กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย และ รองศาสตราจารย์สมทรง อินสว่าง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและเสนอแนะในการจัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้ง 2 ท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช คณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้โอกาสทางการศึกษาที่มีค่ายิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ ด้านอำนวยการ และอื่น ๆ

ขอขอบพระคุณ นายแพทย์เชาวกิจ ศรีเมืองวงศ์ ผู้อำนวยการโรงพยาบาลชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก ที่ได้อนุญาตให้ใช้วัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษา ผู้อำนวยการสำนักสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 จังหวัดพิษณุโลก และ อาจารย์จำลอง ใจอิ่มศิล หัวหน้ากลุ่มงานวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย และคุณสัมฤทธิ์ ร่วมรักพัฒนา ผู้ดูแลระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ที่ได้อนุญาตให้ใช้ตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานและข้อมูลของโรงงานในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และภรรยา ที่ได้สนับสนุนการศึกษา และให้กำลังใจจนสามารถทำการวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

คุณประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่ผู้ที่สนใจการศึกษาทั้งมวล

พงศ์พิษณุ บุญดา

เมษายน 2548

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ผู้วิจัย นายพงศ์พิษณุ บุญดา **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา (1) รองศาสตราจารย์ ดร. ศริศักดิ์ สุนทรไชย (2) รองศาสตราจารย์ สมทรง อินสว่าง

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย น้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย น้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์อีเอ็มตามปริมาณน้ำเสีย และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองโดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 1 แห่ง ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก มาทดลองในแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ซึ่งประกอบด้วย การกำจัดน้ำมันและไขมัน การตกตะกอนขั้นต้นโดยบ่อเก็บกักที่มีการเติมอากาศ 4 – 8 ชั่วโมงต่อวัน และปล่อยให้ตกตะกอนขั้นสุดท้าย 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 4 การทดลอง แต่ละการทดลองใช้ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างแตกต่างกันจำนวน 4 ครั้ง ครั้งละ 16 ตัวอย่าง เพื่อหาค่า 4 พารามิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย น้ำมันและไขมัน ในการทดลองที่ 2 - 4 ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในอัตราส่วนจุลินทรีย์ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 10,000 มิลลิลิตร 15,000 มิลลิลิตร และ 20,000 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ 1 ใช้จุลินทรีย์ที่โรงงานใช้ประจำในการบำบัดในอัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อปริมาณน้ำเสีย 1 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 10,000 มิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด อย่างละ 16 ตัวอย่างเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสีย

ผลการศึกษาพบว่า (1) จุลินทรีย์อีเอ็มมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียตามปริมาณน้ำเสียในการทดลองที่ 2-4 ได้ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 7.6 7.6 และ 7.6 บีโอดีเฉลี่ย ร้อยละ 65.94 66.48 และ 61.85 สารแขวนลอย เฉลี่ย ร้อยละ 96.50 96.39 และ 95.42 และ น้ำมันและไขมันเฉลี่ย ร้อยละ 61.01 71.66 และ 65.19 ตามลำดับ (2) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง 4 พารามิเตอร์โดยจุลินทรีย์อีเอ็มทั้ง 4 การทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จุลินทรีย์อีเอ็มมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 4 พารามิเตอร์ตามตัวอย่างน้ำเสียที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ทั้งหมดยังไม่ได้ตามเกณฑ์ควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 พ.ศ.2539 ยกเว้นความเป็นกรดด่าง เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียด้วยการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการทดลองที่ 4 มีต้นทุนต่ำกว่าการทดลองอื่น ๆ

คำสำคัญ จุลินทรีย์อีเอ็ม ระบบเอเอส โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

Thesis title: AN APPLICATION OF EFFECTIVE MICROORGANISM IN AERATION TANK OF ACTIVATED SLUDGE SYSTEM FOR WASTEWATER TREAMENT FROM A SAUSAGE PRODUCT PRODUCTION FACTORY

Researcher: Mr. Phongpisanu Boonda; **Degree:** Master of Public Health (Industrial Environment Management); **Thesis advisors:** (1) Dr. Sarisak Soontornchai, Associate Professor; (2) Somsong Insawang, Associate Professor; **Academic year:** 2004

ABSTRACT

The purposes of this study were : (1) to study the efficiency of Effective Microorganism (EM) for reducing pH, biological oxygen demand (BOD), suspended solids, and grease & oil for wastewater treatment from a sausage product production factory in aeration tank of activated sludge system (AS) ; (2) to compare the efficiency of EM according to different wastewater quautity and wastewater collection duration for reducing BOD, suspended solids, and grease & oil for wastewater treatment from a sausage product production factory in aeration tank of AS.

This study was experimental research by using wastewater samples from a sausage product production factory in Phisanuloke Province which was designed as AS models. The model comprised removal of grease & oil from wastewater, preliminary sedimentation by Equalizing Tank with aeration for 4-8 hours per day and final sedimentation in 24 hours. Four experiments with four different wastewater collection duration each and 16 wastewater samples collected for each duration were conducted in this study to find 4 parameters including pH, BOD, suspended solids, and grease & oil. EM was used in the second to the fourth experiment with ratio of EM 1 ml per 10,000 ml, 15,000 ml and 20,000 ml of wastewater, respectively, whereas the first experiment used 1 mg of local microorganism of the factory per 10,000 ml of wastewater. Wastewater samples at before and after passing the treatment system , 16 samples each, were studied for the efficiency of EM for wastewater treatment.

The study showed that : (1) the efficiency of EM for wastewater treatment with different wastewater quantity of the second to the fourth experiment was average pH at 7.6, 7.6 and 7.6; average BOD of 65.94, 66.48 and 61.85; average suspended solids of 96.50, 96.39 and 95.42 and average grease & oil of 61.01, 71.66 and 65.19, respectively; (2) the efficiency of EM for wastewater treatment of 4 parameters was statistically insignificant difference. The efficiency of EM for wastewater treatment according to different wastewater collection duration of 4 parameters was statistically insignificant difference. .However, these results did not meet control level of wastewater quality from the factory according to the Promulgate of Ministry of Industry Issue No.3 B.E.2539. except pH. With comparison of the wastewater treatment cost, wastewater treatment by using EM in the fourth experiment had the cost lower than the other experiments.

Keywords : Effective microorganism (EM), Activated sludge system (AS), Sausage product production factory

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
กรอบแนวคิดการวิจัย 3
ขอบเขตการวิจัย 4
ข้อตกลงเบื้องต้น 5
ข้อจำกัดในการวิจัย 5
นิยามศัพท์เฉพาะ 5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 7
ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก 7
ระบบบำบัดน้ำเสีย 12
ระบบบำบัดแบบเอเอส 20
จุลินทรีย์อีเอ็ม 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 52
รูปแบบการวิจัย 52
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 52
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 52
วิธีดำเนินการทดลอง 67
การเก็บรวบรวมข้อมูล 61
การวิเคราะห์ข้อมูล 74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 75
ตอนที่ 1 การบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1 75
ตอนที่ 2 การบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2 79
ตอนที่ 3 การบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3 82
ตอนที่ 4 การบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4 86
ตอนที่ 5 การบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1- 4 90
ตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 93
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 125
สรุปการวิจัย 125
อภิปรายผล 128
ข้อเสนอแนะ 133
บรรณานุกรม 135
ภาคผนวก 143
ก ข้อมูลผลการทดลอง 144
ข One – Way ANOVA : Print Out 1 149
ค มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง 158
ประวัติผู้วิจัย 160

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำเสีย 73
ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 1 75
ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 2 79
ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 3 83
ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 4 87
ตารางที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ในน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 1-4 91
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 95
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 95
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 96
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 97
ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรด- ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 99
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรด- ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 100
ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง 101
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 102

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 103
ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง 104
ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 105
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดค่าสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 106
ตารางที่ 4.18 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดสารแขวนลอยของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง 107
ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพการบำบัด น้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 108
ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง 109
ตารางที่ 4.21 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง 110
ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรด- ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 111
ตารางที่ 4.23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเป็นกรด- ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 112
ตารางที่ 4.24 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 113
ตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 114
ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.27 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดบีโอดีของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 116
ตารางที่ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 117
ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 118
ตารางที่ 4.30 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดสารแขวนลอยของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 119
ตารางที่ 4.31 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 120
ตารางที่ 4.32 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 121
ตารางที่ 4.33 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง 122
ตารางที่ 4.34 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียในแบบจำลองระบบเอเอส 123
ตารางที่ 4.35 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกระหว่างการใช้จุลินทรีย์แบบเฉียบพลัน และจุลินทรีย์อีเอ็มในแบบจำลองระบบเอเอส 124

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตหมูยอ 9
ภาพที่ 2.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบกึ่งเท 17
ภาพที่ 2.3 ปริมาณเปรียบเทียบของจุลินทรีย์ตามคุณภาพของตะกอนเร่ง 21
ภาพที่ 2.4 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ 25
ภาพที่ 2.5 ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส 26
ภาพที่ 2.6 ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน 27
ภาพที่ 2.7 ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์ 28
ภาพที่ 3.1 ก ส่วนประกอบของหน่วยบำบัดในระบบเอเอส 54
ภาพที่ 3.1 ข หลักการของระบบเอเอส 55
ภาพที่ 3.1 ค ทิศทางการไหลของน้ำเสียในแบบจำลองระบบเอเส 56
ภาพที่ 3.1 ง แบบจำลองของระบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง 57
ภาพที่ 3.2 บ่อเก็บกักน้ำเสีย 58
ภาพที่ 3.3 บ่อเติมอากาศ 59
ภาพที่ 3.4 บ่อตกตะกอน 60
ภาพที่ 3.5 บ่อเก็บน้ำใส 61
ภาพที่ 3.6 บ่อรับน้ำทิ้ง 62
ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลอง 70
ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1 76
ภาพที่ 4.2 ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1 76
ภาพที่ 4.3 ค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1 77
ภาพที่ 4.4 ค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1 77
ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 1 78
ภาพที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2 79
ภาพที่ 4.7 ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2 80
ภาพที่ 4.8 ค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2 80
ภาพที่ 4.9 ค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2 81

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 2 81
ภาพที่ 4.11 ค่าความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3 83
ภาพที่ 4.12 ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3 84
ภาพที่ 4.13 ค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3 84
ภาพที่ 4.14 ค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3 85
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 3 85
ภาพที่ 4.16 ค่าความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4 87
ภาพที่ 4.17 ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4 88
ภาพที่ 4.18 ค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4 88
ภาพที่ 4.19 ค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4 89
ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 4 89
ภาพที่ 4.21 ค่าความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4 91
ภาพที่ 4.22 ค่าบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4 92
ภาพที่ 4.23 ค่าสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4 92
ภาพที่ 4.24 ค่าน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4 93
ภาพที่ 4.25 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 1-4 93

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้น้ำในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอาจก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสียที่มีความแตกต่างกันไปทั้งด้านปริมาณและลักษณะ ปริมาณน้ำเสียเหล่านี้หากมิได้มีการบำบัดที่ดีพอแล้ว เมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมย่อมก่อให้เกิดผลกระทบและความเสียหายต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นด้านสุขภาพอนามัย ระบบนิเวศวิทยา และสภาวะเศรษฐกิจสังคมได้

