการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภคตามข้อ 10 ที่ประชาชนในท้องถิ่นสามารถแก้ปัญหาได้ประสบผลสำเร็จคือ

13.1 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหา.....
.....

13.2 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหา.....

13.3 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหา.....
.....

14. ปัญหาและอุปสรรคที่เกี่ยวกับการใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภคตามข้อ 10 ที่ประชาชนใน
ท้องถิ่นยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ประสบผลสำเร็จคือ

14.1 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหาที่ไม่ประสบผลสำเร็จ.....
.....

14.2 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหาที่ไม่ประสบผลสำเร็จ.....
.....

14.3 ปัญหา.....
วิธีแก้ปัญหาที่ไม่ประสบผลสำเร็จ.....
.....

จากนั้นให้นักเรียนนำข้อมูลทั้งหมดที่ทุกคนสำรวจได้มารวมกันแล้วทำการสรุปข้อมูลเพื่อจัดลำดับ
ความสำคัญในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ลำดับความสำคัญของปัญหาที่พบในท้องถิ่น ปัญหาสภาวะแวดล้อม
ในรูปแบบต่าง ๆ ฯลฯ

กิจกรรมที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ตรวจสอบคุณภาพของน้ำในเบื้องต้นได้
2. นักเรียนสามารถทำนายคุณภาพน้ำในอนาคตได้
3. นักเรียนมีความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์แหล่งน้ำ

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ให้นักเรียนสังเกตลักษณะ สี และกลิ่นของน้ำประปาหรือน้ำบาดาล น้ำมูลสัตว์ และน้ำเน่า (ที่ครูเตรียมไว้ให้) ด้วยประสาทสัมผัสโดยใช้ตาและจมูก แล้วบันทึกผลในตาราง
2. ให้นักเรียนวัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เทอร์มอมิเตอร์ แล้วบันทึกผลในตาราง
3. ให้นักเรียนนำกระดาษวัด pH วัดค่า pH ของน้ำทั้ง 3 ชนิดแล้วบันทึกผลในตาราง
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทั้งตามที่กำหนดไว้ในตาราง แล้วสรุปผลคุณภาพของน้ำทั้ง 3 ชนิด

ตาราง 28 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลกิจกรรมที่ 2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

	สี	กลิ่น	pH	อุณหภูมิ
ค่ามาตรฐานน้ำทั้ง น้ำประปาที่ปราศจากกลิ่น คลอรีนหรือน้ำบาดาล น้ำมูลสัตว์ น้ำเน่า	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	5 - 9	ไม่เกิน 40

ข้อเสนอแนะ สิ่งที่ควรเตรียมไว้ล่วงหน้า ได้แก่

น้ำยาล้างตัว ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร เตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน เก็บไว้ในขวดปากแคบ

น้ำเน่าควรใช้น้ำเน่าจากแหล่งชุมชนที่มีสีดำและมีกลิ่นเหม็น โดยให้นักเรียนนำมาในตอนเช้าก่อนการทดลองหรืออาจใช้เศษอาหารผสมกับน้ำความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร เตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน

น้ำประปา เปิดใส่ภาชนะปากกว้างก่อน 1 วัน เพื่อให้ปราศจากกลิ่นคลอรีน
หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสำหรับที่จะจัดกิจกรรมชุมนุมนักเรียนแอดลุ่มรุ่นเยาว์ กิจกรรมค่ายวิทยาศาสตร์ในหัวข้อการสำรวจแหล่งน้ำเบื้องต้น และในกิจกรรมการเรียนการสอนในวิชา ว 101 หัวข้อที่ 2.7 เรื่องน้ำเสีย

กิจกรรมที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนรู้จักวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน
2. ให้นักเรียนรู้จักวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน
3. ให้นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ตัวอย่างกิจกรรม

1. นำนํ้ายาล้างตัว, น้ำเน่า บรรจุลงในขวดแก้วใส่ปากแคบ (ขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส) ชนิดละ 2 ขวด ขวดละ 1,000 มิลลิลิตร
2. แบ่งนํ้ายาล้างตัวและน้ำเน่า ออกเป็น 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยนํ้ายาล้างตัว 1 ขวด น้ำเน่า 1 ขวด
3. ให้นักเรียนสังเกตสีและกลิ่นของน้ำทั้ง 2 ชุด แล้วบันทึกผลลงในตารางบันทึกผลการทดลอง

4. ใช้เทอร์มอมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 2 ชุด บันทึกผลลงในตาราง
5. นำกระดาษวัด PH วัดค่า pH ของน้ำทั้ง 2 ชุด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
6. สังเกตและเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำชนิดเดียวกันในแต่ละชุด แล้วบันทึกผล
7. นำจุกยางปิดปากขวด น้ำชุดที่ 1 ให้สนิทอย่าให้อากาศจากภายนอกเข้าไปในขวดได้ แล้วตั้งทิ้งไว้บนโต๊ะ
8. สำหรับน้ำชุดที่ 2 ให้นำสายยางจากปั๊มลมที่มีหัวฟู่จุ่มลงไปในขวดน้ำทั้ง 2 ชนิด เปิดเครื่องสูบลมเพื่อเติมออกซิเจนตลอดเวลาโดยไม่ต้องปิดปากขวด แล้วตั้งไว้ใกล้ ๆ ขวดน้ำชุดที่ 1
9. ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้ง 2 ชุด ตามวิธีการในข้อ 3 ถึง ข้อ 6 ทุก ๆ 2 วัน รวม 4 ครั้ง เป็นเวลา 8 วัน บันทึกผลการทดลองทุกครั้ง
10. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับวิธีการบำบัดน้ำเสียและข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อเสนอแนะ

น้ำมูลสัตว์ควรใช้ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร โดยเตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน และก่อนนำน้ำมาแบ่งเป็น 2 ชุด ควรกวนน้ำให้ตะกอนลอยตัวผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันก่อน

น้ำเน่า ควรเก็บไว้ล่วงหน้า 2 - 3 ชั่วโมง หรืออาจเตรียมตามวิธีการในกิจกรรมที่ 2 และก่อนนำน้ำมาแบ่งเป็น 2 ชุด ควรกวนน้ำให้ตะกอนลอยตัวผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันก่อน

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสมที่จะจัดในกิจกรรมนักสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์

กิจกรรมที่ 4 การสร้างถังดักไขมัน

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนสามารถนำคุณสมบัติเกี่ยวกับความหนาแน่นของน้ำและน้ำมันมาประยุกต์ใช้ในการสร้างถังดักไขมันจากวัสดุเหลือใช้ได้
2. ให้นักเรียนได้ตระหนักถึงความจำเป็นในการแยกไขมันออกจากน้ำทิ้ง

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ให้นักเรียนนำวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น กระป๋องน้ำมัน ท่อพลาสติกและท่อพีวีซี มาประกอบเป็นกังหันลมรูปแบบต่าง ๆ ตามความคิดสร้างสรรค์ของแต่ละบุคคล และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง
 2. ให้นักเรียนอธิบายถึงประโยชน์ของกังหันลมที่มีผลต่อการละลายของออกซิเจนในน้ำ
- ข้อเสนอแนะ

รูปแบบของกังหันลมที่นักเรียนออกแบบควรเน้นให้มีลักษณะพิเศษว่ากังหันลมที่มีอยู่โดยทั่วไป เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสมที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนรู้การสอนในรายวิชา ว 102 กิจกรรมที่ 6.6 พัฒนาการ - พัฒนาการ

กิจกรรมที่ 5 การปลูกต้นไม้โดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนรู้จักวิธีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์โดยการปลูกต้นไม้
2. ให้นักเรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

ตัวอย่างกิจกรรม

1. นำน้ำที่ผ่านการบำบัดในกิจกรรมที่ 3 เรียบร้อยแล้ว ทั้ง 2 ชุด มาใส่รวมกันในภาชนะปากกว้าง (ถาดพลาสติก) ให้ระดับน้ำสูงจากก้นภาชนะอย่างน้อย 5 เซนติเมตร เติมน้ำสะอาดลงไปอีกจำนวน 2,000 มิลลิลิตร
2. นำแผ่นโพรหมที่เหลือใช้ มีความหนาตั้งแต่ 1/2 นิ้ว ขึ้นไป มาเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยให้เรียงเป็นแถว 2 แถว แถวละ 5 รู
3. นำดินดาวเรืองหรือคะน้าที่เพาะไว้ ประมาณ 10 วัน ใช้สาลีห่อลำต้นของต้นไม้แล้วนำไปใส่ลงในโพรหมที่เจาะรูไว้แล้ว จัดระดับให้รากจมลงไปในน้ำทั้งหมด

4. นำสายยางจากเครื่องสูบลมที่มีหัวฟู จำนวน 2 หัว าส่งไปบนน้ำ เปิดเครื่องสูบลม ตลอดเวลา

5. วัดความสูงของต้นไม้ที่อยู่เหนือแผ่นโพลี และนับจำนวนใบของแต่ละต้น บันทึกผล

6. บันทึกผลตามข้อ 5 ทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 20 วัน (รวม 10 ครั้ง)

7. นำข้อมูลที่บันทึกผลไว้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของต้นไม้กับ จำนวนวันที่ทำการทดลอง

8. สรุปผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

ควรเตรียมเพาะต้นไม้ที่จะนำมาใช้ปลูกในการทดลองครั้งนี้ล่วงหน้าอย่างน้อย 10 วัน ต้นไม้ที่นำมาใช้ในการทดลองควรเป็นต้นไม้ประเภทไม้ล้มลุก ที่มีอายุการเจริญเติบโตสั้น เช่น ดาวเรือง ผักบุ้ง กระถิน ผักกาดขาว เป็นต้น

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสมที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์ หรือจัดเป็นกิจกรรม การเรียนการสอนในรายวิชา ว 102 กิจกรรม 4.12 มาเริ่มปลูกต้นไม้กันเถอะ หรืออาจจัดทำ เป็นโครงงานวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 6 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางกายภาพ

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนรู้จักขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางกายภาพ
2. ให้นักเรียนรู้จักเลือกใช้วิธีบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางกายภาพได้อย่างเหมาะสม

ตัวอย่างกิจกรรม

1. เตรียมน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ผสมกับวัตถุต่าง ๆ ประกอบด้วย
 - 1.1 น้ำผสมกับข้าวสุก จำนวน 50 กรัม
 - 1.2 น้ำผสมกับเศษกระดาษ จำนวน 10 กรัม
 - 1.3 น้ำผสมดินบดละเอียด จำนวน 10 กรัม

2. ให้นักเรียนพิจารณาว่า ควรจะใช้วิธีการใดในการแยกวัตถุต่าง ๆ ออกจากน้ำที่เตรียมไว้แล้ว และออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวิธีการดังกล่าวโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในท้องถิ่น

3. สรุปผลการทดลองและสรุปแนวทางการนำวิธีการทางกายภาพไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน

ข้อเสนอแนะ

ครูควรให้นักเรียนเตรียมน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยมาจากบ้าน เพื่อใช้ในการทดลองครั้งนี้

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมนักสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์ หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนรู้การสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อที่ 2.5 การทำน้ำให้สะอาด

กิจกรรมที่ 7 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนรู้จักขั้นตอนวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมี
2. ให้นักเรียนรู้จักเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสม

ตัวอย่างกิจกรรม

1. เตรียมสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 6 โมล/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 โมล/ลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อทำให้สารละลายทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องถิ่น

4. สรุปผลการทดลองและสรุปแนวทางการนำวิธีการทางเคมีไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน

ข้อเสนอแนะ

ควรควาให้นักเรียนเตรียมน้ำเสียที่มีสภาวะเป็นกรดหรือเบส ที่มีอยู่ภายในบ้านมาใช้ประกอบ
ในการทดลองด้วย

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดเป็นกิจกรรมในชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์ หรือกิจกรรมการเรียนรู้
การสอนในรายวิชา ว 101 กิจกรรมที่ 3.7 และ 3.8 กรดและเบสมีสมบัติอย่างไร

กิจกรรมที่ 8 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนสามารถนำหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ได้
2. ให้นักเรียนมีความคิดริเริ่มในการนำหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์
ใช้ร่วมกันได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ครูเตรียมน้ำเสียซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้
 - 1.1 น้ำ + เบส + สารแขวนลอย + แคลเซียมคลอไรด์
 - 1.2 น้ำ + กรด + สารแขวนลอย + แมกนีเซียมคลอไรด์
 - 1.3 น้ำ + แคลเซียมซัลเฟต + สารแขวนลอย
2. ให้นักเรียนใช้วิธีการเบื้องต้นตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการ
ออกแบบการทดลอง
3. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้น
4. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์
ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครูควรมีอุปกรณ์และสารเคมีให้นักเรียนเลือกใช้ได้ เช่น มีกระดาษลิตมัส กระดาษ Universal Indicator มีสารส้ม มีผ้ามุง และอุปกรณ์อื่น ๆ ให้นักเรียนเลือกใช้ตามความถนัดได้

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ หรือกิจกรรมการเรียนรู้การสอนในรายวิชา ว 102 กิจกรรมที่ 6.6 พัฒนาการ - พัฒนาการ

กิจกรรมที่ 9 การวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในชุมชนมาใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนได้
2. นักเรียนสามารถนำเสนอแนวทางการทำโครงการทางวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นการตรวจสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นของการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน
3. นักเรียนสามารถใช้เทคนิคในการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้คนในชุมชนร่วมมือกันรักษาน้ำในแหล่งน้ำให้มีคุณภาพดีตลอดไป

ตัวอย่างกิจกรรม

1. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4-5 คนโดยนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันต้องใช้แหล่งน้ำแหล่งเดียวกันในการอุปโภคและบริโภค
2. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในชุมชนที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นในกิจกรรมที่ 1 มาทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาและนำเสนอแนวทางการจัดการน้ำเสียในชุมชน
3. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนเพื่อนำข้อมูลจากการศึกษามาใช้ปรับปรุงแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

4. ให้นักเรียนวางแผนการนำเทคนิคการประชาสัมพันธ์วิธีการต่าง ๆ มาใช้ในการนำเสนอแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนที่ภายในกลุ่มร่วมกันวางแผนและทำการปรับปรุงจนมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอแนวคิดที่ได้วางแผนร่วมกันในข้อ 2-4 ให้กับเพื่อนร่วมชั้นเรียน

ข้อเสนอแนะ

ในช่วงการนำเสนอแนวคิดกับเพื่อนร่วมชั้นเรียนครูควรสร้างบรรยากาศให้เกิดการอภิปรายร่วมกัน

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมการเรียนรู้การสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อ 2.8 มาช่วยกันสร้างแหล่งน้ำให้สะอาด

กิจกรรมที่ 10 การค้นหาแหล่งพลังงานที่มีในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนมีความคิดริเริ่มในการนำพลังงานต่าง ๆ ที่มีราคาถูกมาใช้เป็นพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย

2. ให้นักเรียนเห็นคุณค่าของการประหยัดพลังงานและสามารถประยุกต์ใช้พลังงานทุกชนิดให้เป็นประโยชน์ได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ให้นักเรียนร่วมกันออกแบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้เป็นพลังงานต่าง ๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้ เช่น ใช้ในการเติมออกซิเจน การทำให้น้ำเคลื่อนที่ เป็นต้น