การจัดการน้ำเสียในโรงงานให้เกิดผลในทางปฏิบัติและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องดำเนินการในลักษณะบูรณาการที่จะต้องผสมผสานหลาย ๆ มาตรการเข้าด้วยกัน ทั้งในด้านกฎหมาย การจัดองค์กรบริหารจัดการ การควบคุมและดูแลระบบน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยต้องดำเนินการอย่างรอบคอบ เพื่อพิจารณาทางเลือกในการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม ครอบคลุมประเด็นต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม การสำรวจปริมาณและลักษณะน้ำเสีย ระบบบำบัดน้ำเสียทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ การกำจัดตะกอน การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย และการระบายน้ำทิ้ง

โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทที่กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น หมูยอ กุนเชียง เป็นต้น จำเป็นต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก ผลที่ตามมาก็คือน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตย่อมมีมากตามไปด้วย และน้ำทิ้งเหล่านี้มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ดังนั้นเมื่อระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงเป็นสาเหตุที่สำคัญยิ่งในการก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

ระบบบำบัดนำเสียที่ทางโรงงานใช้เป็นแบบเอเอส (Activated Sludge ; AS) ซึ่งต้องมีผู้ดูแลระบบที่มีความชำนาญสูง จึงจะทำให้ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบดังกล่าวต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษาระบบสูง ซึ่งเป็นภาระที่โรงงานต้องแบกรับไว้ตลอดไป และถ้าระบบบำบัดไม่มีประสิทธิภาพด้วยแล้ว ยิ่งทำให้ต้องมีภาระเพิ่มขึ้นกับปัญหาที่เกิดขึ้นในหลาย ๆ ประเด็น เช่น ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การร้องเรียนของประชาชนจากผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อสุขภาพอนามัย เป็นต้น ซึ่งถ้าปัญหาดังกล่าวไม่มีการดำเนินการแก้ไขแล้วก็จะส่งผลกระทบถึงการดำเนินธุรกิจในที่สุด

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่ทันต่อเหตุการณ์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคิดค้นหาแนวทางแก้ไข ซึ่งสิ่งที่น่าจะดำเนินการได้ และเป็นไปได้คือ การปรับปรุงระบบที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย ลดผลกระทบต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น ธุรกิจดำเนินต่อไปด้วยความมั่นคง จุลินทรีย์อีเอ็ม (Effective Microorganisms ; EM) เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายจำพวกสารอินทรีย์ได้โดยไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย มีประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่น ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม มีราคาถูก จึงคิดว่าจะนำมาประยุกต์ในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่เดิม แทนการบำบัดน้ำเสียด้วยแบคทีเรียที่ต้องมีการเติมอากาศในการบำบัดบริเวณบ่อเติมอากาศ โดยศึกษาถึงประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็ม ตามปริมาณ และระยะเวลาการย่อยสลายว่ามีความเหมาะสมที่ ปริมาณ และระยะเวลาเท่าใด ในการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์อีเอ็มมาใช้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

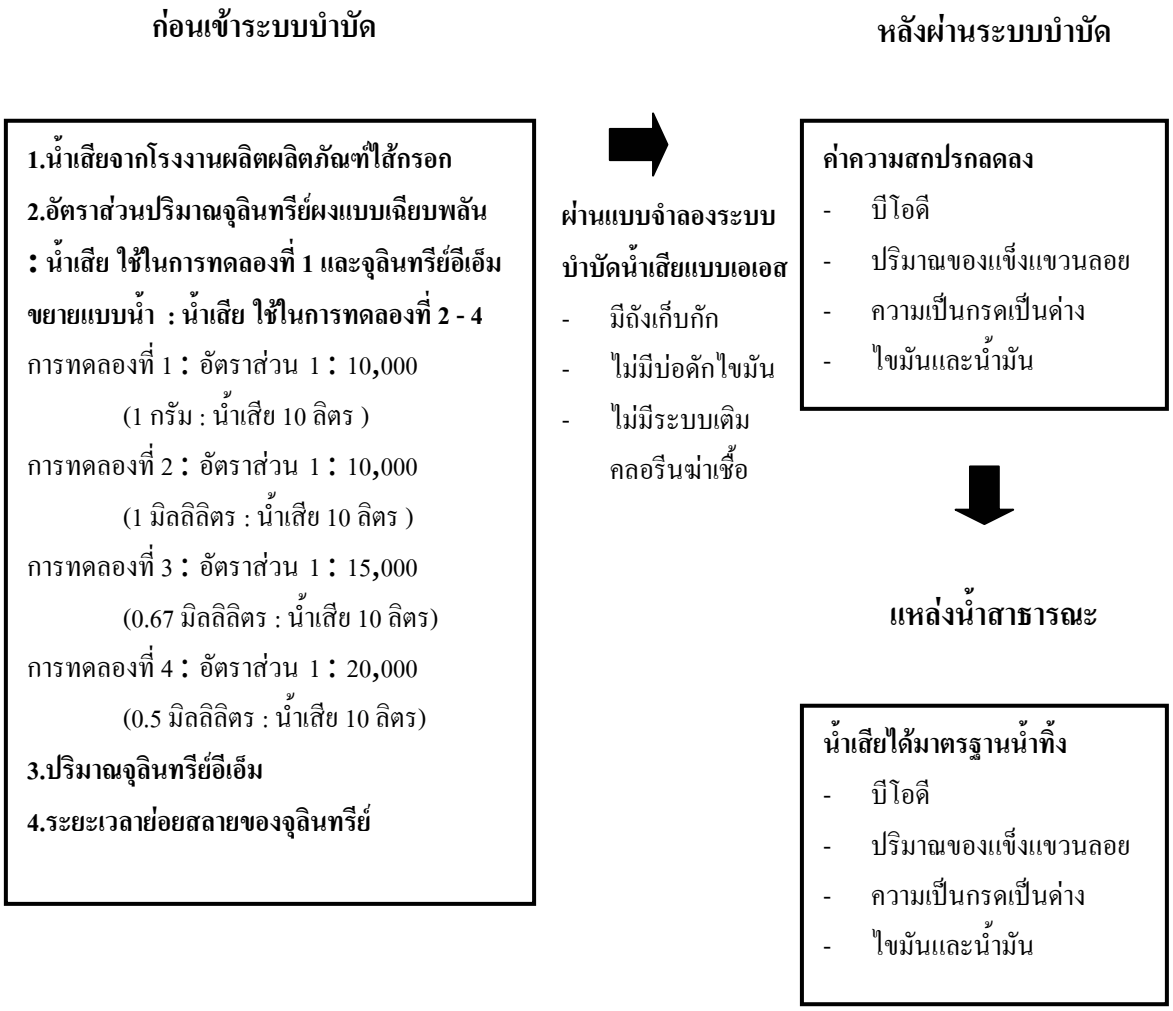
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

2.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน โดยจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

2.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม ตามปริมาณ และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

3. กรอบแนวคิดการวิจัย



4. สมมติฐานการวิจัย

4.1 จุลินทรีย์อีเอ็มใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

4.2 ปริมาณที่ต่างกันของจุลินทรีย์อีเอ็มมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

4.3 คุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานที่แตกต่างกันมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม

5. ขอบเขตของการวิจัย

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแห่งหนึ่งในเขต อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งมีระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส เก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบจำลอง จากถังผสมรวม และเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 ด้วย จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน และจุลินทรีย์อีเอ็มในถังน้ำทิ้ง

5.1 ตัวแปรในการวิจัย

5.1.1 ตัวแปรต้น คือ ระยะเวลาในการบำบัดของจุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันและจุลินทรีย์อีเอ็ม ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยเข้าในถังเติมอากาศ และปริมาณจุลินทรีย์และจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอสในความเข้มข้นต่าง ๆ กันคือ

1) ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันต่อน้ำเสีย เท่ากับจุลินทรีย์ 1 กรัม / น้ำเสีย 10 ลิตร (1 กรัม : 10,000 มิลลิลิตร)

2) ความเข้มข้นของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อน้ำเสีย เท่ากับ จุลินทรีย์อีเอ็ม 1 มิลลิลิตร/น้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร:10,000 มิลลิลิตร)

3) ความเข้มข้นของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อน้ำเสีย เท่ากับ จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.67 มิลลิลิตร/ น้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร : 15,000 มิลลิลิตร)

4) ความเข้มข้นของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อน้ำเสีย เท่ากับ จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.5 มิลลิลิตร/ น้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร : 20,000 มิลลิลิตร)

5.1.2 ตัวแปรตามที่ศึกษา

1) คือ ค่าความสกปรกของน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัด (ความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และ น้ำมันและไขมัน)

2) ต้นทุนของจุลินทรีย์และจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสีย

6. ข้อตกลงเบื้องต้น

6.1 ระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสทำการทดลอง

6.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย มาทำการทดลองจากโรงงาน เก็บจากบ่อผสมรวมย่อย โดยช่วงเวลาการเก็บ ตามช่วงเวลาของการผลิตของโรงงานที่แตกต่างกัน และเป็นการเก็บแบบสุ่ม โดยถือว่าตัวอย่างนั้นได้ผสมกันเป็นตัวอย่างเดียวกัน

6.3 เติมจุลินทรีย์อีเอ็ม โดยการเทราดทุกวัน

7. ข้อจำกัดในการวิจัย

7.1 มีบ่อเก็บกัก (Equalizing tank) และมีการเติมอากาศเป็นช่วง ๆ (น้ำที่เก็บมาจากโรงงานเป็นน้ำร้อน)

7.2 ไม่ได้ทำการทดลองกลางแจ้ง

7.3 ไม่มีบ่อดักไขมัน

7.4 ไม่มีระบบเติมคลอรีนฆ่าเชื้อ

8. นิยามศัพท์เฉพาะ

8.1 ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียที่จะลดค่าความสกปรกได้ ซึ่งใช้ค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน เป็นตัวบ่งชี้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

8.2 น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิต และน้ำใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ปล่อยทิ้งลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ฯ และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

8.3 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก หมายถึง ไส้กรอก กุนเชียง และ สิ่งที่มีลักษณะคล้ายไส้กรอก

8.4 จุลินทรีย์อีเอ็ม หมายถึง กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคนิคทางชีวภาพรวบรวมเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์หมวดสร้างสรรค์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ช่วยปรับปรุงสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น

8.5 จุลินทรีย์หัวเชื้อ หรือ จุลินทรีย์อีเอ็มสด หมายถึงจุลินทรีย์อีเอ็มจากโรงงานผลิตหรือผู้จำหน่ายที่ยังไม่ได้แปรสภาพ

8.6 จุลินทรีย์ขยายแบบน้ำ หมายถึง จุลินทรีย์อีเอ็มจากโรงงานผลิต หรือผู้จำหน่ายที่มีการแปรสภาพ โดยการนำมาผสมกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อให้ได้ปริมาณจุลินทรีย์อีเอ็มที่มากขึ้น

8.7 ระบบเอเอส เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) เป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนปริมาณ และระยะเวลาย่อยสลายที่เหมาะสมของจุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำในการใส่เพื่อบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

9.2 ระบบบำบัดน้ำเสียระบบเอเอสมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ลดค่าใช้จ่าย ด้าน ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบ ค่าบำรุงรักษาระบบ การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ดูแลระบบซึ่งไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ผู้มีความชำนาญมาก และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้มาตรฐานตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

9.3 สามารถนำอัตราส่วนปริมาณ และระยะเวลาย่อยสลายที่เหมาะสมของจุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำไปประยุกต์กับน้ำเสียที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ การศึกษาค้นคว้าวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วยเนื้อหาด้านผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดแบบเอเอส และจุลินทรีย์อีเอ็ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

1.1 อุตสาหกรรมหมูยอ

หมูยอเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อพื้นบ้านชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ วัตถุดิบที่ใช้ คือ เนื้อหมู มันแข็ง พริกไทย เกลือป่น แป้งมัน โซดาไบคาร์บอเนต และน้ำแข็ง (นฤดล บุญ – หลง 2532 : 51 – 52) การผลิตหมูยอส่วนใหญ่ดำเนินการในระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน จึงมีส่วนผสมแตกต่างกันออกไปบ้าง และยังใช้วิธีทำหมูยอแบบพื้นบ้านอยู่ เช่น ดังตัวอย่าง ที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1

ส่วนผสม

เนื้อหมูแดง	½	กิโลกรัม
อบเชยป่น	½	ช้อนชา
ลูกจันทร์ป่น	½	ช้อนชา
พริกไทยป่น	½	ช้อนชา
เกลือป่น	1½ – 2	ช้อนชา
ดินประสิวป่น	½	ช้อนชา
แป้งมัน	9	ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

1) ใช้ไม้ทุบเนื้อหมูให้ละเอียด ซับน้ำให้แห้ง

2) มันหมูแข็งหั่นชิ้นเล็ก ๆ

3) ผสมหมูกับส่วนผสมทั้งหมด นวดให้เหนียว ฉีกใบตองขนาด 8 นิ้วฟุต ซ้อนกัน 3 – 4 ชั้นใส่หมูห่อให้กลม ปิดหัวท้ายให้มิด มัดด้วยเชือกให้แน่นเป็น 3 เปลาะ นำไปต้มให้สุกแล้วแขวนไว้ให้พอเย็นสนิท

ตัวอย่างที่ 2

ส่วนผสม

เนื้อหมู	2 กิโลกรัม
มันแข็ง	0.6 กิโลกรัม
น้ำปลา	120 มิลลิลิตร
พริกไทย	6 กรัม
หอม	1.2 กรัม
ผงชูรส	5 กรัม
ฟอสเฟต	6 กรัม

วิธีทำ

1) นำเนื้อหมูมาบดโดยใช้เครื่องบดเนื้อ

2) นำมันแข็งบดโดยใช้เครื่องบดเนื้อ เช่นกัน บดให้ละเอียด

3) นำเนื้อหมู และมันแข็งที่บดแล้วแยกกันไปแผ่ในถาดเก็บ แช่ประมาณ 30 นาที

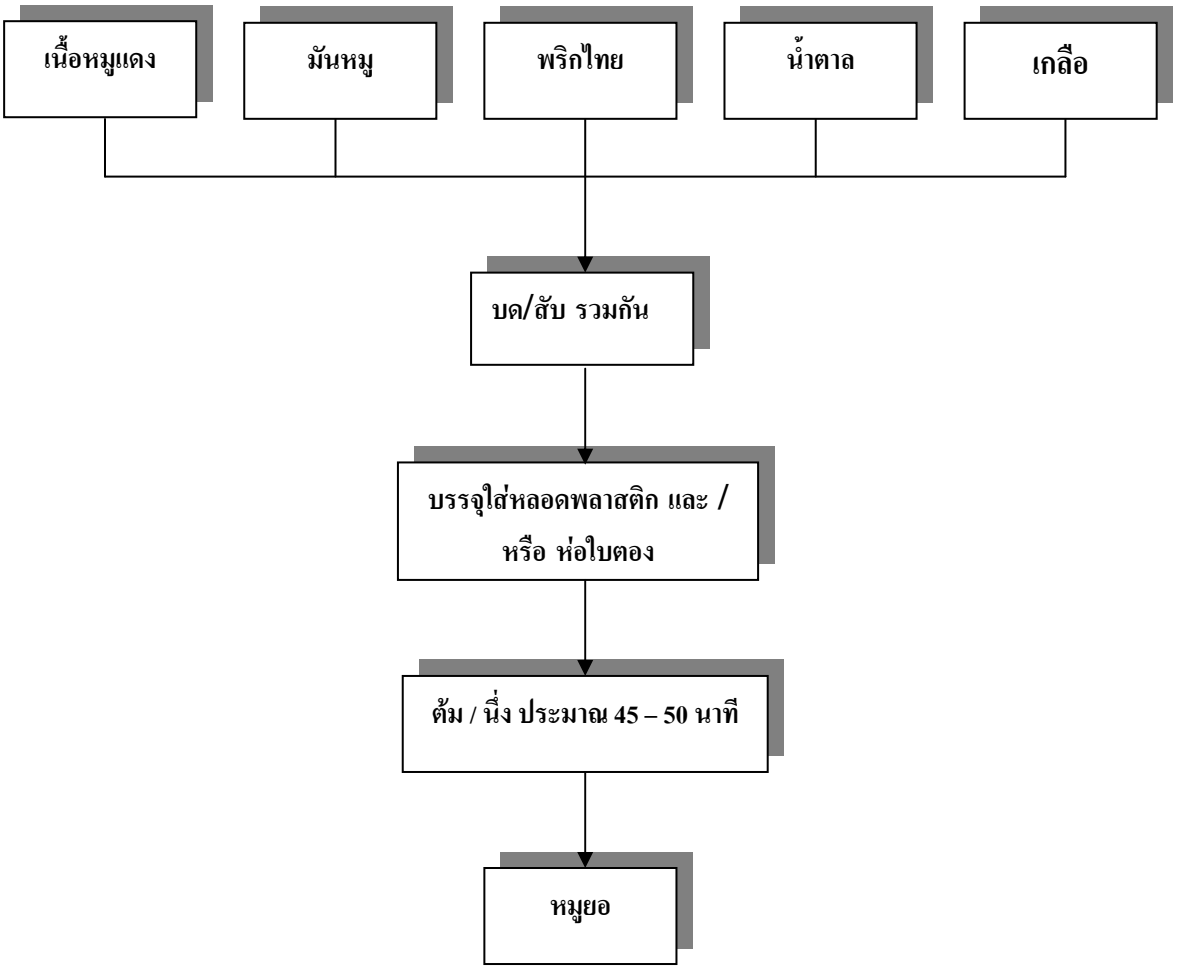
4) นำเนื้อหมูมาบดสับผสมในเครื่องสับละเอียด เติมเกลือและน้ำแข็งทีละน้อยจนเหนียวเป็นยาง เติมเครื่องปรุง อื่น ๆ ลงไป

5) เติมมันแข็ง จากนั้นสับผสมต่อจนเหนียวดี

6) นำยัดใส่กระบอกที่รองด้วยถุงพลาสติก

7) นำไปนึ่งในหม้อนึ่ง ประมาณ 45 นาที แล้วนำออกแช่ในน้ำเย็น

8) เมื่อเย็นแกะออกจากพิมพ์ แล้วทำการบรรจุต่อไป



ภาพที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตหมูยอ

1.2 อุตสาหกรรมกุนเชียง

กุนเชียงเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อหมูอีกชนิดหนึ่งที่ใช้เกลือ และกรรมวิธีทำแห้งเพื่อช่วยในการเก็บรักษาไว้ได้นาน ไม่เสียง่าย (นฤดล บุญ – หลง 2532 : 45 – 46) กุนเชียงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด มี 2 แบบ คือ

1.2.1 กุนเชียงแบบกวางตุ้ง มีส่วนผสมของเนื้อแดงมาก มีมันน้อย ส่วนผิวนอกจะเหี่ยวย่น เมื่อจับดูจะรู้สึกค่อนข้างแห้ง มีรสเค็มมากกว่ารสหวาน เมื่อนำมาประกอบอาหารจะแข็งกว่ากุนเชียงแบบแต้จิ๋ว และราคาแพงกว่า

1.2.2 กุนเชียงแบบแต้จิ๋ว มีส่วนผสมของเนื้อแดงน้อยกว่ากุนเชียงแบบกวางตุ้ง ผิวจะเรียบจับดูจะรู้สึกนุ่มมือ มีรสหวานนำ เมื่อนำมาประกอบอาหารจะไม่แข็งและราคาถูกกว่า วัตถุดิบที่ใช้ คือ หมูเนื้อแดง มันหมูแข็ง น้ำตาลทราย เกลือป่น ผงผะโล้ ผงเพรก (อาจใช้ดินประสิว โปตัสเซียมไนเตรต แทนผงเพรกก็ได้) และไส้บรรจุส่วนผสม

ไส้บรรจุส่วนผสม แบ่ง เป็น 2 ชนิด คือ

1) ไส้ธรรมชาติ ได้มาจากลำไส้เล็กของหมู โดยนำไส้สดมาลอกเยื่อหุ้มลำไส้ชั้นนอกออกให้หมด ใช้มือรูดเศษอาหาร และเมือกในลำไส้ออกให้เกลี้ยง กรอกนำผ่านเข้าในลำไส้โดยสะอาด โดยใช้ปลายข้างหนึ่งของลำไส้สวมเข้ากับก็อกน้ำ เปิดน้ำให้ไหลผ่าน กลับลำไส้เอาเยื่อชั้นในออกข้างนอก วางลงบนเขียง ใช้สันมีด หรือผิวไม้ไผ่ขูดเยื่อลำไส้และเมือกออกให้หมด ล้างให้สะอาด แล้วผึ่งให้แห้ง หมักเกลือป่น บรรจุในไหปากแคบ ๆ ปิดไม่ให้อากาศเข้า เก็บไว้ใช้ต่อไป เมื่อต้องการใช้เอาออกมาล้างน้ำให้สะอาด

ถ้าต้องการเก็บเป็นไส้แห้ง ไม่ต้องหมักเกลือ เมื่อล้างเรียบร้อยจะเป่าลมลงในลำไส้โดยขมวดปลายข้างหนึ่ง และใช้ปากเป่าให้ลมเข้าไปจนพอง ขมวดอีกข้างหนึ่งผึ่งแดดจัด ๆ จนแห้ง แล้วรีดออกพับเก็บไว้เป็นม้วน ๆ เมื่อต้องการใช้เอาลงอุ่นน้ำพอเปียก จะอ่อนตัวแล้วยัดได้ทันที

ข้อเสียของไส้ธรรมชาติคือ จะมีขนาดของลำไส้ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เสียเวลาในการตกแต่งและดูไม่สวยงาม

2) ไส้สังเคราะห์ ทำจากสารพวกคอลลาเจน ซึ่งรับประทานได้โดยไม่เกิดอันตราย แต่มีราคาแพงกว่าไส้ธรรมชาติ ข้อดี คือ ใช้ได้ง่ายมีขนาดสม่ำเสมอ มีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำ และเหมาะที่จะใช้กับเครื่องผูกอัตโนมัติ