2. ให้นักเรียนส่งตัวแทนออกมานำเสนอแนวคิดและอภิปรายร่วมกันถึงความเป็นไปได้ของการสร้างเครื่องมือชนิดนั้น

3. นำวัสดุเหลือใช้มาจัดสร้างเป็นแบบจำลองของเครื่องมือ

4. ให้นักเรียนส่งตัวแทนออกมานำเสนอผลงานพร้อมทั้งสาธิตหลักการทำงาน
5. ให้นักเรียนสรุปผลที่ได้จากการออกแบบเครื่องมือในครั้งนี้ว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างไร

ข้อเสนอแนะ

ครูควรมีการเสนอแนะหรือยกตัวอย่างพลังงานที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น พลังงานจากคลื่น พลังงานจากลม พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากการไหลของน้ำ เป็นต้น

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์ หรือกิจกรรมการเรียนรู้ การสอนรายวิชา ว 305 หัวข้อ 15.8 แหล่งพลังงานจากดีดลูนาคต

2. จากการนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นทั้งหมด 10 กิจกรรมไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์ ในระดับมหาวิทยาลัยและระดับมัธยมศึกษา จำนวน 7 ท่านทำการตรวจสอบความถูกต้องในด้านความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมกับหัวข้อเรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสีย และการเรียงลำดับกิจกรรมจากผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญปรากฏว่า ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ใน 7 ท่านมีความเห็นตรงกันให้ตัดกิจกรรมที่ 1 การสำรวจสภาพปัญหาและความเป็นอยู่ของชุมชนที่ตั้งอยู่โดยรอบของโรงเรียน และกิจกรรมที่ 10 การค้นหาแหล่งพลังงานที่มีในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเนื้อหาของกิจกรรมดังกล่าวไม่สอดคล้องกับหัวข้อเรื่องของบทปฏิบัติการ นอกจากนั้น ผู้เชี่ยวชาญยังมีความเห็นตรงกันโดยให้ทำการจัดเรียงลำดับของกิจกรรมใหม่ และมีการแก้ไขในรายละเอียดของกิจกรรมในส่วนดังกล่าวและเรียงดังต่อไปนี้

บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียที่ปรับปรุงแล้ว

กิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถใช้ทักษะและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำในเบื้องต้นได้
2. นักเรียนสามารถนำผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ มาใช้คาดการณ์คุณภาพของน้ำนั้น ๆ ในอนาคตได้
3. นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์แหล่งน้ำ

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ให้นักเรียนสังเกตลักษณะ สี และกลิ่นของน้ำประปาหรือน้ำบาดาล น้ำจากแหล่งน้ำที่ครอบครัวของนักเรียนใช้ในการอุปโภคและบริโภค น้ำมูลสัตว์ และน้ำเน่า (ที่ครูเตรียมไว้ให้) ด้วยประสาทสัมผัสโดยใช้น้ำตาและจมูก แล้วบันทึกผลในตาราง
2. ให้นักเรียนวัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยใช้เทอร์มอมิเตอร์ แล้วบันทึกผลในตาราง
3. ให้นักเรียนนำกระดาษวัด pH วัดค่า พีเอช (pH) ของน้ำทั้ง 3 ชนิดแล้วบันทึกผลในตาราง
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทั้งตามที่กำหนดไว้ในตาราง แล้วสรุปผลคุณภาพของน้ำทั้ง 3 ชนิด

ตาราง 29 แสดงตัวอย่างตารางบันทึกผลกิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น

	สี	กลิ่น	pH	อุณหภูมิ
ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง	ไม่มีสี	ไม่มีกลิ่น	5 - 9	ไม่เกิน 40°
น้ำประปาที่ปราศจากกลิ่น คลอรีนหรือน้ำบาดาล				
น้ำที่ครอบครัวนักเรียนใช้ ในการอุปโภคบริโภค				
น้ำมูลสัตว์				
น้ำเน่า				

ข้อเสนอแนะ สิ่งที่คุณควรเตรียมไว้ล่วงหน้า ได้แก่

น้ำมูลสัตว์ ความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร เตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน เก็บไว้ในขวด
ปากแคบ

น้ำเน่า ควรใช้น้ำเน่าจากแหล่งชุมชนที่มีสีดำและมีกลิ่นเหม็น โดยให้นักเรียนนำมา
ในตอนเช้าก่อนการทดลองหรืออาจใช้เศษอาหารผสมกับน้ำความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตรเตรียมไว้
ล่วงหน้า 3 วัน

น้ำประปา เปิดฝาภาชนะปากกว้างก่อน 1 วัน เพื่อให้ปราศจากกลิ่นคลอรีน

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสำหรับที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ เยาว์ กิจกรรม
ค่ายวิทยาศาสตร์ในหัวข้อการสำรวจแหล่งน้ำเบื้องต้น และในกิจกรรมการเรียนรู้
การสอนในวิชา ว 101 หัวข้อที่ 2.7 เรื่องน้ำเสีย

กิจกรรมที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการและวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนได้ .
2. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการและวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้
3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. นำน้ำมูลสัตว์, น้ำเน่า บรรจุลงในขวดแก้วหรือขวดพลาสติกใสปากแคบ (ขวดบรรจุน้ำดื่มชนิดใส) ชนิดละ 2 ขวด ขวดละ 1,000 มิลลิลิตร
2. แบ่งน้ำมูลสัตว์และน้ำเน่า ออกเป็น 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยน้ำมูลสัตว์ 1 ขวด น้ำเน่า 1 ขวด
3. ให้นักเรียนสังเกตสีและกลิ่นของน้ำทั้ง 2 ชุด แล้วบันทึกผลในตารางบันทึกผลการทดลอง
4. ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำทั้ง 2 ชุด บันทึกผลในตาราง
5. นำกระดาษวัด pH วัดค่า พีเอช (pH) ของน้ำทั้ง 2 ชุด แล้วบันทึกผลลงในตาราง
6. สังเกตและเปรียบเทียบปริมาณตะกอนของน้ำชนิดเดียวกันในแต่ละชุดที่ตกตะกอนอยู่กันขวดแล้วบันทึกผล

7. นำจุกยางปิดปากขวด น้ำชุดที่ 1 ให้สนิทอย่าให้อากาศจากภายนอกเข้าไปในขวดได้ แล้วตั้งทิ้งไว้บนโต๊ะ

8. สำหรับน้ำชุดที่ 2 ให้นำสายยางจากปั๊มลมที่มีหัวฟู(ที่ใช้ในอ่างเลี้ยงปลา)จุ่มลงไป ในขวดน้ำทั้ง 2 ชนิด เปิดเครื่องปั๊มลมเพื่อเติมออกซิเจนตลอดเวลาโดยไม่ต้องปิดปากขวด แล้วตั้งไว้ใกล้ ๆ ขวด น้ำชุดที่ 1

9. ทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำทั้ง 2 ชุด ตามวิธีการในข้อ 3 ถึง ข้อ 6 ทุก ๆ 2 วัน รวม 4 ครั้ง เป็นเวลา 8 วัน บันทึกผลการทดลองทุกครั้ง

10. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับวิธีการบำบัดน้ำเสียและข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

ข้อเสนอแนะ

นักผู้ลสัตว์ควรรักษาความเข้มข้น 10 กรัม/ลิตร โดยเตรียมไว้ล่วงหน้า 3 วัน และก่อนนำน้ำมาแบ่งเป็น 2 ชุด ควรกวนน้ำให้ตะกอนลอยตัวผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันก่อน

น้ำเน่า ควรเก็บไว้ล่วงหน้า 2 - 3 ชั่วโมง หรืออาจเตรียมตามวิธีการในกิจกรรมที่ 2 และก่อนนำน้ำมาแบ่งเป็น 2 ชุด ควรกวนน้ำให้ตะกอนลอยตัวผสมกับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันก่อน

หมายเหตุ

กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมนักร้องแวดล้อมเรียนรู้ หรือในวิชา ว 101 ในหัวข้อ 2.7 น้ำเสีย ก็ได้ในส่วนของกิจกรรมลงทำดู

กิจกรรมที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายขั้นตอนและหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ
2. นักเรียนสามารถสื่อการใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย

3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่น ๆ

ตัวอย่างกิจกรรม

1. เตรียมน้ำปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ที่ผสมกับวัสดุชนิดต่าง ๆ ประกอบด้วย

1.1 น้ำผสมกับข้าวสุก จำนวน 50 กรัม

1.2 น้ำผสมกับเศษกระดาษ จำนวน 10 กรัม

1.3 น้ำผสมดินบดละเอียด จำนวน 10 กรัม

2. ให้นักเรียนนำความรู้เกี่ยวกับวิธีการทำน้ำให้สะอาด และการแยกสารเนื้อเดียวและสารเนื้อผสม ที่ได้เรียนผ่านมาแล้วในบทที่ 2 มา พิจารณาว่าควรจะใช้วิธีการใดในการแยกวัสดุต่าง ๆ ออกจากน้ำที่เตรียมไว้แล้ว และทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวิธีการดังกล่าวโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในท้องถิ่น หรือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

3. สรุปผลการทดลองและสรุปแนวทางการนำวิธีการทางกายภาพไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน

ข้อเสนอแนะ

ครูอาจให้นักเรียนเตรียมน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่หาได้ใกล้ ๆ บ้านมาร่วมทำการทดลองอีก 1 ตัวอย่างด้วยก็ได้

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมนักร้องแวลล์ร้อนเยาว์ หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนรู้การสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อที่ 2.5 การทำน้ำให้สะอาด

กิจกรรมที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมี

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายขั้นตอนและหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้

2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย

3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียด้วยวิธีการทางเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่น ๆ

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ให้นักเรียนใช้กระดาษวัด pH ตรวจสอบสภาพความเป็นกรดเบสของสารละลาย ออกแบบการทดลองเพื่อทำให้สารละลายทั้ง 2 ชนิดนี้อยู่ในสภาวะที่เป็นกลาง โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ในห้องเป็นตัวปรับสภาพ บันทึกผลจำนวนหยดของสารปรับสภาพที่ใช้ไป

2. สรุปผลการทดลองและสรุปแนวทางการนำวิธีการทางเคมีไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียไปใช้ในชีวิตประจำวัน อภิปรายถึงข้อดีและข้อเสียของการบำบัดทางเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับ การบำบัดทางชีวภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. เตรียมสารละลายหมายเลข 1 โดยใช้กรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 โมล/ลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 200 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายหมายเลข 2 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน 2 กรัม ผสมกับน้ำ 200 มิลลิลิตร

3. ครูให้นักเรียนเตรียมน้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะนาว มะขาม มะกรูด ฯลฯ และน้ำต่าง เช่น น้ำขี้เถ้า น้ำปูนขาว น้ำปูนแดง โดยใช้สารเหล่านี้จำนวน ครึ่งถ้วยแกงมาละลายในน้ำ 1 ลิตร คนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วนำน้ำใสที่อยู่ด้านบนไปใช้ไปใช้ในการปรับสภาพหมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดเป็นกิจกรรมในชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อม หรือกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชา ว 101 กิจกรรมที่ 3.7 และ 3.8 กรดและเบสมีสมบัติอย่างไร

กิจกรรมที่ 5 การนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในการกระบวนการปลูกพืช

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถอธิบายวิธีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการปลูกต้นไม้ได้

2. นักเรียนอธิบายถึงคุณค่าและประโยชน์ของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

3. นักเรียนสามารถอธิบายแหล่งที่มาของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. เตรียมน้ำชุดที่ 1 โดย น้ำที่ผ่านการบำบัดในกิจกรรมที่ 3 เรียบร้อยแล้ว ทั้ง 2 ชุด มาใส่รวมกันจนภาชนะปากกว้าง ให้ระดับน้ำสูงจากก้นภาชนะอย่างน้อย 5 เซนติเมตร เติมน้ำสะอาดลงไปอีกจำนวน 2,000 มิลลิลิตร

2. เตรียมน้ำชุดที่ 2 โดยใช้ น้ำสะอาดปราศจากคลอรีนในปริมาณเท่ากับน้ำชุดที่ 1

3. นำแผ่นโพร่งที่เหลืมาใช้ มีความหนาตั้งแต่ $1/2$ นิ้ว ขึ้นไป จำนวน 2 แผ่นมาเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร โดยให้เรียงเป็นแถว 2 แถว แถวละ 5 รู

4. นำต้นดาวเรืองหรือคะน้าที่เพาะไว้ ประมาณ 10 วัน ใช้สาลีห่อลำต้นของต้นไม้แล้วนำไปใส่ลงในโพร่งที่เจาะรูไว้แล้ว วางทับบนปากถาดพลาสติกทั้ง 2 บังคับระดับน้ำให้รากจุ่มลงไปในน้ำทั้งหมด

5. นำสายยางจากเครื่องสูบลมที่มีหัวฟู่ ใส่ลงไปในถาดพลาสติกจำนวนถาดละ 1 หัวโดยให้หัวฟู่อยู่ใต้น้ำ เปิดเครื่องสูบลมตลอดเวลา

6. วัดความสูงของต้นไม้ที่อยู่เหนือแผ่นโพร่งแต่ละต้นแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยความสูงของต้นไม้แต่ละชุด บันทึกผล (ให้นักเรียนออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองเอง)

7. ทำการบันทึกผลตามข้อ 5 ทุก ๆ 2 วัน เป็นเวลานาน 20 วัน (รวม 10 ครั้ง)

8. นำข้อมูลที่บ้านที่กผลไว้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของต้นไม้กับจำนวนวันที่ทำการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นไม้แต่ละชุด

9. สรุปผลการทดลอง

ข้อเสนอแนะ

ควรเตรียมเพาะต้นไม้ที่จะนำมาใช้ปลูกในการทดลองครั้งนี้ล่วงหน้าอย่างน้อย 10 วัน ต้นไม้ที่นำมาใช้ในการทดลองควรเป็นต้นไม้ประเภทไม้ล้มลุก ที่มีอายุการเจริญเติบโตสั้น เช่น ดาวเรือง ผักบุ้ง กระถิน ผักกาดขาว เป็นต้น

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อ 2.7 น้ำเสีย หรืออาจจัดทำเป็นโครงงานวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 6 การสร้างถังดักไขมัน

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถนำคุณสมบัติเกี่ยวกับความหนาแน่นของน้ำและน้ำมันมาอธิบายหลักการทำงานของถังดักไขมันได้
2. นักเรียนสามารถอธิบายถึงผลเสียที่เกิดจากการมีคราบไขมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำได้
3. นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความจำเป็นในการแยกไขมันออกจากน้ำทิ้ง
4. นักเรียนสามารถออกแบบถังดักไขมันรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้วัสดุที่เหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ครูนำรูปแบบถังดักไขมันมาอภิปรายร่วมกับนักเรียนเกี่ยวกับเรื่อง หลักการทำงานของวิธีสร้าง ประโยชน์ และวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่สามารถนำมาใช้สร้างทดแทนได้
2. ให้นักเรียนนำวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น กระจอนน้ำมัน ท่อพลาสติกและท่อพีวีซี มาประกอบเป็นถังดักไขมันรูปแบบต่าง ๆ ตามความคิดสร้างสรรค์ของแต่ละบุคคล และสามารถนำมาสาธิตการทำงานได้จริง