เครื่องมือที่ใช้

1) เครื่องหั่นมัน สำหรับหั่นมันแข็งโดยการนมันไปแช่แข็งก่อน แล้วใช้เครื่องหั่นออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆอาจใช้มีดหั่นแทนก็ได้

2) เครื่องบดเนื้อ มีขนาดแผ่นตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร จะใช้บดเนื้อหมูที่หมักแล้วด้วยเกลือ หรืออาจจะใช้มีดสับให้ละเอียด

3) เครื่องนวดเนื้อ หรือใช้มือนวด เพื่อให้เนื้อเกาะตัวกัน

4) ถังบรรจุ สำหรับใส่ส่วนผสมที่ได้ เพื่อจะทำการบรรจุลงในไส้

5) เตาอบ ในการทำกุนเชียงจะใช้อุณหภูมิในการอบ 60 ^{0}ซ เป็นเวลา 12 – 16 ชั่วโมง

ส่วนผสม

หมูเนื้อแดง	8	กิโลกรัม
มันหมูแข็ง	2	กิโลกรัม
น้ำตาลทราย	1.5	กิโลกรัม
เกลือป่น	200	กรัม
ผงผะโล้	30	กรัม
ผงเพรก	20	กรัม

(อาจใช้ดินประสิว หรือโปตัสเซียมไนเตรตแทนผงเพรกได้ ปริมาณที่ใช้ไม่เกิน 0.2 กรัม ต่อหมูเนื้อแดง 1 กิโลกรัม)

วิธีทำ

1) นำหมูเนื้อแดงมาหั่นเป็นก้อน ๆ ขนาดพอประมาณ

2) ผสมเกลือ ผงเพรก ลงไปคลุกเข้ากับเนื้อหมู หมักทิ้งไว้เป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมง

3) หั่นมันแข็งเป็นชิ้นเล็ก ๆ

4) นำเนื้อหมูที่หมักแล้ว มาบดด้วยเครื่องบด หรือใช้มีดสับให้ละเอียด แล้วนำมาคลุกกับเครื่องปรุงที่เหลือ คือ น้ำตาลทราย ผงผะโล้ นวดจนเนื้อเข้ากัน และเกาะตัวกันจนกระทั่งมีลักษณะเหนียวขึ้น

5) ใส่มันหมูที่หั่นไว้แล้วลงไปคลุกให้มันหมูกระจายจนทั่ว

6) นำเนื้อส่วนผสมที่ได้บรรจุลงในถัง ต้องบรรจุให้แน่นเพื่อทำการบรรจุลงในไส้ต่อไป (หากไม่มีถังบรรจุใส่ จะบรรจุเนื้อลงในไส้ได้โดยใช้กรวยกรอกน้ำช่วยในการอัด)

7) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 ^{0}ซ ประมาณ 12 – 16 ชั่วโมง ถ้าเป็นกุนเชียงขนาดใหญ่จะต้องนำไปตากแดดต่ออีก 1 – 2 วัน เมื่อแห้งแล้วนำมาผูกเป็นคู่ ๆ

การบรรจุเนื้อกุนเชียงใส่ในไส้หมู

การป้อนเนื้อหมูใส่ในลำไส้ ถ้าทำเพียงจำนวนเล็กน้อย จะใช้กรวยสังกะสี สอดเข้าไปในลำไส้ แล้วใช้นิ้วมือป้อนก็ได้ แต่ถ้าทำเป็นจำนวนมาก วิธีป้อนด้วยมือไม่สะดวก สิ้นเปลืองเวลามาก ทางที่ดี และสะดวกควรป้อนด้วยเครื่องบดเนื้อโดยทำกรวยสังกะสี ขนาดของปากกรวยจะต้องให้ได้ขนาดเดียวกับขนาดฝาเกลียวเครื่องบด ส่วนปลายกรวยให้ได้ขนาดกับลำไส้และยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ในการประกอบ ให้หมุนเกลียวเอาแว่นเครื่องบดและใบมีดออกแล้ว เอากรวยสวมแทน เอาเนื้อหมูป้อนลงในเครื่องบด แล้วหมุนให้เครื่องบดส่งเนื้อหมูมาที่ปลายกระบอกกรวย เอาลำไส้สวมเข้ากับปลายกรวย รูดให้ลำไส้เข้าหุ้มกับปลายกรวยให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือจนหมดความยาวของลำไส้ ขมวดปลายสุดของลำไส้ แล้วหมุนเครื่องบดป้อนเนื้อเข้าลำไส้ต่อไป เมื่อป้อนเนื้อหมูเข้าไส้เรียบร้อยแล้ว ขมวดปลายสุดของลำไส้ทางหนึ่ง ตกแต่งและรีดให้ขนาดได้เท่ากันหมด มัดเป็นท่อน ๆ ด้วยเชือกปอ สักเอาลมออก การผึ่งอาจใช้แสงแดดหรือใช้ความร้อนจากเตาอบก็ได้

2. ระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียสามารถจำแนกตามหลักเทคนิคที่นำมาใช้คือ การบำบัดทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยการบำบัดน้ำเสียที่สมบูรณ์มักมีการรวมกันของหน่วยบำบัดทั้งสาม (นิรุติ คูณผล 2542 : 23 -26)

ในการบำบัดน้ำเสีย การรวมหน่วยบำบัดข้างต้นเข้าทำงานร่วมกันจะเรียกว่า *“ ระบบบำบัด ”* ซึ่งในที่นี้จะเน้นระบบทางชีวภาพเป็นหลัก เนื่องจากน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์เป็นหลัก ซึ่งระบบบำบัดที่จะกล่าวถึงนี้เป็นระบบบำบัดขั้นที่สอง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

ระบบบำบัดแบบใช้อากาศที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีอยู่ 5 ระบบ คือ

1) ระบบบ่อผึ่งน้ำ (Waste Stabilization Ponds)
2) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)
3) ระบบเอเอส (Activated Sludge Process ; AS)
4) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter ; TF)
5) ระบบอาร์บีซี (Rotating Biological Contactor ; RBC)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ

ระบบบำบัดแบบนี้ ไม่ใช้อากาศ ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 ระบบ คือ

1) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Process ; UASB)
2) ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

2.1 การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากในงานบำบัดน้ำเสียเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ วัตถุประสงค์หลักของการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพคือ การกำจัด หรือลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้ได้มากที่สุด โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารเหล่านี้ เพื่อเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของก๊าซต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (การบำบัดแบบไร้อากาศ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ) (ไตรภพ อินทุใส และคณะ 2546:208) ดังนั้นในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับระบบ ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางด้านชีวเคมี (Biochemistry) และจุลชีววิทยา (Microbiology) มาช่วยสนับสนุนให้เข้าใจลึกซึ้ง

2.2 จุลชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา (Biological Treatment) เป็นวิธีที่นำเอาจุลินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย มาย่อยสลายสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานในการดำรงชีวิตจากการย่อยสลายแล้ว จะเกิดเป็นตะกอน (Sludge) และน้ำส่วนใส ซึ่งตะกอนจะมีทั้งเซลล์ของแบคทีเรียที่ตาย และสารประกอบต่าง ๆ และน้ำส่วนใส จะมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง

2.2.1 จุลินทรีย์

1) แบคทีเรีย มีเซลล์เดียว มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น จะใช้พลังงาน และสารประกอบต่าง ๆในการดำรงชีวิต

2) รา มีหลายเซลล์ เป็นเส้นใยยาว ๆ เจริญได้ดีในที่ที่มีความชื้นสูง ถ้าความเป็นกรด - ด่างต่ำกว่า 6 จะเจริญได้ดี ใช้กับระบบการบำบัดน้ำเสียที่ใช้ แบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic Bacteria) โดยที่แบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ เกาะติดกับตัวกลาง (Fixed Film) (Trickling filter) และย่อยสลายสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรต (แป้ง และน้ำตาล) ได้ดี

3) สาหร่าย มีเซลล์เดียว เห็นได้ชัด สาหร่ายและแบคทีเรียจะอยู่แบบพึ่งพาอาศัยกันคือ

แบคทีเรีย ⟶ ย่อยสลายสาร ⟶ CO_2

(สาหร่ายจะได้ประโยชน์)

สาหร่าย ⟶ สังเคราะห์แสง ⟶ O_2

(แบคทีเรียจะได้ประโยชน์)

4) โปรโตซัว มีเซลล์เดียว มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เคลื่อนที่ได้ โปรโตซัว ส่วนมากในระบบจะกินแบคทีเรียที่ตายแล้ว และที่ยังมีชีวิต

5) ไวรัส มีขนาดเล็กสุด ไม่มีเซลล์ เป็นตัวทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้มีผลต่อระบบ ทำให้เกิดโรค

2.3 หลักการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ใช้กิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นหลัก ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุดคือ แบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียมีวิธีดำรงชีพที่แบ่งได้กว้าง ๆ เป็น 2 พวกคือ พวกที่ใช้ออกซิเจน และพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน (นิรุติ คูณผล 2542 : 20-21) ดังนั้นการบำบัดจึงแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ตามกิจกรรมของแบคทีเรียที่ใช้คือ

1) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาโดยการเติมออกซิเจน (Aerobic biological treatment) ใช้กิจกรรมของแบคทีเรียที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจนอิสระ (Aerobic bacteria)

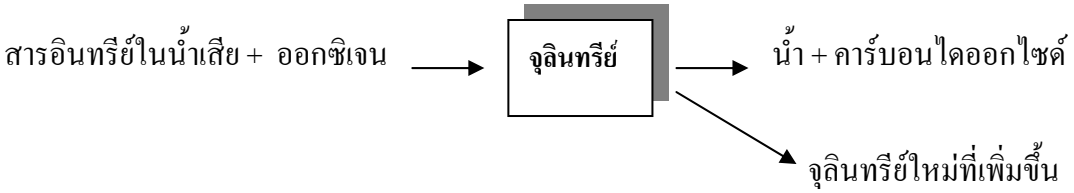
2) การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic biological treatment) ใช้กิจกรรมของแบคทีเรียที่ดำรงชีพ โดยไม่มีออกซิเจน(Anaerobic bacteria)

สำหรับกลุ่มแบคทีเรียพวกอยู่ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนได้(facultative bacteria) นั้น ปรับตัวอยู่ได้ทั้ง 2 ระบบในแต่ละระบบยังสามารถแบ่งตามลักษณะการเลี้ยงจุลินทรีย์อีก 2 ระบบคือ

1) แบบจุลินทรีย์แขวนลอย (suspended growth) เลี้ยงจุลินทรีย์ให้แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย

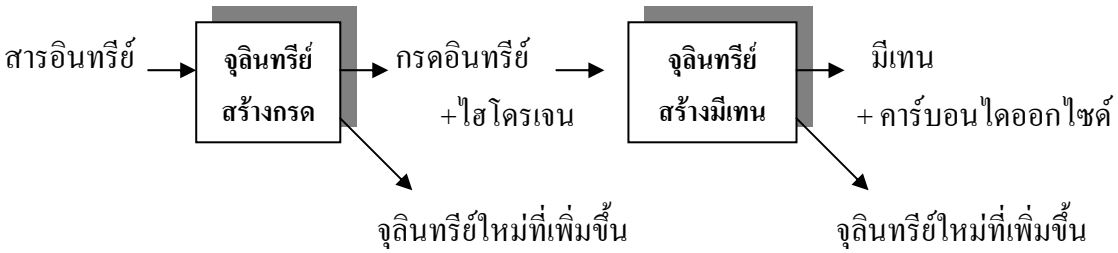
2) แบบจุลินทรีย์เกาะอยู่บนตัวกลาง (attached growth) เลี้ยงจุลินทรีย์โดยให้เกาะอยู่บนผิวของตัวกลาง

ในระบบ Aerobic Biological Treatment นั้น การย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้นค่อนข้างซับซ้อนเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น รา สาหร่าย และโปรโตซัว แต่ก็พอที่จะเขียนสรุปได้ ง่าย ๆ ดังนี้



สำหรับระบบ Anaerobic Biological Treatment นั้น การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ ระยะสร้างกรด และระยะสร้างมีเทน ซึ่งแต่ละระยะจะอาศัย

กิจกรรมของจุลินทรีย์คนละกลุ่ม คือ กลุ่มสร้างกรด และกลุ่มสร้างมีเทน ตามลำดับ ธรรมชาติของจุลินทรีย์ 2 กลุ่มนี้ มีข้อแตกต่างกันอยู่หลายประการ จำเป็นต้องพิถีพิถันในการเพาะเลี้ยงให้สมดุล

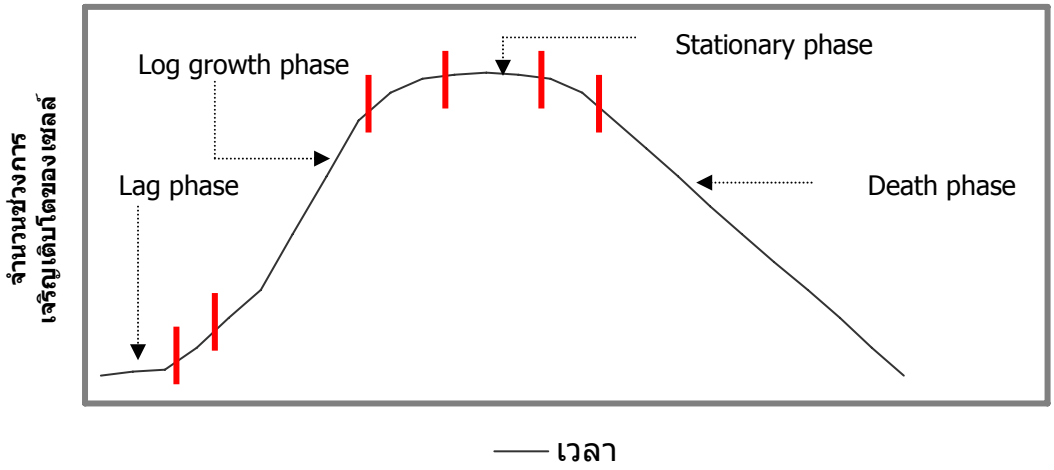


2.4 ทฤษฎีการบำบัดทางชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ นิยมใช้กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Process) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง และมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำกว่ากระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพ การบำบัดด้วยวิธีนี้จะใช้จุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในสภาพคงตัว (Stable) กว่าเดิม ระบบบำบัดทางชีวภาพจะใช้ร่วมกับระบบบำบัดทางกายภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง (ไตรภพ อินทุใส และคณะ 2546 : 208 - 212)

2.4.1 การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจะมีอยู่ตามธรรมชาติในลักษณะหลายชนิดรวมกันซึ่งในตอนเริ่มต้นระบบบางครั้งอาจต้องเพาะเลี้ยงขึ้นมา แต่เมื่อระบบเดินไปคงที่แล้วแบคทีเรียจะเกิดและตายตามวัฏจักร และเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีปริมาณมากเกินไป ต้องกำจัดออกไปจากระบบในรูปตะกอนเป็นครั้งคราว ตามประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะของการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบทำงานเป็นช่วงๆ (Batch) การนำน้ำเสียมาเติมในถังที่มีแบคทีเรีย ความเข้มข้นเริ่มต้นค่าหนึ่ง ๆ มีสารอาหารเริ่มต้นค่าหนึ่ง จะมีการเพิ่มจำนวนมวลแบคทีเรีย มีลักษณะดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบทำงานเป็นช่วงๆ
ที่มา : เสนีย์ กาญจนวงศ์ (2543) *วิศวกรรมน้ำเสีย* เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ขั้นตอนการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

ก. Lag Phase เป็นช่วงแรกที่แบคทีเรียมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และสารอาหาร จึงมีการเจริญเติบโตน้อย

ข. Log Growth Phase แบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในลักษณะเอกโปเนนเชียล (Exponential) มีร้อยละของการขยายตัวคงที่ จะเกิดในสภาวะที่มีสารอาหารมากเกินพอ

ค. Stationary Phase หลังจากการขยายตัวของเซลล์แบคทีเรียมีมากขึ้นระยะหนึ่ง สารอาหารจะลดลง ทำให้อัตราการเพิ่มของแบคทีเรียลดลง และอัตราการตายมากขึ้น ทำให้จำนวนเซลล์ของแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ ในช่วงนี้จะมีสารอาหารเหลือน้อยลง

ง. Death Phase หรือ Endogeneous Phase เป็นขั้นตอนที่สารอาหารเหลือน้อยมาก แบคทีเรียจะต้องย่อยโปรโตพลาสซึมในเซลล์เพื่อการสร้างพลังงาน แบคทีเรียส่วนหนึ่งจะตาย เกิดไลซีส (lysis) คือ การที่สารอาหารจากเซลล์ที่ตายแพร่ซึมไปเป็นอาหารแก่เซลล์ที่เหลืออยู่ จำนวนเซลล์แบคทีเรียโดยรวมจะลดลงตามเวลาเกิดปฏิกิริยา

ในระบบบำบัดน้ำเสียจริงนิยมให้ระบบทำงานในช่วง Stationary Phase หรือตอนต้น ๆ ของ Endogeneous Phase สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (Continuous) จะจัดให้มีจำนวนแบคทีเรียและเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งจะทำให้มีสารอาหารเหลือในระบบน้อย และระบบมีแบคทีเรียที่ยังแข็งแรงเป็นส่วนใหญ่

2.4.2 ประเภทของกระบวนการทางชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพ จำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามประเภทของการใช้ออกซิเจนในการบำบัด ได้ดังนี้

1) *กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจน (AerobicProcess)*

หมายถึง ระบบที่มีก๊าซออกซิเจนอิสระ (O_2) เป็นตัวรับอิเล็กตรอน จึงต้องมีการเติมออกซิเจนให้กับน้ำในระบบโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง แบคทีเรียที่อยู่ในระบบจะเป็นชนิดใช้ออกซิเจนในสภาพอิสระ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 3 แบบ ซึ่งจะดำเนินไปพร้อม ๆ กัน ดังนี้

ก. การย่อยสลายสารอินทรีย์ (Oxidation)

$CHONS + O_2 + Aerobic\ Bacteria \longrightarrow CO_2 + NH_3 +$ พลังงาน + End Products อื่น ๆ
(สารอินทรีย์)

ข. การสร้างเซลล์แบคทีเรีย (Synthesis)

$CHONS + O_2 + Aerobic\ Bacteria +$ พลังงาน $\longrightarrow$ $C_5H_7O_2N$
(สารอินทรีย์) **(เซลล์แบคทีเรียใหม่)**

ค. การย่อยสลายตนเองของแบคทีเรีย (Endogeneous Respiration)

$C_5H_7O_2N + 5O_2 \longrightarrow 5CO_2 + NH_3 + H_2O +$ พลังงาน
(เซลล์แบคทีเรีย)

การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนนี้ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วทำให้ถังปฏิกิริยามีขนาดเล็กแต่ต้องการพลังงานในการเติมออกซิเจน ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูง รวมทั้งตะกอนแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในปริมาณสูง กระบวนการบำบัดนี้ นิยมใช้บำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดี ไม่สูงมากนัก เช่น ไม่เกิน 500 – 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าบีโอดีและ ซีโอดีที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2) *กระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน(Anaerobic Process)*

เป็นกระบวนการบำบัดภายใต้สภาวะไม่มีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำเลย ตัวรับอิเล็กตรอนจะเรียงตามลำดับ คือ ไนเตรต (NO_3) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยาแบบไร้ออกซิเจนจะเกิดโดยกลุ่มของแบคทีเรียที่ใช้แหล่งพลังงานจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชันของสารอินทรีย์ (Heterotrophic Bacteria) ทั้งสิ้น

ภายใต้สภาวะที่มีไนเตรตอยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่าดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) มีไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการ

CHONS +NO_3 + Denitrifying Bacteria ⟶ N_2 ↑ + CO_2 + พลังงาน + อื่น ๆ

ปฏิกิริยานี้จะได้ก๊าซไนโตรเจน แบคทีเรียที่ใช้ไนเตรตสามารถใช้ออกซิเจนได้เป็นส่วนใหญ่ ถ้ามีการเติมออกซิเจนลงไปจะสามารถทำปฏิกิริยาตามสมการได้ทันที สภาวะที่เกิดนี้เรียกว่า Anoxic Condition แม้ว่าจะไม่มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำเลย น้ำก็ยังมีลักษณะปกติ ไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ปลาที่หายใจโดยใช้ออกซิเจนละลายน้ำจะอยู่ไม่ได้

ถ้าไนเตรตไนโตรเจนถูกใช้จนหมดจะเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) โดยมีซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังสมการ

CHONS +SO_4^{2-} + Sulfate Reducing Bacteria ⟶ H_2S ↑ + CO_2 + พลังงาน + อื่น ๆ

ปฏิกิริยานี้จะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ว่าเกิดสภาพน้ำเสียแล้ว ซัลเฟตรีดักชันนี้จะเกิดพร้อมกับมีทาโนเจเนซิส (Methanogenesis) ซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีปฏิกิริยาหลักคือมีทาโนเจเนซิส ซึ่งประกอบด้วยการย่อยสลายดังนี้

- ***ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)*** เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ ให้มีโมเลกุลเล็กลง เช่น ไขมันจะถูกย่อยเป็นกรดไขมัน โปรตีนจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโน
- ***การสร้างกรด (Acedogenesis)*** สารอินทรีย์ที่ถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงจะถูกย่อยสลายต่อด้วยกลุ่มแบคทีเรียพวกอยู่ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจนได้ (Facultative) และไม่ต้องมีออกซิเจนอิสระโดยเด็ดขาด (Obligate Anaerobic) เปลี่ยนเป็นกรดไขมันละเหยง่าย

(Volatile Fatty Acids; VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก เป็นต้น

- ***การสร้างมีเทน (Methanogenesis)*** แบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นชนิด Obligate Anaerobic จะเปลี่ยนไฮโดรเจน และ VFA ซึ่งเป็นกรดอะซิติกเป็นส่วนใหญ่ให้เป็นก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ สารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และสามารถลดสารอินทรีย์ (ค่าซีโอดี)ในระบบได้

ปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดนี้ จะเกิดต่อเนื่องกันไป โดยที่การสร้างมีเทนมีความสำคัญมากที่สุด ระบบบำบัดแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้ถังปฏิกิริยาขนาดใหญ่ มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าแบบใช้ออกซิเจน แต่มีปริมาณตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดต่ำกว่าแบบใช้ออกซิเจน ประมาณ 5 – 10 เท่า ในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีและค่าซีโอดีสูง ๆ นิยมใช้การบำบัดแบบไร้ออกซิเจนเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อน เพื่อลดค่าซีโอดีลงมาให้อยู่ในระดับต่ำก่อนทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนต่อไป อนึ่งการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนไม่อาจทำให้น้ำทิ้งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้

3. ระบบบำบัดแบบเอเอส

3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge)

3.1.1 ลักษณะของระบบ

ระบบเอเอสได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษโดยอาร์เดน และล็อคเกต ในปี 1914 การที่ระบบได้ชื่อนี้เพราะ ระบบต้องสร้างตะกอนจุลชีพเพื่อบำบัดน้ำเสียโดยใช้อากาศ (จริยา ผดุงพัฒโนดม 2545 : 16) ระบบเอเอสเป็นระบบที่ใช้เครื่องจักรกลมาก ค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ต้องการการควบคุมและเอาใจใส่จากผู้ควบคุมระบบที่มีความรู้และประสบการณ์สูง แต่เป็นระบบใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเหมาะสมในกรณีที่พื้นที่ดินมีจำกัด เพราะใช้ที่ดินน้อยกว่าระบบอื่น ๆ มาก สามารถควบคุมการทำงานได้ดีและมีความยืดหยุ่นสูงพอสมควร และน้ำทิ้งที่ได้มีคุณภาพสูง (ลดบีโอดี และสารแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 90)

3.1.2 หลักการทำงานของระบบ

มีหลักการทำงานโดยจะเลี้ยงจุลินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจนในถังเติมอากาศแบคทีเรียเหล่านี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นพลังงาน น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟต และ อื่นๆ ขณะเดียวกันก็จะแพร่พันธุ์เพิ่มจำนวนขึ้น การเติมอากาศหรือออกซิเจนในถังเติมอากาศต้องมีปริมาณมากพอสำหรับแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และทำให้เกิดการปั่นป่วนผสมผสานกันของตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศกับน้ำเสีย รวมทั้งป้องกันการตกตะกอนในถังเติมอากาศด้วย ตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้เรียกว่า ฟลอค (Floc) (ไตรภพ อินทุใส และคณะ 2546 : 212) เมื่อน้ำไหลออกจากถังเติมอากาศไปสู่ถังตกตะกอนแล้วจะเกิดการแยกตัวระหว่างตะกอนกับน้ำใส (ซึ่งมีสารอินทรีย์ละลายอยู่ในปริมาณต่ำ) น้ำใสจะไหลล้นทิ้งไป ส่วนตะกอนจะถูกสูบหมุนเวียนกลับเข้ามายังถังเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ใหม่ ขณะเดียวกันปริมาณแบคทีเรียที่แพร่พันธุ์เพิ่มมากขึ้นวัดในรูปของของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor Suspended Solids ; MLSS) จะสูงขึ้นจนทำให้การตกตะกอนมีปัญหาและทำให้อัตราส่วนสารอินทรีย์ (หรือสารอาหาร) ต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M Ratio) ไม่เหมาะสม จึงต้องควบคุมปริมาณ MLSS ให้คงที่ โดยการระบายตะกอนส่วนเกินทิ้งจำนวนหนึ่งเป็นครั้งคราว ถ้าระบบขนาดใหญ่มีตะกอนส่วนเกินมากนิยมระบายตะกอนทิ้งทุกวัน ตะกอนส่วนเกินนี้ก็เป็นสารอินทรีย์จึงต้องนำไปบำบัดต่อจนกระทั่งมีสภาพอยู่ตัว (Stable) แล้วจึงทำให้เป็นตะกอนแห้งและทิ้งไปในรูปของแข็ง

ภาพที่ 2.3 ปริมาณเปรียบเทียบของจุลินทรีย์ตามคุณภาพของตะกอนเร่ง

ผู้ควบคุมการทำงานของระบบต้องทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบ เพื่อที่จะได้เตรียมการป้องกัน และแก้ไข ข้อขัดข้องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง (จริยา ผดุงพัฒโนดม 2545 : 18 -20)

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบเอเอส ดังนั้น หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้าม คือมีอาหารน้อย จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้รวดเร็ว แต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น

2) อาหารเสริม จุลินทรีย์ต้องการอาหารเสริม ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก นอกเหนือจากสารอินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งนำมาใช้แทนพลังงาน ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจจะมีไม่พอในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม การขาดอาหารเสริมเหล่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างฟล็อคเติบโตได้ไม่ดี ทำให้จุลินทรีย์ชนิดที่เป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่า ซึ่งจะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ยาก และเกิดเป็นชั้นอืดขึ้นมาสูงในถังตกตะกอน และอาจไหลล้นออกมากับน้ำทิ้ง จนระบบไม่สามารถทำงานต่อไปได้อีก ปกติจะควบคุมให้บีโอดี 100 กิโลกรัม ต้องมีไนโตรเจน 5 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 1 กิโลกรัม และเหล็ก 0.5 กิโลกรัม การเติมไนโตรเจนมักใส่ลงในรูปของแอมโมเนีย หรือยูเรีย สำหรับการเติมฟอสฟอรัส จะใส่ลงในรูปของกรดฟอสฟอริก และใส่เหล็กในรูปของเฟอริคคลอไรด์

3) ออกซิเจนละลายน้ำ ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1-2 มก./ล. ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้เพื่อรักษาความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หากอุณหภูมิสูง จุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิ่มตัวต่ำ จึงทำให้ต้องใช้ออกซิเจนมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทางกลับกันหากอุณหภูมิของน้ำต่ำก็จะทำให้มีความต้องการการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

4) ระยะเวลาในการบำบัด ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะต่ำเกินไปสารที่ย่อยยาก ๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดี เหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ตะกอนเร่งขาดออกซิเจนและเน่าได้

5) ค่าความเป็นกรด - ด่าง แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรด - ด่างระหว่าง 6.5 – 8.5 ถ้าความเป็นกรด - ด่างมีค่าต่ำกว่า 6.5 ราจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง และตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี ส่วนที่ค่าความเป็นกรด - ด่างสูงก็จะทำให้ฟอสฟอรัสแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลชีพไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทำให้ระบบทำงานได้ไม่ดีเช่นกัน แต่ถ้าความเป็นกรด - ด่างมีค่าต่ำมากหรือสูงมากจุลชีพก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีพต่อไปได้

6) สารเป็นพิษ สารเป็นพิษแบ่งออกเป็น 2 จำพวกคือ แบบพิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง สามารถตรวจสอบได้ง่าย เช่น ไซยาไนด์ สารหนู เป็นต้น และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งใช้เวลานานและค่อย ๆ ตาย โดยจุลินทรีย์จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด

7) อุณหภูมิ อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการตะกอนเร่ง โดยทั่ว ๆ ไป การเพิ่มอุณหภูมิขึ้นทุกๆ 10 °ซ จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิประมาณ 37 °ซ จากนั้นอุณหภูมิจะร้อนเกินไป จนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของน้ำในระบบทำได้ยาก ดังนั้นผู้ควบคุมจึงต้องปรับค่าความเข้มข้นของตะกอนเร่งในถังเติมอากาศ หรือ MLSS ให้มีค่าน้อย เมื่ออุณหภูมิของอากาศร้อนและเพิ่มปริมาณให้มากขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำ แต่สำหรับประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่แตกต่างกันมากนัก จึงไม่ค่อยมีความจำเป็นในการปรับค่า MLSS ตามฤดูกาล นอกจากโรงานอุตสาหกรรมซึ่งน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก เป็นช่วงระยะเวลานาน ๆ

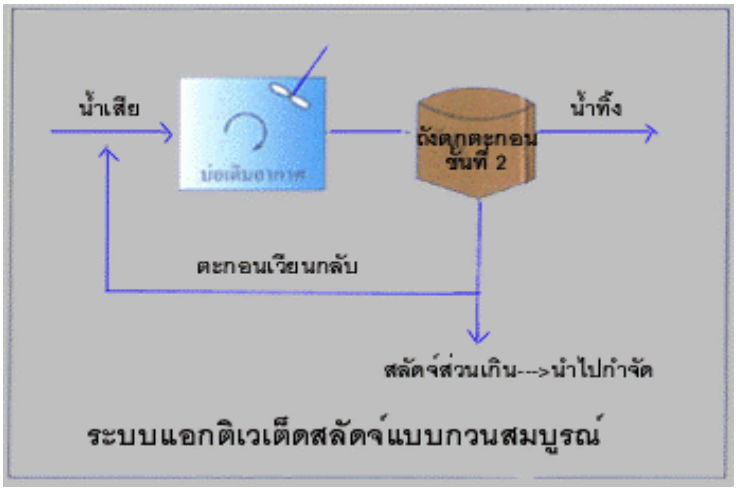
8) การกวน ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อมิให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหาร และลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟล็อคที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะต้องป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ จะต้องมีค่า MLSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอกันทั่วถึง

9) อัตราการไหลของน้ำเสีย การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาระบบบำบัดมีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและในถังตกตะกอน หากน้ำเสียมีอัตราการไหลเพิ่มมากขึ้น จนทำให้มีระยะเวลาในการบำบัดน้อยลง มีค่าสารอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนในถังตกตะกอนขั้นสองลดลงด้วย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง ส่วนอัตราการไหลที่น้อยเกินไปก็มีผลเสียเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมให้มีการส่งน้ำเสียเข้ามาบำบัดอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่ได้ออกแบบเอาไว้ เช่นอาจจะสร้างเป็นบ่อพักเก็บกัก (equalizing tank)

ระบบเอเอสเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่การเดินระบบประเภทนี้จะมีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจำเป็นจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด (กรมควบคุมมลพิษ 2547)

ในปัจจุบัน ระบบเอเอสมีการพัฒนาใช้งานหลายรูปแบบ เช่น ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ (Completly Mix) ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Process) ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) หรือ ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เป็นต้น