3. ให้นักเรียนอธิบายถึงประโยชน์ของถังดักไขมันที่สร้างขึ้นพร้อมสาธิตประสิทธิภาพของถังดักไขมันที่สร้างขึ้น
4. ร่วมกันอภิปรายถึงสถานที่ที่ควรติดตั้งถังดักไขมัน

ข้อเสนอแนะ

รูปแบบของถังดักไขมันที่นักเรียนออกแบบครูควรเน้นให้มีลักษณะพิเศษกว่าถังดักไขมันที่มีอยู่โดยทั่วไป เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

ครูควรมีแบบของถังดักไขมันรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ประกอบการอภิปรายตามข้อ 1

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสมที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมเรียนรู้ หรือจัดเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อที่ 2.8 มาช่วยกันสร้างแหล่งน้ำให้สะอาดและอาจจัดให้นักเรียนทำในรูปแบบโครงงานทางวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 7 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถนำหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียได้
2. นักเรียนสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการทำน้ำให้สะอาด วิธีการแยกสารเนื้อเดียวและการแยกสารเนื้อผสมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้
3. นักเรียนสามารถคิดริเริ่มในการนำหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

ตัวอย่างกิจกรรม

1. ครูเตรียมน้ำเสียซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

สารละลายหมายเลข 1

สารละลายหมายเลข 2

สารละลายหมายเลข 3

2. ให้นักเรียนตรวจสอบ ความเป็นกรดเป็นเบส ความกระด้าง และปริมาณสารแขวนลอย ที่มีอยู่ในน้ำ ด้วยวิธีการตรวจสอบที่เคยทำการทดลองมาแล้วในเรื่อง น้ำเพื่อชีวิต เพื่อนำข้อมูลที่ได้มา ใช้ในการออกแบบการทดลอง

3. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อปรับสภาพน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้น

4. ให้นักเรียนสรุปผลการทดลองและเสนอแนวทางการนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ในการบำบัดน้ำเสียในชีวิตประจำวัน

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครูควรมีอุปกรณ์และสารเคมีให้นักเรียนเลือกใช้ได้ เช่น มีกระดาษลิตมัส กระดาษ Universal Indicator มีสารส้ม กระดาษกรอง มีผ้ามุง น้ำสบู่ และอุปกรณ์อื่น ๆ ให้นักเรียนเลือกใช้ได้ตามความถนัด

สารละลายหมายเลข 1 ประกอบด้วย น้ำ 1 ลิตร + โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม + ดินเหนียวบดละเอียด 3 ช้อนเบอร์ 2 + แคลเซียมคลอไรด์ 1 กรัม

สารละลายหมายเลข 2 ประกอบด้วยน้ำ + กรดไฮโดรคลอริก 6 โมล/ลิตร 1 ml + ดินเหนียวบดละเอียด 3 ช้อนเบอร์ 2 + แมกนีเซียมคลอไรด์ 1 กรัม

สารละลายหมายเลข 3 ประกอบด้วยน้ำ + แคลเซียมซัลเฟต 1 กรัม + ดินเหนียวบดละเอียด 3 ช้อนเบอร์

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสมที่จะจัดในกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมรุ่นเยาว์ หรือกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชา ว 101 กิจกรรมลองทำดูในรายวิชา ว 101 เรื่องน้ำเสีย

กิจกรรมที่ 8 การวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน

จุดประสงค์

1. นักเรียนสามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในชุมชนมาใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนได้
2. นักเรียนสามารถนำเสนอแนวทางการทำโครงการทางวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นการตรวจสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นของการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน
3. นักเรียนสามารถใช้เทคนิคในการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้คนในชุมชนร่วมมือกันรักษาน้ำในแหล่งน้ำให้มีคุณภาพดีตลอดไป

ตัวอย่างกิจกรรม

1. แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 4-5 คนโดยนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันต้องงใช้แหล่งน้ำแหล่งเดียวกันในการอุปโภคและบริโภค
2. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในชุมชนที่ได้จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นในกิจกรรมที่ 1 มาทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาและนำเสนอแนวทางการจัดการน้ำเสียในชุมชน
3. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนเพื่อนำข้อมูลจากการศึกษามาใช้ปรับปรุงแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. ให้นักเรียนวางแผนการนำเทคนิคการประชาสัมพันธ์วิธีการต่าง ๆ มาใช้ในการนำเสนอแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนที่ภายในกลุ่มร่วมกันวางแผนและทำการปรับปรุงจนมีประสิทธิภาพสูงสุด
5. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมาเสนอแนวคิดที่ได้วางแผนร่วมกันในข้อ 2-4 ให้กับเพื่อนร่วมชั้นเรียน

ข้อเสนอแนะ

ในช่วงการนำเสนอแนวคิดกับเพื่อนร่วมชั้นเรียนควรสร้างบรรยากาศให้เกิดการอภิปรายร่วมกัน

หมายเหตุ กิจกรรมนี้เหมาะสำหรับกิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชา ว 101 หัวข้อ 2.8 มาช่วยกันสร้างแหล่งน้ำให้สะอาด

3. จากการนำทบทวนปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย ที่ทำการปรับปรุงเรียบร้อยแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาจำนวน 7 ท่านเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพโดยการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปเป็นเกณฑ์กำหนดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่ได้พัฒนาขึ้น ผลปรากฏดังตาราง 30

ตาราง 30 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรม
จากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

ลำดับ	ชื่อกิจกรรม	ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญคนที่							ค่า IOC ราย กิจกรรม	ค่า IOC เฉลี่ยทั้ง ฉบับ	ค่าเกณฑ์ มาตรฐาน IOC
		1	2	3	4	5	6	7			
1	การตรวจสอบคุณภาพ น้ำเบื้องต้น	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	0.71		
2	การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางชีววิทยา	+1	0	+1	0	+1	+1	+1	0.71		
3	การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางกายภาพ	+1	+1	+1	+1	+1	0	-1	0.57		
4	การบำบัดน้ำเสียด้วย วิธีการทางเคมี	+1	+1	0	+1	0	0	+1	0.57		
5	การนำน้ำที่ผ่านการ บำบัดแล้วมาใช้ใน การปลูกต้นไม้	+1	+1	0	+1	+1	-1	+1	0.57	0.64	0.5
6	การสร้างถังดักไขมัน	0	+1	+1	+1	+1	0	+1	0.71		
7	การปรับปรุงคุณภาพน้ำ	+1	0	0	+1	+1	+1	0	0.57		
8	การวางแผนการจัด การน้ำเสียในชุมชน	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	0.71		

หมายเหตุ +1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของกิจกรรม

0 หมายถึง ไม่แน่ว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับเนื้อหาของกิจกรรม

-1 หมายถึง แน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมไม่มีความสอดคล้องกับเนื้อหาของกิจกรรม

จากตาราง 30 แสดงว่าค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรม และเนื้อหาของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสีย ของกิจกรรมที่ 1, กิจกรรมที่ 2, กิจกรรมที่ 6 และกิจกรรมที่ 8 มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.71 สำหรับในกิจกรรมที่ 3, กิจกรรมที่ 4, กิจกรรมที่ 5 และกิจกรรมที่ 7, มีค่า IOC ต่ำสุดเท่ากับ 0.57 ในส่วนของค่า IOC โดยภาพรวมทั้งฉบับของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีค่า 0.64 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน IOC ที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.5 จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 6

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเอง บำบัดตัวเอง : กรณีศึกษา เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาซึ่งพอจะสรุปลำดับขั้น และผลของการศึกษาค้นคว้า ได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อสร้างระบบบำบัดต้นแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในเชิงการบำบัดโดยภาพรวมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ในรูปการลดปริมาณสารอินทรีย์ และโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำเสีย
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการนำพลังงานจากคลื่นในแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย
4. เพื่อนำเสนอแนวทางการปรับปรุงบทปฏิบัติการในวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา

สมมติฐานของการวิจัย

1. น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองจะมีคุณภาพได้ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัย
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและ เนื้อหาของกิจกรรมโดยภาพรวมทั้งฉบับ ไม่ต่ำกว่า 0.5

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1.1 เตรียมความพร้อมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง (start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state)

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.2.1 สูบน้ำจากบ่อรวมน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการใด ๆ มาก่อน นำไปกักเก็บไว้ในถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (Anaerobic Filter) ในถังใบที่ 1 แล้วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลางใบสุดท้ายให้ไหลลงสู่รางเติมอากาศ กังหันเติมอากาศ และบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง แล้วปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วลงสู่คลองแสนแสบตามลำดับ ด้วยอัตราการไหล 3.95 ลิตร/นาที

1.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำจะเก็บหลังจากเตรียมความพร้อมของระบบ (start up) ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) แล้ว โดยเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการเก็บแบบจ้วง (grab sampling) สัปดาห์ละ 3 ครั้ง คือ ในวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 09.00 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 8 สัปดาห์ รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 24 ตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าดีโอ ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้ง 4 จุด คือ (รายละเอียดตามภาพประกอบ 15)

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก บรอม ตะกั่ว และแคดเมียม จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำรวมทั้ง 2 จุด คือ จุดที่ 1 และจุดที่ 4

จุดที่ 1 น้ำทิ้งจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ก่อนสูบน้ำเข้าสู่ระบบบำบัด (Influent)

จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถังหมักแบบใช้ตัวกลางก่อนปล่อยลงสู่ราง
เติมอากาศ

จุดที่ 3 น้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศก่อนปล่อยลงสู่กังหัน
เติมอากาศ

จุดที่ 4 น้ำที่ปล่อยออกจากระบบ (Effluent) ที่ผ่านการเติมอากาศ
จากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางเรียบร้อยแล้ว

การเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มเก็บเวลา 09.00 น. - 10.00 น. แล้วนำ
ไปทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการภายในเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำ
เรียบร้อยแล้ว

1.2.3 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบสากล (Standard
Method for Examination of Water and Wastewater 16th Edition. APHA. AWWA.
WPCF, 1985) รายละเอียดดังตาราง 9

2. การตรวจสอบคุณภาพของบพปฏบัติการทางวิทยาศาสตร์เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้อง
กับ เนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับชั้น
มัธยมศึกษาตอนต้น

2.2 ศึกษาหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์พุทธศักราช 2535 ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
ว 101 เรื่อง น้ำเพื่อชีวิต

2.3 วิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหา กิจกรรมเรื่องน้ำเพื่อชีวิตรวมทั้งทำ
การวิเคราะห์จุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและ
การบำบัดน้ำเสีย

2.4 กำหนดจุดประสงค์และเนื้อหาของกิจกรรม เรื่อง น้ำเพื่อชีวิตให้สอดคล้องกับ
เนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

2.5 ดำเนินการพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่อง น้ำเพื่อชีวิต ให้สอดคล้องกับเนื้อหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียตามแผนการที่กำหนดไว้

2.6 นำบทปฏิบัติการที่ดำเนินการพัฒนาเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบความถูกต้อง

2.7 นำผลการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.8 นำบทปฏิบัติการที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาทำการตรวจสอบคุณภาพ โดยการหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไปเป็นเกณฑ์กำหนดคุณภาพของบทปฏิบัติการที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ (1) รองศาสตราจารย์ ดร. ทวี หอมขจรรองอธิการบดีและคณบดีคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสยาม (2) รองศาสตราจารย์ ดร. วินัย วีระวัฒนานนท์ กรรมการบริหารหลักสูตรคหกรรมศาสตร์ สาขาสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์ และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (3) รองศาสตราจารย์ วราพร ศรีสุพรรณ กรรมการบริหารหลักสูตรบัณฑิตศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมศึกษา คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1) นายไพรัช เรืองกลิ่น อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี (2) นายทวีศักดิ์ อริยวัฒน์วงศ์ อาจารย์ 2 ระดับ 7 โรงเรียนปรกแก้ววิทยา อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม และผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจำนวน 2 ท่าน ได้แก่ (1) นางสาวเพ็ญแข วิสิฐพันธุ์ อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนไทรน้อย อำเภไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี (2) นางสาวบราณี สมสกุล อาจารย์ 2 ระดับ 6 โรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม อำเภท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองมีคุณภาพตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 อุณหภูมิ

จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อัตราการลดลงของอุณหภูมิจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ประสิทธิภาพการบำบัดในส่วนของค่าอุณหภูมิโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าร้อยละ 12.79 หรืออุณหภูมิของน้ำหลังจากการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้วจะมีค่าลดลงโดยเฉลี่ย 3.36 องศาเซลเซียส แสดงว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลงและน้ำที่ผ่านการบำบัดในขั้นตอนต่าง ๆ มีการไหลเวียนทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการระเหยได้ดีส่งผลให้อุณหภูมิมีค่าลดลง (Young and McCararty, 1962: 151) และอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดฯและออกจากระบบบำบัดฯ มีค่าโดยเฉลี่ย 28.38 และ 24.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงว่า อุณหภูมิของน้ำมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับ 3 พ.ศ. 2539 ซึ่งกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม , 2539 : 3) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วนของการอุณหภูมิจึงมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.2 ค่า pH

จากการศึกษาพบว่าค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอัตราการเพิ่มของค่า pH จากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 2) จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด รองลงมาได้แก่ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเติมอากาศ (จุดเก็บน้ำจุดที่ 3) และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลวนราง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) จะมีค่าต่ำสุด คือ 6.07 , 4.25 และ 2.53 ตามลำดับ ในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าร้อยละ 13.39 หรือค่า pH ของน้ำหลังจากการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าโดย pH ที่เข้าสู่ระบบโดยเฉลี่ย 3.36 แสดงว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลงทำให้สภาวะความเป็นกรดลดลง (เสริมพล รัตสุขและไพยฤทธิ์ กลิ่นสุคนธ์, 2525: 24) และค่า pH ของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดฯและออกจากระบบบำบัดฯ.

มีค่าโดยเฉลี่ย 6.42 และ 7.28 ตามลำดับแสดงว่าค่า pH ของน้ำมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งระดับชุมชน ประเภท ก. โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ.2528 ซึ่งกำหนดค่าพีเอชของน้ำมีค่า 5 ถึง 9 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535:20) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วนของอุทกภูมิจึงมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.3 ค่าดีไอ

จากการศึกษาพบว่าค่าดีไอเฉลี่ยของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. (จุดเก็บน้ำจุดที่ 1) มีค่าค่อนข้างต่ำคือมีค่าดีไอเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าน้ำอยู่ในสภาวะเน่าเสียค่อนข้างมากสำหรับค่าดีไอจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเดิมอากาศ (จุดเก็บน้ำจุดที่ 3) จะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มค่าดีไอของน้ำได้สูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเดิมอากาศแบบการไหลในราง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 2) จะมีค่าต่ำสุด คือ 4.28, 1.54 และ 1.54 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับในส่วนของการประสิทธิภาพการบำบัดโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าดีไอเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.75 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำในระดับค่อนข้างสูง และค่าดีไอของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเดิมอากาศ (จุดเก็บน้ำจุดที่ 3) และบ่อเดิมอากาศแบบการไหลในราง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) มีค่าโดยเฉลี่ย 5.65 และ 7.19 ตามลำดับแสดงว่าค่าดีไอของน้ำมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินที่มีค่าพีเอชประเภท 3 พ.ศ.2529 ซึ่งกำหนดค่าดีไอของน้ำมีค่าไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2536:23) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วนของการค่าดีไอจึงมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.4 ค่าบีโอดี

จากการศึกษาพบว่าค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. (จุดเก็บน้ำจุดที่ 1) มีค่าค่อนข้างสูงคือมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 107.40 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าน้ำอยู่ในสภาวะเน่าเสียค่อนข้างมากสำหรับค่าบีโอดีจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 2) จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีของน้ำได้สูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเดิมอากาศแบบการไหลในราง (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4)

และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเดิมอากาศ(จุดเก็บน้ำจุดที่ 3)จะมีค่าต่ำสุดร้อยละ 76.14, 40.43 และ 26.54 ตามลำดับในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าบีโอดีลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 89.56 แสดงว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างสูง สำหรับค่าบีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเดิมอากาศ(จุดเก็บน้ำจุดที่ 3) และบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง(จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) มีค่าโดยเฉลี่ย 18.82 และ 11.21 ตามลำดับแสดงว่าค่าบีโอดีของน้ำมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2,501 คนขึ้นไป พ.ศ.2528 ซึ่งกำหนดค่าบีโอดีของน้ำมีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2536:28) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วน ค่าบีโอดีจึงมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.5 ค่าซีโอดี

จากการศึกษาพบว่าค่าซีโอดีเฉลี่ยของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ.(จุดเก็บน้ำจุดที่ 1) มีค่าค่อนข้างสูงคือมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 230.78 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าน้ำอยู่ในสภาวะเน่าเสียค่อนข้างมากสำหรับค่าบีโอดีจากจุดเก็บน้ำจุดต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง(จุดเก็บน้ำจุดที่ 2)จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปซีโอดีของน้ำได้สูงสุด รองลงมาได้แก่น้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อเติมอากาศแบบการไหลในราง(จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากรางเดิมอากาศ(จุดเก็บน้ำจุดที่ 3)จะมีค่าต่ำสุดร้อยละ 73.53, 28.72 และ 34.48 ตามลำดับในส่วนของประสิทธิภาพการบำบัดโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าซีโอดีลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 87.64 แสดงว่าระบบบำบัดฯ.มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างสูง

1.6 ค่าปริมาณสารปรอท

จากการศึกษาพบว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ.(จุดเก็บน้ำจุดที่ 1)ไม่มีสารปรอทเจือปนอยู่ในระดับที่เครื่องมือจะทำการตรวจวิเคราะห์ได้ คือมีค่าต่ำกว่า 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าน้ำอาจสารปรอทเจือปนอยู่ในปริมาณน้อยกว่า 0.0001 มิลลิกรัม/ลิตร หรือไม่มีสารปรอทเจือปนอยู่เลย

1.7 ค่าปริมาณสารตะกั่ว

จากการศึกษาพบว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ.(จุดเก็บน้ำจุดที่ 1)มีปริมาณสารตะกั่วเจือปนอยู่ในอัตราที่น้อยมากคือมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0035 มิลลิกรัม/ลิตรและปริมาณสารตะกั่วจาก

น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0025 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าปริมาณสารตะกั่วที่ถูกบำบัดมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยโดยปริมาณสารตะกั่วที่ลดลงโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าร้อยละ 28.57 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ และจากการเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่วที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. และปริมาณสารตะกั่วที่ออกจากระบบบำบัดฯ. มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2539 ซึ่งกำหนดค่าปริมาณสารตะกั่วที่เจือปนอยู่ในน้ำไว้มีค่าไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539 : 3) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วนของคุณภาพสารตะกั่วที่เจือปนอยู่จะมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

1.8 ค่าปริมาณสารแคดเมียม

จากการศึกษาพบว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ (จุดเก็บน้ำจุดที่ 1) มีปริมาณสารแคดเมียมเจือปนอยู่ในอัตราที่น้อยมากคือมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0029 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารแคดเมียมจากน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดครบทุกขั้นตอนแล้ว (จุดเก็บน้ำจุดที่ 4) มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0020 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงว่าปริมาณสารแคดเมียมที่ถูกบำบัดมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยโดยปริมาณแคดเมียมที่ลดลงโดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าร้อยละ 31.03 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำและจากการเปรียบเทียบปริมาณสารตะกั่วที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. และปริมาณสารตะกั่วที่ออกจากระบบบำบัดฯ. มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 พ.ศ. 2539 ซึ่งกำหนดค่าปริมาณสารตะกั่วที่เจือปนในน้ำไว้มีค่าไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2539 : 3) ดังนั้นคุณภาพของน้ำในส่วนของคุณภาพสารตะกั่วที่เจือปนอยู่จะมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐานสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำนั้น ๆ

2. ความสามารถในการนำพลังงานคลื่นจากแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย จากการศึกษพบว่ากระบวนการนำพลังงานคลื่นที่มีความสูงของคลื่นมากกว่า 5 นิ้ว ที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 8.47 ชั่วโมงในช่วงเวลา 12 ชั่วโมง สามารถเพิ่มปริมาณ

ออกซิเจนในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักแบบใช้ตัวกลาง ซึ่งมีค่าดีไอเจสีย 1.37 มิลลิกรัม/ลิตร ให้มีค่าดีไอเจสียเป็น 6.87 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าดีไอเจสียเพิ่มขึ้นเท่ากับ 5.5 มิลลิกรัม/ลิตร และสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ผ่านการเติมอากาศจากรางเติมอากาศที่มีค่าดีไอเจสีย 5.65 มิลลิกรัม/ลิตร ให้มีค่าดีไอเจสียเป็น 7.19 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่าดีไอเจสียเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.54 มิลลิกรัม/ลิตร จากอัตราการปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดฯ. 3.95 ลิตร/นาที่ ในช่วงเวลาการเดินเครื่องระบบบำบัดฯ. 12 ชั่วโมง/วัน แสดงว่าประสิทธิภาพในการเติมอากาศโดยการให้พลังงานคลื่นจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วงที่มีค่าดีไอเจสียของน้ำที่เข้าสู่ระบบมีค่าต่ำ ดังนั้นความสามารถที่จะนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียจึงมีความเป็นไปได้สูง เนื่องจากน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้วจะปล่อยออกจากระบบบำบัดฯ. มีค่าดีไอเจสียเกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินที่มิใช่น้ำทะเลประเภท 3 พ.ศ.2529 ซึ่งกำหนดค่าดีไอเจสียมีค่าไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร

3. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรม จากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย จากผลการศึกษาพบว่า จากการนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นทั้งหมด 10 กิจกรรมไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมหาวิทยาลัย และระดับมัธยมศึกษาจำนวน 7 ท่านทำการตรวจสอบความถูกต้องในด้าน ความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมกับหัวข้อเรื่อง และการเรียงลำดับกิจกรรม จากผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญปรากฏว่า ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ใน 7 ท่านมีความเห็นตรงกันให้ตัดกิจกรรมที่ 1 การสำรวจสภาพปัญหาและความเป็นอยู่ของชุมชนที่ตั้งอยู่โดยรอบของโรงเรียนและกิจกรรมที่ 10 การค้นหาแหล่งพลังงานที่มีในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเนื้อหาของกิจกรรมดังกล่าวไม่สอดคล้องกับหัวข้อเรื่องของบทปฏิบัติการ หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้นำบทปฏิบัติการไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบเพื่อนำผลการตรวจสอบมาประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของ

กิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ (ค่า IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมหาวิทยาลัยรวม 3 ท่านผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาจำนวน 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาระดับมัธยมศึกษาจำนวน 2 ท่านรวมทั้งหมด 7 ท่าน จากผลการศึกษาพบว่าค่า IOC ของกิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น กิจกรรมที่ 2 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยา กิจกรรมที่ 6 การสร้างถังดักไขมัน และกิจกรรมที่ 8 การวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนมีค่าสูงสุดคือ 0.71 แสดงว่าเนื้อหาของกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของกิจกรรมในระดับสูง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนได้รับความรู้ตรงตามจุดประสงค์ของกิจกรรมที่กำหนดไว้ในระดับสูง สำหรับกิจกรรมที่ 3 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพกิจกรรมที่ 4 การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี กิจกรรมที่ 5 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในการปลูกต้นไม้ และกิจกรรมที่ 7 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมีค่าต่ำสุดคือ 0.57 แสดงว่าเนื้อหาของกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของกิจกรรมในระดับค่อนข้างสูง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนได้รับความรู้ตรงตามจุดประสงค์ของกิจกรรมที่กำหนดไว้ในระดับค่อนข้างสูง และในส่วนของค่า IOC โดยภาพรวมของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.64 ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน IOC ที่กำหนดไว้มีค่า 0.5 แสดงว่าคุณภาพของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถนำมาใช้ประกอบการสอนได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้กำหนดไว้เป็นอย่างดี

วิจารณ์ผลการศึกษา

การวิจารณ์ผลการศึกษา ผู้วิจัยได้แบ่งการวิจารณ์ออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. คุณลักษณะของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดฯ. เป็นไปตามผลการศึกษาคุณลักษณะของน้ำทิ้งชุมชนภายในเขตกรุงเทพมหานคร ของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคนอื่น ๆ พบว่า ค่าอุณหภูมิและ

ค่าพีเอช ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนประเภท ก โดยมีผู้ใช้ตั้งแต่ 2501 คนขึ้นไป พ.ศ. 2528 ส่วนค่าบีโอดี และค่าซีโอดี พบว่าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 300 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่เกิน 600 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับสำหรับอัตราส่วนระหว่างค่าบีโอดีต่อค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 1 : 2.5 ค่าดีโอดีมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ในส่วนของโลหะหนักถ้าภายในชุมชนไม่มีสถานประกอบการที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะมีปริมาณโลหะหนักเจือปนอยู่น้อยมากส่วนใหญ่มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนด (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และคนอื่น ๆ. 2533 : 48) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ บุญส่ง ไชเกษ และยงยศ จุฑมาตยาณูร ที่ทำการศึกษา คุณลักษณะน้ำเสียในชุมชน ผลปรากฏว่า คุณลักษณะของน้ำทิ้งในชุมชนส่วนใหญ่ค่าพีเอชและค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ยกเว้นค่าบีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 300 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ประเภท ก พ.ศ. 2528

2. ประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

2.1 การบำบัดค่าอุณหภูมิและค่า pH ของน้ำมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีเนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำในด้านค่าอุณหภูมิ และค่า pH ให้มีคุณลักษณะคล้ายคลึงกับคุณลักษณะของน้ำธรรมชาติแสดงว่า น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วมีกิจกรรมของแบคทีเรียในการย่อยสลายสารอินทรีย์น้อยลงเนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมีปริมาณลดลง ทำให้อุณหภูมิของน้ำลดลงและค่า pH อยู่ในช่วงค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ ที่ศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักแบบใช้ตัวกลาง ผลปรากฏว่าเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ภายในน้ำถูกย่อยสลายจนมีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง อุณหภูมิของน้ำ และค่าพีเอชจะเข้าสู่สภาวะปกติคือมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งน้ำในธรรมชาติ (เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2525 : 24)

2.2 การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและซีโอดี โดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 89.56 และ 87.64 ตามลำดับ จัดว่ามีประสิทธิภาพของการบำบัดอยู่ในระดับสูง สำหรับสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดโดยถังหมักแบบใช้ตัวกลาง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุเมธ ชวเดช (2523:50) ที่ได้ทำการศึกษา การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์โดยใช้ถังหมักแบบบรรจุตัวกลาง พบว่าถังหมักแบบบรรจุตัวกลางจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี

และซีไอดีให้ลดลงในอัตราโดยเฉลี่ยร้อยละ 82.25 และ 80.38 และจากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่า บีไอดีและค่าซีไอดีของน้ำที่ผ่านการบำบัดครบทุกขั้นตอนก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำพบว่า มีค่า 1: 2.54 ซึ่งมีค่าความแตกต่างอยู่ในระดับทั่วไป จากการศึกษหาอัตราส่วนระหว่างค่า บีไอดีและค่าซีไอดีของน้ำที่ชุมชนของแมคคาที (McCarty, 1964:148) พบว่าค่าอัตราส่วนระหว่าง บีไอดี และค่าซีไอดีของน้ำที่ชุมชนโดยทั่วไปมีค่า 1:2.84 ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ดังกล่าวแสดงว่าสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวะได้ในปริมาณมากและอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพของน้ำได้

2.3 การบำบัดโลหะหนักได้แก่ปรอทและแคดเมียม โดยภาพรวมทั้งระบบมีค่าโดยเฉลี่ย ร้อยละ 28.57 และ 31.03 ตามลำดับ จัดว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษากการบำบัดโลหะหนักในบึงมักกะสันเพื่อการปลูกผักคะน้าของ ธรรมบุญ โรจนะบุรานนท์ และคนอื่น ๆ (2533:243) พบว่าปริมาณโลหะหนักลดลงในอัตราโดยเฉลี่ยร้อยละ 88.64 สาเหตุที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักของระบบบำบัดฯ มีประสิทธิภาพต่ำอาจเกิดจากสาเหตุที่กากตะกอนเกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดมีอยู่ในปริมาณน้อย เนื่องจากในกระบวนการบำบัดใช้วิธีการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนรวมอยู่ด้วยทำให้มีกากตะกอนในปริมาณน้อย (Echaroj.1986:114) โดยกากตะกอนดังกล่าวจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นลบซึ่งจะรวมตัวกับโลหะหนักซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นบวก ได้อย่างดี จากนั้นจะเกิดการตกตะกอนทำให้ปริมาณโลหะหนักในน้ำมีปริมาณลดลง แต่ถ้ากากตะกอนมีปริมาณน้อยการรวมกับโลหะหนักจะมีปริมาณลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักลดลงตามไปด้วย (Kenjikida.1993:90)

3. ความสามารถในการนำพลังงานคลื่นจากแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย โดยใช้คลื่นที่มีความสูงเกินกว่า 5 นิ้ว และมีช่วงเวลาของการเกิดคลื่นไม่น้อยกว่า 7 ชั่วโมง ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง ตามเกณฑ์ของ อิซุมิ อุชิยามา (Izumi Ushiyama.1980:112) จากการศึกษาพบว่าคลื่นที่เกิดจากการเดินเรือโดยสารในคลองแสนแสบที่มีความสูงโดยเฉลี่ยเกินกว่า 5 นิ้วขึ้นไป มีช่วงเวลาการเกิดคลื่นโดยเฉลี่ย 8.47 ชั่วโมง ในช่วงเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมงเมื่อนำมาใช้เป็นพลังงานต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องสูบลมพลังคลื่นจำนวน 9 ตัว และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นจำนวน 3 ตัว มีประสิทธิภาพในการเติมอากาศค่อนข้างสูง ในสภาวะที่น้ำเข้าสู่ระบบเติมอากาศมีค่าดีไออยู่ในระดับต่ำ ๆ คือมีค่าดีไอเฉลี่ยไม่เกิน 2.0

มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในสภาวะที่น้ำเข้าสู่ระบบเติมอากาศมีค่าดีโอxygenในระดับสูงคือมีค่าดีโอเจนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัม/ลิตร ประสิทธิภาพในการเติมอากาศจะต่ำเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณค่อนข้างมากและใกล้จะถึงจุดที่สารละลายอิ่มตัว ทำให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศของเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นอยู่ในระดับต่ำ (มันสิน ตันกุลเวศม์. 2538:108) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูชุม ฮาชิโมโต ที่ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของบ่อเติมอากาศแบบการไหลในรางจากผลการศึกษาพบว่า น้ำที่ผ่านการเติมอากาศในระยะต้นของบ่อเติมอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 เท่าของน้ำที่เข้าเริ่มเข้าสู่ระบบบำบัด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ผ่านการเติมอากาศระยะสุดท้ายก่อนปล่อยออกนอกบ่อเติมอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 0.28 เท่าของน้ำที่อยู่ในระยะกลางของบ่อเติมอากาศ (Susumu Hashimoto. 1990 : 110) ดังนั้นความสามารถในการนำพลังงานคลื่นจากแหล่งน้ำมาใช้เป็นพลังงานในกระบวนการเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียมีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) เนื่องจากค่าดีโอเจนเฉลี่ยของน้ำที่ออกจากระบบบำบัดจะมีค่าค่อนข้างต่ำ

4. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมจากบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย มีค่าโดยภาพรวมทั้งฉบับเท่ากับ 0.64 ซึ่งมีค่าเกินค่าเกณฑ์มาตรฐาน IOC กำหนดไว้เท่ากับ 0.5 (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2535 : 124) แสดงว่าเนื้อหาของกิจกรรมที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ของกิจกรรมในระดับสูง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนได้รับความรู้ตรงตามจุดประสงค์ของกิจกรรมที่กำหนดไว้ในระดับสูง

ผลสรุปของสมมติฐานในการวิจัย

1. น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองมีคุณภาพได้ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยโดยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี และซีโอดีมีค่าร้อยละ 89.56 และ 87.64 ตามลำดับ สำหรับประสิทธิภาพ

ในการบำบัดโลหะหนักในรูปสารตะกั่ว และแคดเมียม มีค่าร้อยละ 28.57 และ 31.03 ที่ระยะเวลาการกักเก็บในถังหมักแบบใช้ตัวกลางโดยเฉลี่ย 6.75 ชั่วโมง และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 4.22 ชั่วโมง และประสิทธิภาพในการบำบัด 2844 ลิตร/วัน ในช่วงเวลา 06.00 น.-18.00 น. รวม 12 ชั่วโมง ที่ทำการบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศจากเครื่องสูบลมพลังคลื่น และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่น คิดเป็นร้อยละ 68.69 ของปริมาณที่คำนวณไว้

2. บทปฏิบัติการเรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสียมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมโดยภาพรวมทั้งฉบับเท่ากับ 0.64 ซึ่งมีค่าเกินค่าเกณฑ์มาตรฐาน IOC ที่กำหนดไว้เท่ากับ 0.5

ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

1. ในการนำระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียในชุมชนต่าง ๆ ควรนำน้ำที่จะทำการบำบัดมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดีของน้ำก่อน
2. ถ้าคุณภาพของน้ำทิ้งมีค่าบีโอดีใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองอาจใช้เพียงถังหมักแบบใช้ตัวกลาง และรางเติมอากาศ น่าจะเพียงพอโดยผู้สร้างจะต้องทำการทดลองหาขนาดของรางเติมอากาศที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดเสียก่อน
3. อุปกรณ์ที่ไม่ควรนำมาใช้ติดตั้งในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง คือกังหันเติมอากาศเนื่องจากในขณะเดินเครื่องระบบบำบัดต้องมีการดูแลรักษาไม่ให้มีตะกอนไปอุดช่องระบายน้ำของกระบวยรับน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้กังหันไม่เคลื่อนที่น้ำจะไหลล้นออกจากกระบวยรับน้ำในลักษณะที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศน้อยมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการเติมอากาศลดลงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้นถ้าต้องการติดตั้งกังหันเติมอากาศในระบบบำบัดฯ ควรใช้กังหันเติมอากาศที่ใช้มอเตอร์รอบต่ำเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเหมือนกังหันเติมอากาศชัยพัฒนา ที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชมหาราช ทรงประดิษฐ์ขึ้น จึงส่งผลให้การเติมอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

4. การนำเครื่องสูบลมพลังคลื่น และเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นไปใช้ในแหล่งน้ำแหล่งอื่น ๆ ควรมีการศึกษาเพื่อหาขนาดของถังรับพลังงานคลื่นและขนาดของท่อลมที่เหมาะสมกับขนาดความสูงของคลื่น

5. การนำเครื่องสูบลมพลังคลื่นและเครื่องสูบน้ำพลังคลื่นไปใช้กับพลังงานคลื่นในคลองแสนแสบ ในกระบวนการเติมอากาศจะไม่เหมาะสมกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเดินเครื่องระบบตลอดวัน เพราะพลังงานคลื่นในคลองแสนแสบจะมีเพียงพอแก่การใช้งานตั้งแต่เวลา 05.30 น. ถึง 21.00 น. ดังนั้นในการออกแบบระบบบำบัดฯ จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องสูบลมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำการเติมอากาศทดแทนตั้งแต่เวลา 21.00 น. ถึง 05.30 น. จึงจะทำให้ระบบบำบัดฯ ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

6. ก่อนนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียไปใช้ ครูควรทำการทดลองตามกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นก่อน เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขั้นตอนการใช้งานมากขึ้น และเมื่อพบปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ จะได้แก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง และควรนำไปใช้ทดลองสอนกับนักเรียนกลุ่มเล็ก ๆ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้สอนต่อไป

7. ก่อนนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียไปใช้ครูควรทำการศึกษาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) การสร้างถังดักไขมันในรูปแบบต่าง ๆ และเทคนิคการปลูกพืชในน้ำ ให้เข้าใจเสียก่อน

8. ควรสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เป็นแบบทดสอบคู่ขนานขึ้นเพื่อใช้ในการประกอบการวัดผลการเรียนการสอน

9. ควรสร้างแบบวัดเจตคติทางสิ่งแวดล้อม หรือแบบวัดการมุ่งอนาคตทางสิ่งแวดล้อมขึ้นเพื่อใช้ประเมินผลผู้เรียนในชั้นตอนต่าง ๆ

10. ควรมีการพัฒนาบทปฏิบัติการให้เหมาะสมกับและสอดคล้องกับความต้องการของท้องถิ่น

ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองในการวิจัยต่อไป

1. ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำพลังงานคลื่นมาใช้ในกระบวนการเติมอากาศให้กับน้ำเสียในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ออกแบบผนังเขื่อนในรูปแบบต่าง ๆ ที่จะทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้มากขึ้น และมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น
2. ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำพลังงานคลื่นมาใช้ในกระบวนการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process)
3. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบและคุณลักษณะของเครื่องสูบลมพลังงานคลื่นเพื่อใช้งานต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นเครื่องสูบลมสูดอากาศ ใช้การเติมอากาศในการปลูกพืชในน้ำ เป็นต้น
4. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบของปั๊มสูบน้ำพลังงานคลื่นเพื่อใช้งานต่าง ๆ เช่น ในการสูบน้ำทะเลเนื่องจากเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นทำจากวัสดุ พีวีซีจะป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำทะเลได้ดี และใช้ในสูบลมสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นกรดและเบส เป็นต้น
5. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาหลักการของปั๊มลมพลังงานคลื่นไปพัฒนาเพื่อใช้กับพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังลม พลังน้ำ และพลังงานกลจากมอเตอร์ เป็นต้น
6. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเอาหลักการของเครื่องสูบน้ำพลังงานคลื่นไปพัฒนาเพื่อใช้กับพลังงานแบบต่าง ๆ เช่น พลังลม พลังน้ำ และพลังงานกลจากมอเตอร์ เป็นต้น
7. ควรมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบของรางเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพในการเติมอากาศสูงสุด

ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับทบทวนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสียในการวิจัยต่อไป

1. ควรมีการศึกษาลงการขับเคลื่อนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสียโดยนำไปทำการทดลองใช้กับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น เพื่อศึกษาว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นใด

2. ควรมีการศึกษาลักษณะการใช้ทบทวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสีย กับตัวแปรต่าง ๆ เช่น เจตคติทางสิ่งแวดล้อม และการมุ่งอนาคตทางสิ่งแวดล้อม ฯลฯ. เป็นต้น

3. ควรมีการพัฒนาทบทวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการบำบัดน้ำเสียโดยเพิ่มกิจกรรมบางกิจกรรมเข้าไป เช่น การหาค่าดีไอของน้ำอย่างง่าย การหาค่าบีโอดีของน้ำอย่างง่าย และการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ฯลฯ.

การเผยแพร่ผลงาน

1. ตีพิมพ์ลงในหนังสือพิมพ์สยามโพสต์ ฉบับประจำวัน ที่ 29 กรกฎาคม 2539 หน้า 11
2. ให้อิมภาษณ์ทางโทรศัพท์ในรายการ "โลกเทคโนโลยี" ความถี่ FM. 97.5 ออกอากาศ วันที่ 12 กันยายน 2539 เวลา 10.30-11.30 น.
3. ตีพิมพ์ลงในวารสาร News Letter of Siam University ฉบับที่ 12 ปีที่ 3 ในหัวข้อเรื่อง "The Waste Water Treatment Apparatus"
4. จัดนิทรรศการแสดงผลงาน เรื่อง " ปัมพลังคลื่นและปัมลมราคาถูกปลอดภัย"ในงานประกวดสิ่งประดิษฐ์" วันที่ 21 ตุลาคม 2539 ณ ศาลาพระแก้ว จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. จัดนิทรรศการแสดงผลงาน เรื่อง "ปัมพลังคลื่นและปัมลมราคาถูกปลอดภัย"ในงาน "วันนักประดิษฐ์" ประจำปี 2540 วันที่ 2-6 กุมภาพันธ์ 2540 ณ ห้องบางกอกคอนเวนชั่น ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่า ลาดพร้าว
6. นำเสนอผลงาน ปัมพลังคลื่น ปัมลมราคาถูกปลอดภัย และระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวบำบัดตัวเอง ทางสถานีโทรทัศน์สีกองทัพบกช่อง 7 ในรายการ "คนไทยวันนี้" ออกอากาศ วันที่ 4 มีนาคม 2540 เวลา 19.40 น.

รางวัลที่ได้รับ

ได้รับรางวัลชมเชยจากการประกวดสิ่งประดิษฐ์ประเภทบุคคลทั่วไปเป็นเงินสดจำนวน 50,000 บาท (ห้าหมื่นบาทถ้วน) พร้อมเกียรติบัตร จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในผลงาน เรื่อง "ปั๊มพลังคลื่นและปั๊มลมราคาถูกปลอดภัยและเหมาะสม" ในการประกวดสิ่งประดิษฐ์ "วันนักประดิษฐ์" ประจำปี 2540 ในวันที่ 2-6 กุมภาพันธ์ 2540 ณ ห้องบางกอกคอนเวนชัน ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่า ลาดพร้าว

บรรณาการ

บรรณานุกรม

- กุศล หอมระรื่น. การหาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและสังกะสีในกัญชาโดยวิธีอะตอมมิค
แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี. การค้นคว้าแบบอิสระเชิงวิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(การสอนเคมี) เชียงใหม่ : ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัย
เชียงใหม่, 2528. อัดสำเนา.
- คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, สำนักงาน. แนวทางการบริหารจัดการน้ำเสียชุมชน.
กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2530.
- จันทิรา ชัยมงคล. อนินทรีย์เคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์, 2523.
- ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. สารานุกรมธาตุ. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2523.
- ทวี หอมชง. มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : อีรพชการพิมพ์, 2538.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้ง. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคนอื่น ๆ. น้ำเสียชุมชนและปัญหามลภาวะทางน้ำในเขต กทม.
และปริมณฑล. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2530.
- ธรรมบุญ วิจารณ์บุรานนท์ และคนอื่น ๆ. การศึกษาสภาวะแวดล้อมทางน้ำในคลองหลักของ
กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- บุญส่ง ไข่เกษ. "ประโยชน์ของพืชน้ำบางชนิดในการบำบัดน้ำเสียโครก," การอนามัยและ
สิ่งแวดล้อม, 2(6) : 26 - 32 ; พฤษภาคม - สิงหาคม 2526.
- บุญสิน สุภัทวงศ์. การใช้ถังกรองไร้อากาศทำความสะอาดน้ำเสียโครกจากบ้านพักอาศัย.
วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521. อัดสำเนา.
- เบญจา พวงสุวรรณ. รายงานการศึกษาวิเคราะห์ผลงานวิจัย อันดับที่ 6 น้ำทิ้ง - น้ำเสีย
พ.ศ. 2514 - 2523. กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์โครงการและประเมินผล
สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ
การพลังงาน, 2525.

- เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต. แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. "เคมีกับสารพิษ," วารสารวิทยาศาสตร์ ม.อ.ปัตตานี. 69 - 75 ; เมษายน 2526.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. การออกแบบชั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียที่อาศัยหลักชีววิทยา. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.
- . คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- มาลีณี ลิ้มโกคา. พิษวิทยาและการวินิจฉัยโรคทางสัตวแพทย์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2523.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2528.
- ไมตรี สุทธจิตต์. สารพิษในสิ่งแวดล้อมและการเกิดมะเร็ง. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2523. อัดสำเนา.
- ยามาอุชิ เคนจิ. "การบำบัดน้ำเสียประเภทเส้นใย โดยวิธีคอนแทกต์ทิวน์ออกซิเดชัน," วารสารน้ำและน้ำเสีย 16(9) : 46 - 52 ; 1974.
- . วิธีคอนแทกต์ทิวน์ออกซิเดชัน. เอกสารวิชาการ บริษัท กิโนเซ, ญี่ปุ่น.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มบเสนีย์. วิศวกรรมน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.
- วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, สถาบัน. การประเมินผลระบบกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชนการเคหะแห่งชาติ. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2523.
- วิทยา เพียรวิจิตร. เทคโนโลยีการกำจัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2525.

วิทยาศาสตร์บริการ, กรม. รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ฉบับที่ 31 ;
ต.ค. 2510 - ก.ย. 2515.

สมมาตร อิศโรจน์. การประเมินค่าของระบบ A B C แบบแอนเอโรบิค. กรุงเทพฯ :
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2535. อัดสำเนา.

สุรพล สายพานิช. การบำบัดน้ำเสียและการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง
โดยกระบวนการเร่งตะกอนแบบแอนเอโรบิค. กรุงเทพฯ : โครงการวิจัยพัฒนา
เพื่อใช้ประโยชน์และเพื่อกำจัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง, 2529.

สุเมธ ชวเดช และเสริมพล รัตสุข. ถังผลิตแก๊สชีวภาพแบบใช้ตัวกลางไม้รวก.
กรุงเทพฯ : กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย, 2522. อัดสำเนา.