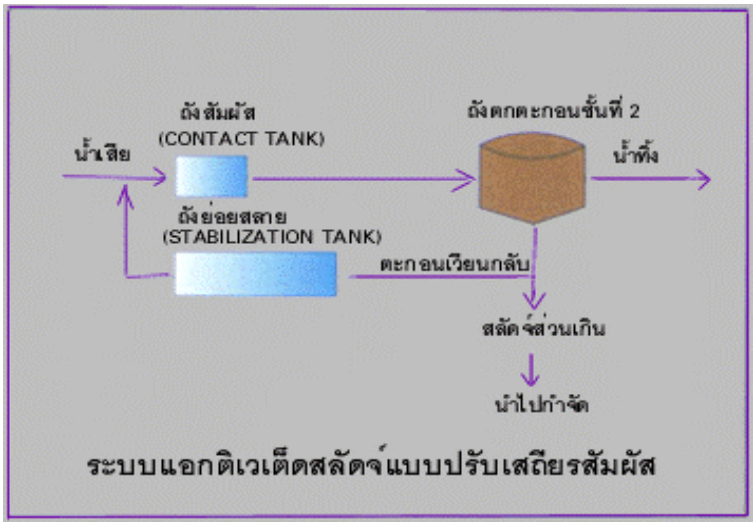
3.2 ระบบเอเอสรูปแบบต่าง ๆ



ภาพที่ 2.4 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์

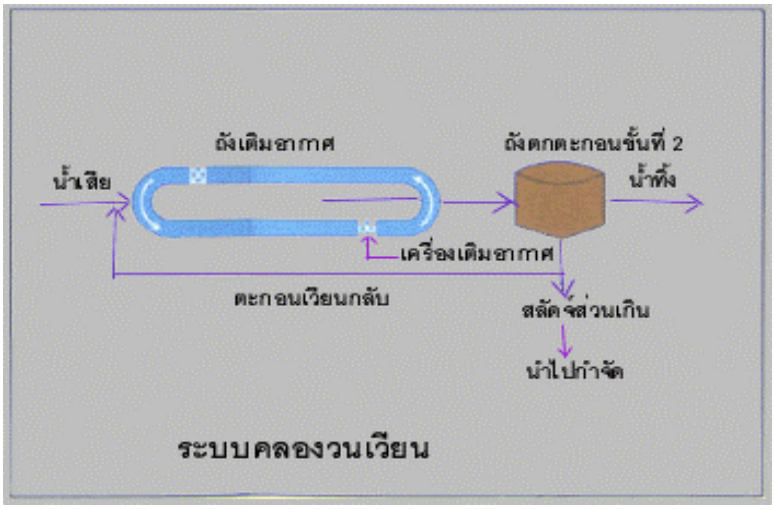
3.2.1 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ (Completly Mixed Activated Sludge; CMAS)

ลักษณะสำคัญของระบบเอเอสแบบนี้คือ จะต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั่วทั้งถัง ระบบแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึง และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอดทั้งถัง (Uniform Population)



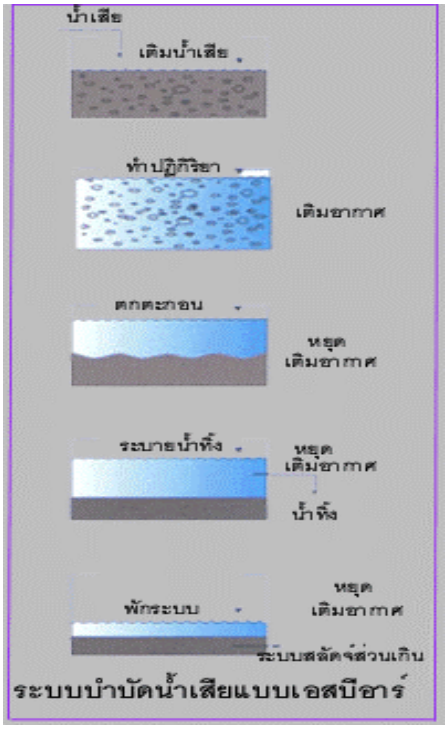
ภาพที่ 2.5 ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส

3.3.2 ระบบเอเอสแบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact Stabilization Activated Sludge; CSAS) ลักษณะสำคัญของระบบเอเอสแบบนี้คือ จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถังอิสระจากกัน ได้แก่ ถังสัมผัส (Contact Tank) และถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) โดยตะกอนที่สูบมาจากก้นถังตกตะกอนขั้นสองจะถูกส่งมาเติมอากาศใหม่ในถังย่อยสลาย จากนั้นตะกอนจะถูกส่งมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ในถังสัมผัสนี้ความเข้มข้นของสลัดจ์จะลดลงตามปริมาณน้ำเสียที่ผสมเข้ามาใหม่ น้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วจะไหลไปยังถังตกตะกอนขั้นที่สองเพื่อแยกตะกอนกับส่วนน้ำใส โดยน้ำใสส่วนบนจะถูกระบายออกจากระบบ และตะกอนที่ก้นถังส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปเข้าถังย่อยสลาย และอีกส่วนหนึ่งจะนำไปทิ้ง ทำให้บ่อเติมอากาศมีขนาดเล็กกว่าบ่อเติมอากาศของระบบเอเอสทั่วไป



ภาพที่ 2.6 ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน

3.3.3 ระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch; OD) ลักษณะสำคัญของระบบเอเอสแบบนี้คือ รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^{2-}) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrosomonas Spp. และ Nitrobactor Spp.) ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้



ภาพที่ 2.7 ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์

3.3.4 ระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ลักษณะสำคัญของระบบเอเอสแบบนี้คือ เป็นระบบเอเอสประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill-and-Draw Activated Sludge) โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบเอเอสแบบอื่น ๆ คือ การเติมอากาศ (Aeration) และการตกตะกอน (Sedimentation) จะดำเนินการเป็นไปตามลำดับภายในถังปฏิกิริยาเดียวกัน โดยการเดินระบบเอเอสแบบเอสบีอาร์ 1 รอบการทำงาน (Cycle) จะมี 5 ช่วงตามลำดับดังนี้

1) ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) นำน้ำเสียเข้าระบบ

2) ช่วงทำปฏิกิริยา (React) เป็นการลดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (บีโอดี)

3) ช่วงตกตะกอน (Settle) ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงก้นถังปฏิกิริยา

4) ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw) ระบายน้ำที่ผ่านการบำบัด

5) ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือรอรับน้ำเสียใหม่

โดยการเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

4. จุลินทรีย์อีเอ็ม

4.1 ประวัติความเป็นมาของจุลินทรีย์อีเอ็ม

หลังสงครามโลกครั้งที่ 1 สงบลง (ปี 2469) สารเคมีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการทำสงครามได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในทางวิทยาศาสตร์และการเกษตรอย่างมากมาย เพื่อเร่งผลิตผลทางการเกษตรให้เพียงพอกับความต้องการของประชากรโลก ปุ๋ยเคมีและสารกำจัดศัตรูพืชนานาชนิดได้ถูกผลิตและนำมาใช้แพร่หลายทั่วโลกเรียกว่า ยุคเกษตรเคมี แทนการเกษตรธรรมชาติที่มีมาแต่โบราณของมนุษยชาติ

เกษตรเคมีได้เข้าสู่ประเทศญี่ปุ่น ในปี 2473 และได้ก่อให้เกิดมลพิษต่อดิน น้ำ และ สิ่งมีชีวิต รวมทั้งเกิดอันตรายต่อเกษตรกรอย่างมาก หลังจากใช้สารเคมีทางการเกษตรติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนาน นักวิทยาศาสตร์พยายามค้นคว้าวิธีการแก้ไขป้องกันโดยวิธีการเกษตรธรรมชาติในประเทศญี่ปุ่นมาตั้งแต่ปี 2478

ศาสตราจารย์ ดร. เทรูโอะ ฮิงะ ผู้เชี่ยวชาญพืชสวนของมหาวิทยาลัยริวกิว เมืองโอกินาว่า ของประเทศญี่ปุ่นได้เคยสังเกตสมัยเด็ก ๆ ว่า ต้นไม้ในป่า และต้นไม้ตามหนองบึงและป่าพรุมีความเจริญงอกงามดีมาก โดยไม่มีใครไปใส่ปุ๋ย หรือสารกำจัดแมลง ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ได้เคยศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทำงานของจุลินทรีย์ในดินมาก่อนและจากข้อสังเกตในวัยเด็ก ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ได้นำเอาจุลินทรีย์ตามป่าเขา หนองบึง และป่าพรุ ที่ต้นไม้เจริญงอกงาม มาทำการทดลองเพาะเลี้ยง แล้วแยกเป็นแต่ละชนิดในแปลงทดลองและในแปลงสุดท้ายได้นำจุลินทรีย์ที่เหลือจากการทดลองหลายชนิดรวมกัน แล้วเททิ้งไปบนดินในแปลงทดลองนั้น แล้วไปทำภาระกิจจังหวัดอื่น โดยให้นักศึกษารดน้ำ หลังจากนั้น ประมาณ 1 สัปดาห์ ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ กลับมาดู ปรากฏว่าแปลงสุดท้ายที่ใช้จุลินทรีย์รวมกัน ต้นพืชทดลองเจริญงอกงามกว่าแปลงที่จุลินทรีย์แยกแต่ละชนิดมาก รวมทั้งพื้นที่ที่นำจุลินทรีย์ที่เหลือจากการทดลองไปเททิ้งรวมกันไว้ข้างหน้าต่าง ปรากฏว่าต้นหญ้าบริเวณนั้น ขึ้นงอกงามกว่าพื้นดินปกติบริเวณใกล้เคียงกัน ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ จึงตั้งสมมติฐานว่า จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถอยู่รวมกัน และเกื้อกูลการทำงานซึ่งกันและกัน

ในปี 2526 ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ได้ศึกษาทดลองต่อมาว่า หากคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแล้ว จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะอยู่ร่วมกันและเกื้อกูลประโยชน์ซึ่งกันและกัน สร้างสารและแร่ธาตุอาหารในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช รวมทั้งการปรับปรุงคุณภาพของดินให้ร่วนโปร่งซุย น้ำและธาตุอาหารของพืชสามารถลงสู่รากได้ง่าย

รากของพืชสามารถหาอาหารได้ง่าย ทำให้พืชเจริญเติบโตแข็งแรงสามารถต่อต้านการป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิดได้ดี อีกทั้งสร้างการเกาะตัวของดินป้องกันการทลายของดินได้ดีด้วย จึงได้เรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า “จุลินทรีย์ธรรมชาติ (Effective Microorganisms) ”

การนำกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพดังกล่าวข้างต้นมากกว่า 80 ชนิด มารวมกันแล้วสร้างสภาวะสมดุล และสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ดังกล่าว แล้วนำไปหมักกับมูลสัตว์ เศษหญ้าแห้ง ฟางแห้ง ใบไม้แห้ง จะได้ปุ๋ยธรรมชาติที่ประกอบด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เมื่อนำไปใส่ในดินจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพกับจุลินทรีย์เดิมที่มีอยู่ในดิน มีผลทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุเป็นอนินทรียวัตถุ เป็นแร่ธาตุอาหารของพืช เช่น กรดแลกติก (Lactic acids) น้ำตาล ฟอสฟอรัสอนินทรีย์ (P_2O_5) ไนโตรเจน (N_2) เป็นต้น และยังผลิตฮอร์โมน ไซโตไคนิน ซึ่งจะช่วยสร้างกรดอะมิโนให้พืชดูดเป็นอาหารง่ายขึ้น จะเป็นประโยชน์ในการสร้างความเจริญเติบโตและความแข็งแรงให้พืชตลอดจนการไปยับยั้งการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ตัวอื่น ที่เป็นโรคพืชอีกด้วย นอกจากนั้นยังทำให้ดินร่วนซุย แต่ยึดติดป้องกันการกัดเซาะ และพังทลายของดิน นอกจากนี้จุลินทรีย์อีเอ็มที่รวมกันยังช่วยยับยั้งการบูดเน่าของน้ำโสโครกต่าง ๆ ทำให้กลิ่นเหม็นจากน้ำโสโครกลดลงด้วย