เสริมพล รัตสุข และคนอื่น ๆ. การประเมินผลการกำจัดน้ำทิ้งชุมชนของการเคหะแห่งชาติ.
กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2523.

เสริมพล รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและ
แหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีแห่ง
ประเทศไทย, 2524.

อภิชัย นิลเจียรสกุล. เครื่องต้นแบบระบบการเติมอากาศแบบการไหลในราง. วิทยานิพนธ์
วศ.ม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530. อัดสำเนา.

อัปสรสุดา ศิริพงษ์. สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ของเอสทูรี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทาง
ทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

อัปสรสุดา ศิริพงษ์. สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์และธรณี. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทาง
ทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

- Anderson, H.H. Centrifugal Pumps. The Trade and Technical Press Ltd., Sutton/Surrey, 1962.
- APHA, AWWA, WOCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th ed. Washington, D.C. : American Public Health Association, 1985.
- Barber, N.F. Water Waves. London : Wykeham, 1969.
- Bascom, W. Ocean waves in Menard, H.W. (ed.) Ocean Science. San Francisco : W.H. Freeman, 1977.
- Bothner, M.H. and Carpenter, R. Sorption desorption reaction of mercury with suspended matter in the Columbia river. IAEA ISM - 158/5, 1972.
- Buswell, A.M. and Neave, S.L. Supply, Bulatine No. 30. Laboratory Studies of Sludge Digestion, State Water, State of Illinois, 1930.
- Eckenfelder, JR. W. Industrial Water Pollution Control. New York : McGraw - Hill Book Company, 1966.
- Fairhall, L.T. Industrial Toxicology. New York : New York Hafner Publishing Company, 1969.
- Feachem, R., Mara, D.D. and McGarry, M. Water, Waste and Health in Hot Climates. Chichester : John Wiley & Son, Ltd, 1978.
- Hanzerz, L. Experimental investigations on the accumulation of mercury in water organism. Fishery board of Sweden, Institute of Fresh water Research, Drottningholm, Rep. No.48, 1969.
- Harris, R.C., White, D.B. and McFarlane, R.B. Mercury compounds reduce photosynthesis by plankton. Science 170, 1970.

- Jonasson, I.R. Mercury in the natural environment. A review of recent work, Geological Survey of Canada, 1970.
- Kato, K. and Sekikawa, Y. Fixed Activated Sludge Process for Industrial Waste Treatment Proceedings of 22 nd Ind. Waste Conf., Purdue. Univ , 1967.
- Keenan, J.D. "Methane fermentation of brewery by - products," Biotech. and Bioeng. 19 : 867 - 878, 1977.
- Krishnan, S.S., Cancilla, A. and Jervis, R.E. Wastewater Treatment for Heavy Metals Toxins Using Plant and Hair As Absorbents. J. Sciences of the Total Environmental, 1988.
- McCarty, P.L. "Anaerobic Waste Treatment Fundamentals," Public Work: 107 - 112, 1964.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E. "Salt Toxicity in Anaerobic Digestion," J.WPCF. 33(4) : 399 - 415, 1961.
- Morrow, L.C. Maintenance Engineering Handbook. Second Edition, New York : McGraw - Hill Book Co.Inc., 1966.
- NEL. The Development of Wave Power. A Techno - economic Study, 1976.
- Pierson, W.J. Jr., Neuman, G. and James, R.W. Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves. U.S. Hydrogr. Office, Publishing. 603 : 204 pp.
- Salter, S.H. "Wave power," Nature. 249, 1984.
- Schulze, K.L. "Load and Efficiency of Trickling Filters," J.Wat: Poll Contr. Fed., 32 : 245 - 261, 1960.

- Susumu Hashimoto. Studies on Wastewater Treatment and Food Production by channel flow System. 1984.
- Tyler G. Hicks & Theodore W. Edwards. Pumps : Application Engineering. New York : McGraw - Hill Book Co.Inc., 1971.
- Weir, P.A. and Hine, C.H. Effect of various methods on behavior of conditioned goldfish. Arch. Environm. Health 20, 1970.
- WPCF. Manual of Practice No.16 Anaerobic Sludge Digestion. Water Pollution Control Federation, Washington,D.C.
- Young, J.C. and McCarty, P.L. "The Anaerobic Filter for Waste Treatment," J.WPCF. 41(5) : 160 - 173, 1969.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพ
ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเอง

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง

		พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์							
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ								
ที่ทดลอง	จุดที่	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
		(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
3 ก.ค. 39	1	28.01	6.42	0.82	97.43	216.72	0.0	0.004	0.004
	2	27.50	6.54	1.15	24.31	69.43	-	-	-
	3	25.24	6.75	5.32	17.46	42.35	-	-	-
	4	24.30	7.22	7.44	9.42	24.23	0.0	0.002	0.003
5 ก.ค. 39	1	27.50	6.53	0.42	95.48	198.25	0.0	0.004	0.003
	2	26.23	6.41	1.55	23.73	65.42	-	-	-
	3	25.42	7.12	5.34	16.32	45.43	-	-	-
	4	23.62	7.30	7.21	10.54	28.64	0.0	0.003	0.002
8 ก.ค. 39	1	28.22	6.67	0.40	112.81	245.68	0.0	0.001	0.002
	2	26.32	6.84	1.25	28.42	72.23	-	-	-
	3	24.80	7.15	5.74	20.32	50.64	-	-	-
	4	23.30	7.20	7.16	13.86	34.45	0.0	0.0	0.007

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์									
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
ที่ทดลอง	จุดที่	(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10 ก.ค. 39	1	29.31	6.89	0.35	98.84	213.62	0.0	0.005	0.005
	2	27.60	7.04	1.24	25.32	62.42	-	-	-
	3	25.64	7.18	5.45	17.08	43.73	-	-	-
	4	24.20	7.24	6.98	11.71	30.45	0.0	0.003	0.004
12 ก.ค. 39	1	29.25	6.20	0.22	135.41	278.50	0.0	0.0	0.004
	2	27.22	6.89	1.10	33.25	74.52	-	-	-
	3	26.24	7.11	5.62	25.41	54.14	-	-	-
	4	25.22	7.28	7.12	16.34	39.71	0.0	0.0	0.003
15 ก.ค. 39	1	28.93	6.24	0.37	112.14	248.40	0.0	0.001	0.002
	2	27.25	6.94	1.21	28.65	68.61	-	-	-
	3	26.33	7.04	5.48	20.45	44.42	-	-	-
	4	25.42	7.21	6.97	12.89	39.63	0.0	0.001	0.002
17 ก.ค. 39	1	28.25	6.41	0.54	104.60	232.25	0.0	0.007	0.002
	2	27.32	6.94	1.55	25.82	61.68	-	-	-
	3	26.34	7.11	5.54	19.62	46.62	-	-	-
	4	25.24	7.46	7.30	11.52	31.31	0.0	0.006	0.002

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์									
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
ที่ทดลอง	จุดที่	(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
19 ก.ค. 39	1	28.83	6.38	0.55	99.42	223.12	0.0	0.004	0.008
	2	27.62	6.87	1.59	23.34	58.32	-	-	-
	3	26.25	7.04	5.90	17.94	45.69	-	-	-
	4	25.45	7.18	7.25	10.34	28.67	0.0	0.008	0.007
22 ก.ค. 39	1	28.64	6.37	0.32	118.67	255.43	0.0	0.009	0.001
	2	27.20	6.98	1.54	29.20	66.70	-	-	-
	3	26.23	7.14	5.92	23.12	48.35	-	-	-
	4	25.24	7.54	6.94	14.57	30.24	0.0	0.008	0.001
24 ก.ค. 39	1	28.05	6.32	0.38	104.54	232.70	0.0	0.003	0.002
	2	27.14	6.87	1.64	25.23	58.42	-	-	-
	3	26.25	7.21	5.89	20.23	43.26	-	-	-
	4	25.15	7.23	7.23	10.54	31.35	0.0	0.002	0.001
26 ก.ค. 39	1	28.35	6.20	0.42	102.38	225.63	0.0	0.001	0.005
	2	27.28	6.52	1.54	24.21	57.63	-	-	-
	3	26.23	7.04	5.98	18.25	45.76	-	-	-
	4	24.87	7.21	7.23	10.14	25.68	0.0	0.00	0.004

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์									
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
ที่ทดลอง	จุดที่	(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
31 ก.ค. 39	1	28.64	6.42	0.34	108.62	237.82	0.0	0.007	0.007
	2	27.34	6.94	1.42	25.32	62.34	-	-	-
	3	26.38	7.08	5.94	18.26	43.65	-	-	-
	4	24.84	7.25	7.18	10.64	27.63	0.0	0.003	0.007
2 ส.ค. 39	1	28.29	6.28	0.44	124.31	258.52	0.004	0.004	0.004
	2	27.24	6.87	1.27	29.23	67.50	-	-	-
	3	26.10	7.21	5.64	22.42	46.14	-	-	-
	4	25.42	7.38	7.12	13.44	32.71	0.003	0.003	0.003
5 ส.ค. 39	1	28.93	6.25	0.35	112.24	239.42	0.007	0.002	0.002
	2	27.20	6.92	1.22	23.35	67.6	-	-	-
	3	26.43	7.04	5.59	16.43	48.42	-	-	-
	4	25.42	7.22	7.42	9.09	19.63	0.003	0.001	0.001
7 ส.ค. 39	1	28.25	6.31	0.44	114.61	232.25	0.0	0.001	0.003
	2	27.34	6.97	1.45	24.83	61.68	-	-	-
	3	26.44	7.21	5.64	18.62	42.62	-	-	-
	4	25.24	7.46	7.10	10.52	30.30	0.0	0.001	0.002

		พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์							
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ								
ที่ทดลอง	จุดที่	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
		(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
9 ส.ค. 39	1	28.73	6.58	0.45	101.42	233.12	0.0	0.007	0.0
	2	27.42	6.89	1.56	23.34	54.32	-	-	-
	3	26.65	7.04	5.94	13.94	32.69	-	-	-
	4	25.35	7.18	7.32	9.34	22.67	0.0	0.005	0.0
14 ส.ค. 39	1	28.24	6.41	0.82	97.41	216.72	0.0	0.002	0.002
	2	27.51	6.54	1.15	20.32	49.42	-	-	-
	3	25.28	6.60	5.32	14.40	34.32	-	-	-
	4	24.34	7.20	7.44	8.42	20.24	0.0	0.001	0.001
16 ส.ค. 39	1	27.51	6.43	0.41	95.42	203.20	0.0	0.01	0.003
	2	26.23	6.41	1.45	20.72	47.41	-	-	-
	3	25.42	7.12	5.42	14.33	32.44	-	-	-
	4	23.62	7.30	7.38	9.15	22.54	0.0	0.009	0.002
19 ส.ค. 39	1	27.23	6.68	0.53	99.82	204.68	0.0	0.001	0.002
	2	26.34	6.83	1.25	22.42	45.22	-	-	-
	3	24.82	7.25	5.27	13.33	31.64	-	-	-
	4	23.30	7.20	7.43	8.82	20.42	0.0	0.001	0.001

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์										
วันเดือน ปี จุดเก็บน้ำ										
ที่ทดลอง	จุดที่	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd	
		(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
21 ส.ค. 39	1	28.32	6.98	0.35	106.84	223.6	0.0	0.001	0.002	
	2	26.50	7.24	1.24	26.32	62.4	-	-	-	
	3	25.54	7.28	5.55	20.08	46.74	-	-	-	
	4	24.23	7.24	6.97	12.87	29.42	0.0	0.001	0.0	
23 ส.ค. 39	1	28.14	6.42	0.42	118.42	242.51	0.0	0.002	0.002	
	2	27.52	6.92	1.15	29.35	59.54	-	-	-	
	3	26.22	7.31	5.74	23.14	35.24	-	-	-	
	4	25.32	7.38	7.12	12.32	31.51	0.0	0.001	0.00	
26 ส.ค. 39	1	28.82	6.15	0.39	106.14	218.32	0.0	0.003	0.001	
	2	27.26	6.81	1.41	25.15	58.6	-	-	-	
	3	26.23	7.14	5.68	19.45	46.4	-	-	-	
	4	25.42	7.21	7.07	11.75	35.23	0.0	0.001	0.00	

พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์									
วันเดือน ปี	จุดเก็บน้ำ	Tem.	pH	DO	BOD	COD	Hg	pb	Cd
ที่ทดลอง	จุดที่	(c)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
28 ส.ค. 39	1	28.05	6.31	0.54	96.6	212.24	0.0	0.002	0.001
	2	27.32	6.94	1.65	23.12	50.18	-	-	-
	3	26.14	7.32	5.82	17.62	38.62	-	-	-
	4	24.24	7.46	7.00	8.52	21.31	0.0	0.002	0.001
30 ส.ค. 39	1	28.74	6.38	0.39	114.2	246.10	0.0	0.004	0.003
	2	27.12	6.47	1.46	30.44	64.32	-	-	-
	3	26.21	7.14	5.95	23.64	55.45	-	-	-
	4	25.22	7.24	7.26	12.35	26.67	0.0	0.003	0.002

ภาคผนวก ข.

- 1. วิธีเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หา ค่าดีไอ ค่าปีไอดี และค่าซีไอดี**
- 2. แบบประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรมของ
บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย**

วิธีเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารละลายออกซิเจนในน้ำ(Dissolved Oxygen : DO)

ด้วย วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification)

วิธีเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารละลายออกซิเจนในน้ำ มีขั้นตอนในการเตรียมดังต่อไปนี้

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

ละลายแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตโมนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม ในน้ำกลั่นกรอง แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาล-ไฮโอไดค์-เอไซด์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม และโซเดียมไฮโอไดค์ (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮโอไดค์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (36 นอร์มัล)

4. น้ำแข็ง

ละลายน้ำแข็งมันสำปะหลัง 5 กรัม ในน้ำดื่ม 800 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที ตั้งค้างคืน ใช้แต่น้ำใส เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25 กรัมต่อน้ำแข็ง 1 ลิตร

5. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล

ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัม ในน้ำดื่มที่เย็นแล้ว เติมน้ำดื่มจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล

เตรียมโดยเจือจางสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

วิธีเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

ด้วย วิธีเอไซด์ไนติฟิเคชัน (Azide Modification)

วิธีเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สารละลายมาตรฐานโบแตสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล ละลายโบแตสเซียมไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
2. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลายโบแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.4 กรัม ไดโบแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
3. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 22.5 กรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (anhydrous CaCl_2) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
5. สารละลายเฟริกคลอไรด์ ละลายเฟริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.25 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตราไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัมในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
7. สารละลายอัลคาไล-ไอโอดด์-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide reagent) ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโบแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอดด์ (NaI) 135 กรัม (หรือโบแตสเซียมไอโอดด์ 150 กรัม) ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตรและละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

8. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (36 นอร์มัล)

4.2.8 น้ำเบ้ง ละลายเบ้ง 5 กรัม ในน้ำต้ม 800 มล. เติมน้ำให้ได้ 1 ลิตร
 ต้มให้เดือด 2 - 3 นาที ตั้งค้างคืนไว้แต่เช้า เติมกรดแซลิไซลิก (Salicylic acid) 1.25
 กรัม ต่อน้ำเบ้ง
 1 ลิตร

9. สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮ
 เดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 24.82 กรัมในน้ำต้มที่เย็นแล้ว เติมน้ำได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บ
 รักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัมต่อสารละลาย 1 ลิตร

10. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.0250 นอร์มัล เตรียมโดยเจือจางสาร
 ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล จำนวน 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บ
 รักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 1
 ลิตร

11. สารละลายมาตรฐานโบแตสเซียมไดโครเมต 0.0250 นอร์มัล ละลายโบแตสเซียม
 ไดโครเมตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จำนวน 1.226 กรัมต่อน้ำกลั่น
 1 ลิตร

12. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.025 นอร์มัล ละลายโซเดียมซัลไฟต์ปราศจากน้ำ
 (Na_2SO_3) 1.575 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

การคำนวณค่าบีโอดี (BOD)

$$\text{mg/l BOD}_5 = \frac{(\text{DO}_0 - \text{DO}_5)}{\% \text{ การเจือจาง}} \times 100$$

DO_0 = ค่า ดีโอ(DO) ของตัวอย่างที่ได้ทำการเจือจางแล้วในวันที่ 0

DO_5 = ค่า ดีโอ(DO) ของตัวอย่างที่ได้เจือจางแล้วในวันที่ 5

วิธีเตรียมสารเคมีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

ด้วย วิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux Method)

วิธีเตรียมสารเคมีเพื่อวิเคราะห์หา ค่าซีโอดี มีขั้นตอนการเตรียมดังต่อไปนี้

1. สารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล ละลายโพแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงหนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ปั่นยิ้งไว้ให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
2. กรดซัลฟูริกและซิลเวอร์ซัลเฟต ซิงซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป
3. สารละลายมาตรฐานเฟร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล ละลายเฟร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 19.6 กรัม ในน้ำกลั่นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1,10-ฟีแนนทรีน โมโนไฮเดรต (1,10-Phenanthroline Monohydrate, $\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1.485 กรัม และเฟร์รัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 695 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5. กรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) ใช้สำหรับป้องกันการรบกวนของไนไตรต์ (NO_2) ปริมาณที่ใช้คือ 10 มิลลิกรัม ต่อทุก ๆ 1 มิลลิกรัมของไนไตรต์
6. สารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium HydrogenPhthalate หรือ KHP) บด KHP เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลาย KHP ที่บดและอบแห้งแล้ว 425 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร
7. สารละลายกลูโคส ละลายกลูโคส 486.6 มิลลิกรัมในน้ำกลั่นแล้วเจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

การคำนวณหาค่า ซีโอดี

$$\text{mg/l COD} = \frac{(a - b) N \times 8000}{\text{ml Sample}}$$

ค่า ซีโอดี (COD) คือ ค่า Chemical Oxygen Demand

a เป็น มิลลิลิตร โพธิ์สแอมโมเนียมซัลเฟต

b คือ มิลลิลิตรของ โพธิ์สแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้โคเตเรตสารละลายมาตรฐาน

N คือ นอร์มัลลิตี้ของ โพธิ์สแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้โคเตเรตตัวอย่าง

แบบประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมกับเนื้อหาของกิจกรรมของบทปฏิบัติการ
วิทยาศาสตร์ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย

คำชี้แจง ให้ท่านพิจารณาว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมแต่ละข้อต่อไปมีความสอดคล้องสัมพันธ์กับกิจกรรม
ที่สร้างขึ้น จริงหรือไม่ ให้ท่านพิจารณาให้คะแนนดังต่อไปนี้

- + 1 ถ้าท่านแน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับกิจกรรม
- 0 ถ้าท่านไม่แน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมมีความสอดคล้องกับกิจกรรม
- 1 ถ้าแน่ใจว่าจุดประสงค์ของกิจกรรมไม่มีความสอดคล้องกับกิจกรรม

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	-1	
กิจกรรมที่ 1 การตรวจสอบ คุณภาพน้ำเบื้องต้น	1. นักเรียนสามารถใช้ทักษะและวิธีการทาง วิทยาศาสตร์ทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำ ในเบื้องต้นได้	.....	.....	.....	.....
	2. นักเรียนสามารถนำผลการตรวจสอบคุณภาพ น้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ มาใช้คาดการณ์ คุณภาพของน้ำนั้น ๆ ในอนาคตได้	.....	.....	.....	.....
	3. นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความสำคัญ ของการอนุรักษ์แหล่งน้ำ	.....	.....	.....	.....

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	-1	
กิจกรรมที่ 2 การบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการทาง ชีววิทยา	1. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการและวิธีการ บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ ออกซิเจนได้				
	2. นักเรียนสามารถอธิบายหลักการและวิธีการ บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบไม่ ใช้ออกซิเจนได้				
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของการบำบัด น้ำเสียด้วยวิธีการทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจน และแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้				
กิจกรรมที่ 3 การบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการทาง กายภาพ	1. นักเรียนสามารถอธิบายขั้นตอนและหลักการ ของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ				
	2. นักเรียนสามารถเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการทางกายภาพได้อย่างเหมาะสมกับ ประเภทของน้ำเสีย				
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียของการ บำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางกายภาพ เมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่น ๆ				

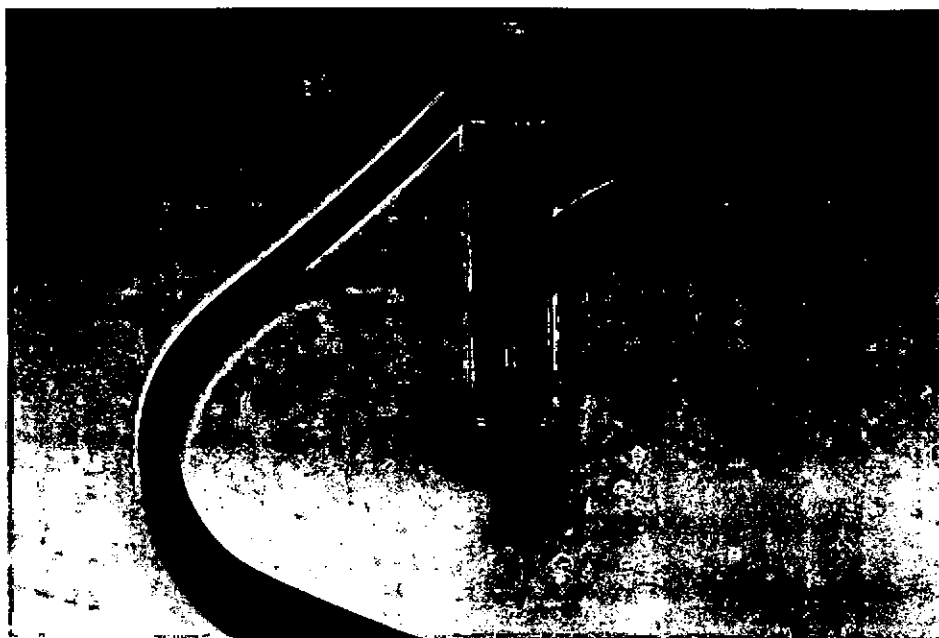
กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	-1	
กิจกรรมที่ 4 การบำบัดน้ำเสีย ด้วยวิธีการ ทางเคมี	1. นักเรียนสามารถอธิบายขั้นตอนและหลักการของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้	.....	.....	.....	.....
	2. นักเรียนสามารถเลือกใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการทางเคมีได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของน้ำเสีย	.....	.....	.....	.....
	3. นักเรียนสามารถสรุปข้อดีข้อเสียด้วยวิธีการทางเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบำบัดน้ำเสียวิธีอื่น ๆ	.....	.....	.....	.....
กิจกรรมที่ 5 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมา ใช้ประโยชน์ในการปลูกต้นไม้	1. นักเรียนสามารถอธิบายวิธีการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ในการกระบวนการปลูกต้นไม้ได้	.....	.....	.....	.....
	2. นักเรียนอธิบายถึงคุณค่าและประโยชน์ของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว	.....	.....	.....	.....
	3. นักเรียนสามารถอธิบายแหล่งที่มาของแร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วได้	.....	.....	.....	.....

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนที่พิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	-1	
กิจกรรมที่ 6 การสร้างถังดัก ไขมัน	1. นักเรียนสามารถนำคุณสมบัติเกี่ยวกับความหนาแน่นของน้ำและน้ำมันมาอธิบายหลักการทำงานของถังดักไขมันได้				
	2. นักเรียนสามารถอธิบายถึงผลเสียที่เกิดจากการมีคราบไขมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำได้				
	3. นักเรียนเกิดความตระหนักถึงความจำเป็นในการแยกไขมันออกจากน้ำทิ้ง				
	4. นักเรียนสามารถออกแบบถังดักไขมันรูปแบบต่างๆโดยใช้วัสดุที่เหลือใช้ที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้				
กิจกรรมที่ 7 การปรับปรุง คุณภาพน้ำ	1. นักเรียนสามารถหลักการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยวิธีเบื้องต้นมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียได้				
	2. นักเรียนสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการทำน้ำให้สะอาด วิธีการแยกสารเนื้อเดียว และการแยกสารเนื้อผสมมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย				

กิจกรรม	จุดประสงค์ของกิจกรรม	คะแนนพิจารณา			ข้อเสนอแนะ
		+ 1	0	-1	
	3. นักเรียนสามารถคิดริเริ่มในการนำหลักการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้				
กิจกรรม 8 การวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน	1.นักเรียนสามารถนำข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในชุมชนมาใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชนได้				
	2.นักเรียนสามารถนำเสนอแนวทางการทำโครงการวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นการตรวจสอบความเป็นไปได้เบื้องต้นของการวางแผนการจัดการน้ำเสียในชุมชน				
	3. นักเรียนสามารถใช้เทคนิคประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้คนในชุมชนร่วมมือกันรักษาน้ำในแหล่งน้ำให้มีคุณภาพดีตลอดไป				

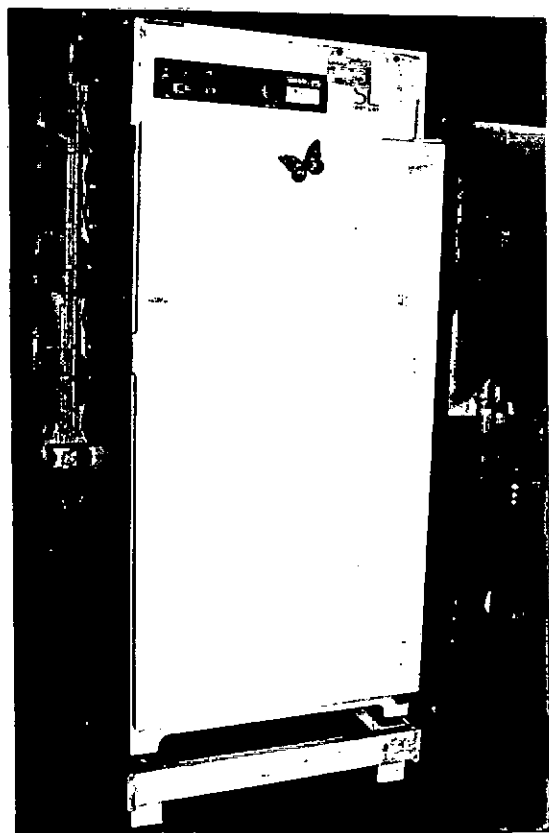
ภาคผนวก ค.

1. ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
2. ภาพแสดงการเผยแพร่ผลงาน



ภาพแสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหลของลมขนาด 0-15 ลิตร/นาที

(Air Flow Meter; DWYER, Model: RMA-26-ssv)

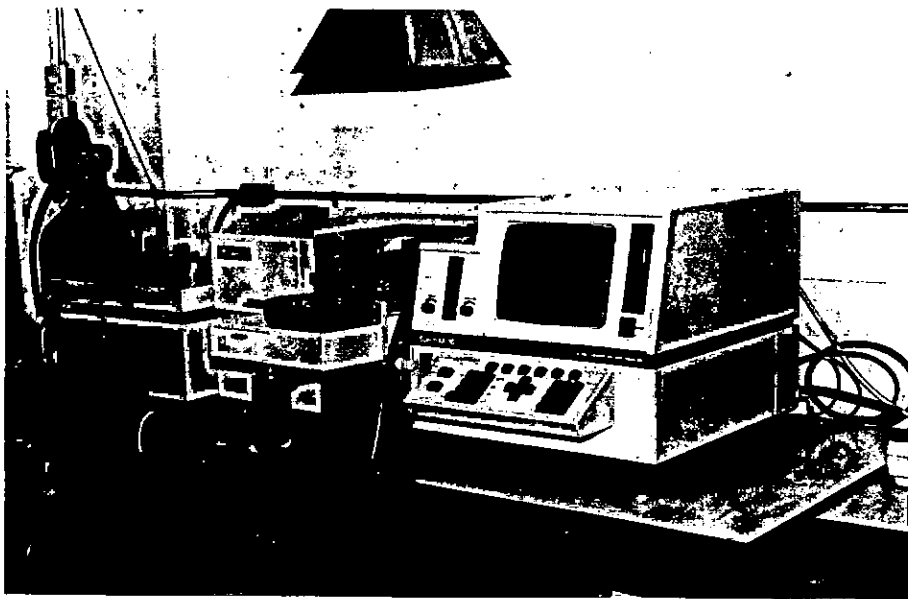


ภาพแสดงตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส

(Cooling Incubator ; SHEL LAB , Model:815)



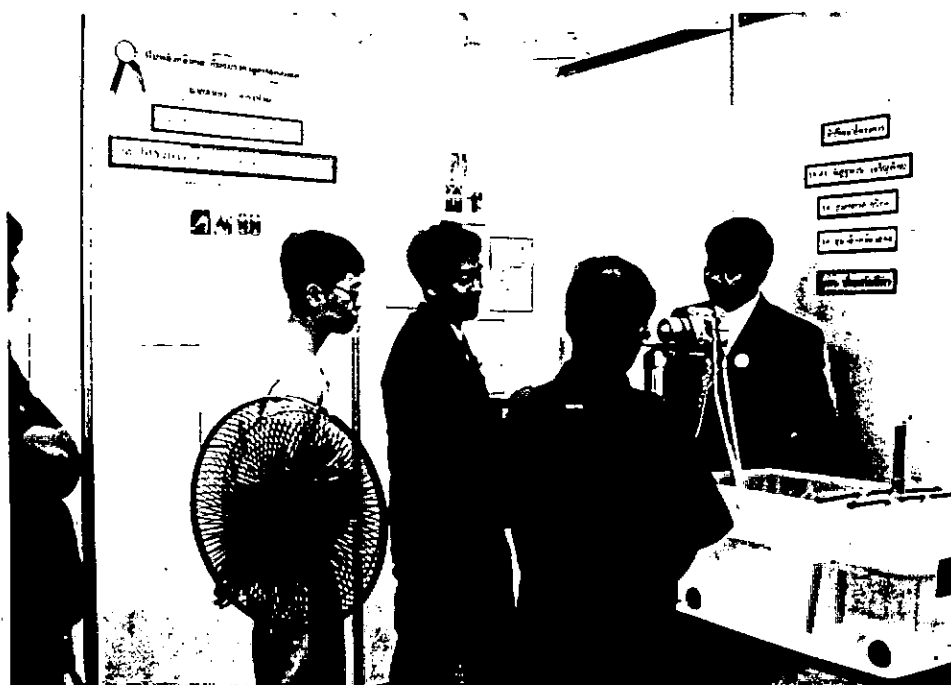
ภาพแสดง พีเอชมิเตอร์ (pH Meter;METTLER,Model:Delta 320)



ภาพแสดงเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer;PERKIN ELMER,Model:373)



ภาพแสดงการจัดนิทรรศการ เรื่อง"ปื้มพลังคลื่นและปื้มลมราคาถูกปลอดภัย" ณ ศาลาพระแก้ว
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 21 ตุลาคม 2539



ภาพแสดงการจัดนิทรรศการ เรื่อง"ปื้มพลังคลื่นและปื้มลมราคาถูกปลอดภัย" ในงาน
"วันนักประดิษฐ์ 2540" ณ ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลพลาซ่า วันที่ 2-6 กุมภาพันธ์ 2540



ภาพแสดงการบันทึกภาพเรื่อง"ปัมพลังคลื่น ปัมลมราคาถูกปลอดภัย และระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ใช้พลังงานของตัวเองบำบัดตัวเอง"เพื่อแพร่ภาพออกอากาศในรายการ "คนไทยวันนี้" ณ สถานีโทรทัศน์
สีทองทัพบกช่อง 7 วันที่ 4 มีนาคม 2540 เวลา 19.40 น



ภาพแสดงการรับรางวัลสิ่งประดิษฐ์ประเภทบุคคลทั่วไปจาก พณ.อ.พล เสนาณรงค์ องคมนตรี ใน
"งานวันนักประดิษฐ์ 2540" จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ณ ห้างสรรพสินค้า
เซ็นทรัลพลาซ่า วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2540

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ นายสนอง ทองปาน

เกิดวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2502

สถานที่เกิด 39 หมู่ 14 ตำบลบางม่วง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 39 หมู่ 14 ตำบลบางม่วง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี 11140

สถานที่ทำงานปัจจุบัน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ภาชีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2522 ประกาศนียบัตรวิชาการศึกษาชั้นสูง (ป.กศ.สูง)

วิทยาลัยครูธนบุรี กรุงเทพฯ

พ.ศ.2524 ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต (กศ.บ.)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน กรุงเทพฯ

พ.ศ.2537 ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพฯ

พ.ศ.2540 ปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต (กศ.ด.)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพฯ

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเอง
: การศึกษาเพื่อพัฒนาทบทวนการวิจัยการวิจัยให้สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมศึกษา

บทคัดย่อ

ของ

สนอง ทองปาน

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษาดุสิตบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

มีนาคม 2540

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยตามแนว "วิทยาศาสตร์-เทคโนโลยี-สิ่งแวดล้อม" มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียตามค่าพารามิเตอร์ 8 ค่า เพื่อศึกษาความสามารถในการนำพลังงานกลับมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสียและเพื่อนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษา

ในการศึกษาตามความมุ่งหมายดังกล่าว ผู้วิจัยได้สร้างระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานตัวเองบำบัดตัวเองขึ้นในพื้นที่ 7 x 7 เมตร ด้านติดคลองแสนแสบของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ระบบบำบัดฯ ที่สร้างขึ้นสามารถบำบัดน้ำเสียได้วันละประมาณ 2,844 ลิตร ผู้วิจัยได้ใช้ระบบบำบัดฯ ดังกล่าวทดลองบำบัดน้ำเสียภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ในระหว่างวันที่ 3 กรกฎาคม ถึง วันที่ 2 กันยายน 2539

ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเฉลี่ยตามค่าพารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ค่าดีไอ ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณโลหะหนัก (ได้แก่ บรอม ตะกั่ว และแคดเมียม) เท่ากับ 24.75°C , 7.28, 7.19 mg/l, 11.21 mg/l, 28.52 mg/l, 0.00 mg/l 0.0025 mg/l และ 0.0020 mg/l ตามลำดับ ค่าดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

สำหรับการนำพลังงานกลับมาใช้เป็นพลังงานในการเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่ามีความเป็นไปได้และมีประสิทธิภาพกล่าวคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (ค่าดีไอ) มีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 5.5 mg/l ส่วนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าดีไอโดยเฉลี่ย 6.87 mg/l ค่าดังกล่าวเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดโดยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้สัมพันธ์กับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาไว้ทั้งหมด 8 กิจกรรม

A STUDY OF EFFICIENCIES OF A WASTE WATER SELF-TREATMENT : A CASE STUDY
WITH IMPLICATIONS FOR DEVELOPING RELATED SCIENCE LABORATORIES
PERTINENT TO ENVIROMENTAL EDUCATION

AN ABSTRACT

BY

SANONG THONGPAN

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

March 1997

This research, a "Science-Technology-Environment" based one, was attempted to study wastewater treatment efficiency of a researcher - developed Wastewater Self - Treatment System (WSTS) on eight parameters, to study possibility of utilizing wave energy applied to the aeration process of the Aerobic Treatment System (ATS), a sub - unit of the WSTS, and to propose guidelines for developing high school science laboratories workable for environmental education.

To achieve the attempts, the WSTS was earlier developed and installed at a 7 x 7 meter site of Srinakharinwirot University, Prasanmitr campus adjoining the Saen-Saeb canal. The WSTS, capable of treating 2,844 liters of wastewater per day, was operated from July 3 to September 2, 1996.

The wastewater treated by the WSTS was found acceptable by the Office of National Environment Board (NEB) of Thailand on the eight parameters. The figures were 24.75 °C, 7.28, 7.19 mg/l, 11.21 mg/l, 28.52 mg/l, 0.00 mg/l 0.0025 mg/l and 0.0020 mg/l for temperature, pH, DO, BOD, COD, mercury content, lead content and cadmium content, respectively.

Utilization of wave energy applied to the aeration process of the ATS subunit was found possible and efficient. Increment of the DO value up to the average of 5.5 mg per liter and the average of the post-treated wastewater DO value of 6.87 mg per liter were the evidences. The values were acceptable regarding the NEB's standards.

Guidelines for developing high school science laboratories workable for environmental education were proposed through eight experimental activities.

3. การพัฒนาหลักสูตรและอุปกรณ์การสอน

4. การอบรมผู้สอนในทุก ๆ ระยะเวลา

5. เพิ่มมิติด้านสิ่งแวดล้อมในการสอนด้านวิชาชีพ และด้านเทคนิครวมทั้งการอบรมและพัฒนาจิตสำนึกของผู้สอน

6. สอนสิ่งแวดล้อมในระดับมหาวิทยาลัยรวมทั้งการปรับปรุงองค์กร และบุคลากรเพื่อการนี้ในสถาบันต่าง ๆ

7. การให้ความรู้แก่สาธารณชนโดยการใช้เทคโนโลยีทางสื่อชนิดต่าง ๆ

8. การสนับสนุนการอบรมในวิธีการทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

9. การพัฒนาสิ่งแวดล้อมศึกษาโดยความร่วมมือระดับนานาชาติและภูมิภาค

3. โครงการสิ่งแวดล้อมศึกษาในกลุ่มประเทศอาเซียน

โครงการสิ่งแวดล้อมศึกษาในกลุ่มประเทศอาเซียนมีวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปดังนี้ (ทวี หอมชง. 2537 : 57)

1. เพื่อให้เกิดความเข้าใจอันดีในความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมและลำดับของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

2. พัฒนาคุณค่าและค่านิยมโดยเฉพาะอย่างยิ่งความรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับการสงวนทรัพยากรธรรมชาติ และการเพิ่มคุณค่าสิ่งแวดล้อม

3. เพื่อให้เกิดความรู้ความสามารถในการวินิจฉัย การประเมิน และการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้

4. เพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมโดยการแสดงออกต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมและปฏิบัติการตามวิธีการที่ควรทำ

จากนั้นในปี 1990 ยูเนสโก (Unesco) ได้ทำการปรับปรุงเนื้อหาสิ่งแวดล้อมโดยจัดแบ่งเนื้อหาออกเป็น 11 เรื่อง ดังนี้ (Unesco. 1990)

- บทที่ 1 มโนทัศน์ของสิ่งแวดล้อมศึกษา
- บทที่ 2 โครงสร้างและบทบาทของระบบนิเวศ
- บทที่ 3 การหมุนเวียนของพลังงานในบรรยากาศ
- บทที่ 4 การหมุนเวียนของพลังงานและจักรของอาหารในระบบชีวภาพ
- บทที่ 5 พลวัตของประชากรในระบบนิเวศ
- บทที่ 6 ผลกระทบเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม : ปัญหาระดับโลก
- บทที่ 7 มลพิษ - ผลกระทบต่อมนุษย์และระบบนิเวศ
- บทที่ 8 ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศป่า : ผลสะท้อนถึงเศรษฐกิจ สังคมและ

วัฒนธรรม

- บทที่ 9 ผลกระทบของระบบนิเวศต่อทรัพยากรน้ำและระบบชีวภาพในน้ำ
- บทที่ 10 ผลกระทบของการใช้พลังงานและการทำเหมือง
- บทที่ 11 การจัดการสิ่งแวดล้อมในแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน
- บทที่ 12 การจัดการสิ่งแวดล้อมและการประเมินผลกระทบ

4. แนวทางการจัดสิ่งแวดล้อมศึกษาในประเทศไทย

ในประเทศไทยการจัดหลักสูตรสิ่งแวดล้อมศึกษาโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่อยู่ในระบบโรงเรียนและแบบที่อยู่นอกระบบโรงเรียน โดยในแบบแรกจะมีการให้การศึกษาระดับชั้นอนุบาล ประถมศึกษา มัธยมศึกษา และในระดับอุดมศึกษา ส่วนการศึกษาแบบนอกระบบนั้น ได้แก่ การให้การศึกษาล้อมรอบชุมชน โดยใช้ระบบการสื่อสารและโทรคมนาคมเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการนำเอาวิทยาการต่าง ๆ เผยแพร่ไปยังประชาชนทุกระดับทั่วประเทศ

เท่าที่ผ่านมากำหนดเนื้อหาวิชาทางด้านสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการด้วยกัน คือ (ทวี หอมขง. 2538 : 59)

แบบที่ 1 แบบกระจายเนื้อหาวิชาด้านสิ่งแวดล้อมออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วบรรจุลงไปในเนื้อหาของวิชาหลัก เช่น วิทยาศาสตร์และสังคมศึกษา

แบบที่ 2 คือการบรรจุความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมลงในหลักสูตร ในรูปของเนื้อหาที่เป็นวิชาการทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ปรัชญา และแนวคิดของวิชาสิ่งแวดล้อมอย่างครบถ้วน

โดยมีจุดมุ่งหมายว่าจะทำให้ผู้เรียนได้มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมตลอดจนรูปลักษณะที่แท้จริงของวิชานี้

5. เนื้อหาสิ่งแวดล้อมศึกษาในระดับมัธยมศึกษา

นักการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมทั่วโลก ได้พยายามกลั่นกรองเนื้อหาที่จะใช้สอนสิ่งแวดล้อมศึกษาด้วยความยากลำบาก และไม่มีที่ตกลงว่าเนื้อหาใดเหมาะสมหรือบริบูรณ์ที่สุด เนื่องจากสรรพสิ่งทุกอย่างในโลกมีความสัมพันธ์กันทั้งสิ้น ดังนั้นการจัดเนื้อหาเพื่อสอนในเวลาจำกัดจึงขึ้นอยู่กับหลักการที่จะต้องครอบคลุมแนวคิดรวบยอดเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นเรื่องสิ่งแวดล้อมในบ้าน, เรื่องสุขอนามัยของนักเรียน, เรื่องโลกกำลังร้อนขึ้น, เรื่องการตัดไม้ทำลายป่า, เรื่องการจัดการที่ดิน, หรือเรื่องคุณภาพชีวิตในปัจจุบันและในอนาคต

ในปัจจุบันการศึกษาสีงแวดล้อมที่กำหนดเป็นรายวิชาไว้อย่างชัดเจนมักจะเป็นรายวิชาที่อยู่ในหลักสูตรวิชาสังคมศึกษา เช่น ประชากรกับสิ่งแวดล้อม สิ่งแวดล้อมศึกษา เป็นต้น ส่วนในวิชาวิทยาศาสตร์ การสอนสิ่งแวดล้อมศึกษาได้มีเนื้อหาสอดแทรกอยู่ในรายวิชาต่าง ๆ เช่น เนื้อหาเรื่องน้ำเพื่อชีวิต ระบบนิเวศ โลกสีเขียว เป็นต้น หลักสูตรมิได้จัดแยกสิ่งแวดล้อมศึกษาออกมาเป็นสาขาวิชาเฉพาะ และยังมีปัญหาคือเรื่องการศึกษาเคลื่อนครูผู้สอนที่มีความรู้ทางด้านการสอนสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะ จึงเป็นการยากที่จะปลูกฝังความรู้ความเข้าใจและสร้างความตระหนักในสำคัญของสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของครูผู้สอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมศึกษาในปัจจุบันจะต้องหาวิธีการถ่ายทอดความรู้ความเข้าใจ เจตคติ ค่านิยมทางสิ่งแวดล้อมมาให้เกิดขึ้นกับเยาวชนทั้งหลายให้มากที่สุด (ปริญา นุตาลัย. 2535 : 195)

จากการปรับปรุงหลักสูตรในระดับมัธยมศึกษาในปี 2533 กระทรวงศึกษาธิการได้เปิดโอกาสให้สถานศึกษาในท้องถิ่นต่าง ๆ มีโอกาสปรับปรุงหลักสูตรให้เหมาะสมกับสภาพความต้องการของบุคคลในชุมชนนั้น ๆ โดยเฉพาะหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้มีการจัดการเรียนการสอนที่เอื้อต่อการเรียนรู้ในด้านสิ่งแวดล้อมศึกษา ทั้งในทางตรงและทางอ้อม ในทางตรงได้แก่การจัดกิจกรรมชุมนุมวิทยาศาสตร์ การจัดกิจกรรมชุมนุมนักเรียนสิ่งแวดล้อมรุ่นใหม่ การจัดทำโครงงานวิทยาศาสตร์ทางด้านสิ่งแวดล้อม การจัดค่ายวิทยาศาสตร์ การจัดค่ายอนุรักษ์

สิ่งแวดล้อม ฯลฯ ส่วนในทางอื่นได้แก่การปรับปรุงกิจกรรมการเรียนการสอนและการปรับปรุง
 บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับการสอนสิ่งแวดล้อมศึกษากำลังเป็นสิ่งที่ควรเร่งรีบ
 กระทำเป็นอย่างยิ่ง (ทวี พอมซง. 2538 : 61)

สมมติฐานของการวิจัย

1. น้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้พลังงานในตัวเองบำบัดตัวเองจะมี
 คุณภาพได้ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัย
2. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการตรวจสอบคุณภาพน้ำเบื้องต้นและการบำบัดน้ำเสีย
 มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ของกิจกรรมและเนื้อหาของกิจกรรมโดยภาพรวมทั้งฉบับ
 ไม่ต่ำกว่า 0.50