จากการค้นพบกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและประโยชน์ของมัน ศ.ดร. ฮิงะ ได้นำผลการทดลองค้นคว้าเสนอต่อการประชุมวิชาการทางการเกษตรนานาชาติหลายครั้ง เช่น การประชุมสัมมนาเกษตรแถบเอเชียและแปซิฟิก การประชุมเพื่อการรณรงค์เกษตรธรรมชาติเป็นครั้งแรกในประเทศไทย ในปี 2529 รวมทั้งเสนอเข้าที่ประชุมเกษตรธรรมชาติสากลที่ประเทศสหรัฐอเมริกา และในปี 2534 ได้เสนอเข้าที่ประชุมเกษตรธรรมชาติสากลที่ประเทศบราซิล

ในปัจจุบัน ได้มีผู้นำเอาจุลินทรีย์อีเอ็มไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในประเทศต่าง ๆ อาทิเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา บราซิล ฝรั่งเศส เยอรมัน โปรตุเกต ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และประเทศไทย

4.2 การนำเข้ามาใช้แพร่หลายในประเทศไทย

ในปี 2529 เป็นครั้งแรกที่ ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ศาสตราจารย์คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยริวกิว โอกาว่า ประเทศญี่ปุ่น ได้นำจุลินทรีย์อีเอ็มเข้ามาในประเทศไทย โดยขอความร่วมมือกับกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมโดยตรง ได้บรรยายถึงเทคนิคการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มให้นักวิชาการฟัง แต่ทุกคนที่เข้าฟังกลับไม่เชื่อในประสิทธิภาพของ

จุลินทรีย์อีเอ็ม มีบ้างที่เชื่อครึ่งไม่เชื่อครึ่ง จึงไม่นำสิ่งนี้ไปทดลอง มีเพียงมูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา ซึ่งเป็นหน่วยงานของเอกชนหน่วยงานเดียวที่นำไปทดลองที่รังสิตระยะหนึ่ง ซึ่งได้ผลดีมาก (ฮิงะ, 2536)

หลังจากนั้น ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ได้ติดต่อกับ ดร. ชัยทัศน์ ไพรินทร์ อาจารย์คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประสานงานกับมูลนิธิฯ ดังกล่าวจัดประชุมสัมมนาเกี่ยวกับ “ เกษตรกรรมชาติคิวเซสากล ครั้งที่ 1 ” ขึ้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นในเดือนตุลาคม 2532 การประชุมครั้งนี้มีตัวแทนจาก 17 ประเทศ จำนวน 300 กว่าคน เข้าร่วมประชุมด้วย เขาได้เสนอการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มจากประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน และอีก 2 – 3 ประเทศ รายงานให้ที่ประชุมทราบแทบทุกคนบอกว่านั้นเป็นผลที่ได้จากประเทศญี่ปุ่น หรือไต้หวันเท่านั้น ไม่ใช่ผลที่เกิดในประเทศไทย จะเอามาใช้ในประเทศไทยได้อย่างไร ในวันสุดท้ายของการประชุมสัมมนา ทั้งหมดมาที่ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ อ.แก่งคอย จ.สระบุรี เพื่อให้ชมผลงานที่มูลนิธิฯ ได้ทดลองซึ่งได้ผลดี ทุกคนเสนอให้จัดตั้งหน่วยงานที่สามารถประสานงานระหว่างประเทศต่าง ๆ ในแถบเอเชียและแปซิฟิก จึงได้จัดตั้ง “ สมาพันธ์เกษตรธรรมชาติคิวเซสากล (Asia – Pacific Natural Agriculture Nertwork ; APNAN) ” ขึ้น เรียกชื่อย่อ ๆ ว่า โดยให้สำนักงานกลางตั้งอยู่ที่ประเทศไทย

หลังจากนั้นมาทุกปี มีการจัดประชุมประเมินผลและจัดทำเป้าหมายในแต่ละปีสำหรับ APNAN ขึ้น ปี 2536 เป็นครั้งที่ 5 ในครั้งที่ 4 (2534) ได้จัดขึ้นที่ประเทศบราซิล ซึ่งมีพื้นที่ที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มประมาณ 12 ล้านเฮกตาร์ ปริมาณการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มที่ผ่านมา 700 ตัน/ปี นับว่าเป็นปริมาณสูงสุดกว่าทุกประเทศ

แต่ประเทศที่ได้มีการเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซในลักษณะที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ได้คุณภาพมากที่สุดได้แก่ ประเทศไทย โดยการสนับสนุนเผยแพร่ของ “ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา ” ที่ประเทศบราซิลนั้นมีเกษตรกร รายใหญ่ ๆ 4 – 5 ราย ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม ก็สามารถใช้ได้ 700 ตัน แต่ที่ประเทศไทยนั้น ทั้งจากการเปิดให้มีการฝึกอบรมและจากการเผยแพร่ต่อๆ กันไป ทำให้มีผู้นำเอาจุลินทรีย์อีเอ็มไปใช้ในปริมาณกว้างขวางมาก ในอนาคตอันใกล้นี้ บราซิลก็จะเริ่มเปลี่ยนลักษณะการเผยแพร่สนับสนุนให้เหมือนกับประเทศไทยด้วย (ฮิงะ,2536)

APNAN จะมีการจัดประชุมเกี่ยวกับเทคนิคใหม่ ๆ ของจุลินทรีย์อีเอ็ม ในเดือนพฤศจิกายนของทุกปีที่สระบุรี แต่ในปี 2538 จะจัดให้มีการประชุมที่ฝรั่งเศส ในปี 2540 จะจัดประชุมที่ประเทศแอฟริกา ในปี 2542 จะจัดการประชุมขึ้นที่ประเทศจีน โดยรัฐบาลจีนได้ขอร้องให้มีการจัดการประชุมให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ เพราะประเทศจีนกำลังประสบปัญหากลิ่นเหม็น

จากฟาร์มหมู และฟาร์มไก่อย่างมาก รัฐบาลจีนจึงสนใจที่จะนำเอาจุลินทรีย์อีเอ็มไปให้เกษตรกรทั่วไปได้ใช้เพื่อกำจัดกลิ่นและจัดการสภาพแวดล้อมให้ดี และในปี 2544 จะไปจัดประชุมกันที่ประเทศรัสเซีย พอถึงปีนั้น ก็ถือว่าได้จัดประชุมครบทั่วโลกแล้ว

4.3 องค์ประกอบของจุลินทรีย์อีเอ็ม

จุลินทรีย์อีเอ็มคือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่ง ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ แห่งคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยริวกิว ประเทศญี่ปุ่น เป็นผู้ค้นพบได้จากธรรมชาติ นำมาเพาะเลี้ยงและขยายให้จุลินทรีย์แต่ละชนิดขยายตัวด้วยปริมาณที่สมดุลกันด้วยเทคโนโลยีพิเศษ โดยใช้อาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล โปรตีน รำข้าว และสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต (มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา, 2538)

ในระยะแรกจุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 5 ชนิด คือ EM_1 , EM_2 , EM_3 , EM_4 และ EM_5 ซึ่งมีองค์ประกอบและบทบาทต่าง ๆสรุปได้ดังนี้ (ชัยทัศน์ ไพรินทร์ และคณะ, 2536)

EM_1 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อรา ในรูปเส้นใย (filamentous fungi) ที่สำคัญ คือ *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., และ *Mucor* sp., ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลายอินทรียสาร ทำงานไดดีในสภาพที่มีออกซิเจน ทนทานต่อความร้อน ปกติใช้เป็นหัวเชื้อร่วมกับ EM_2 , EM_3 และ EM_4 เพื่อทำปุ๋ยหมัก

EM_2 ประกอบด้วยจุลินทรีย์มากกว่า 10 สกุล (genera) และ 80 ชนิด (species) เช่น แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *(Photosynthetic bacteria)* พวก *Rhodopseudomonas capsulate,R. palstoris, Rhodospirillum* sp., *Aspergillus* sp., *Mucer* sp., *Saccharromyces cerevisiae, Actinomyces* พวก *Streptomyces* และพวกยีสต์ EM_2 นี้จะช่วยเปลี่ยนให้ดินเข้าสู่วัฏจักรของการย่อยสลาย นอกจากจะใช้ปรับปรุงดินแล้วยังใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมักกระตุ้นให้ *Azotobactor* และ *Mycorrhiza* ในดินทำงานได้ดีขึ้น ลดอัตราการชะล้างพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูบางชนิดของพืชและสัตว์ รวมทั้งใช้บำบัดน้ำเสียได้ด้วย

EM_3 ประกอบด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *(Photosynthetic bacteria)* ประมาณ 95 % โดยเฉพาะ *Rhodopseudomonas capsulate,R. palstoris, Rhodospirillum* sp.,*Chromatium* sp., และ *Actinomyces* พวก *Streptomyces* EM_3 จะทำการสังเคราะห์อินทรียสารในดินให้เป็น น้ำตาล และสังเคราะห์ Amino acid ขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยกระตุ้นให้ Azotobacteria สังเคราะห์ไนโตรเจนได้มากขึ้น

EM_4 ประกอบด้วยแบคทีเรียพวก *Lactobacillus casei., L. brugaricus* และ *Streptococcus lactis* เป็นส่วนใหญ่ คือมีปริมาณมากกว่า 90 % นอกนั้นจะเป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสง เชื้อรารูปเส้นใยและยีสต์ ทำหน้าที่ต่อต้านเชื้อราที่ไม่มีประโยชน์และพวก Anaerobic bacteria จึงสามารถเปลี่ยนดินที่มีเชื้อโรคให้หมดสภาพไป โดยช่วยลดปริมาณของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชนอกจากนั้นยังช่วยสลายเปลือกเมล็ดพืชให้งอกได้เร็วขึ้น

EM_5 เป็นผลผลิตของ EM_2 , EM_3 และ EM_4ผสมกับ 30 % เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) น้ำส้มสายชู และกากน้ำตาล ในอัตราส่วน 1 : 2 : 1 : 1 ซึ่ง EM_5 สามารถ ป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชและสัตว์ได้ แต่ในปัจจุบันได้มีการรวม EM_1 , EM_2 , EM_3 , EM_4 และ EM_5 เข้าด้วยกันเป็นสูตรเดียวกัน เรียกชื่อว่า จุลินทรีย์ธรรมชาติ มีการใช้อย่างกว้างขวาง

4.4 ความหมายของจุลินทรีย์อีเอ็ม

จุลินทรีย์อีเอ็มหมายถึง กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพซึ่ง ศาสตราจารย์ ดร.เทรูโอะ ฮิงะ นักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญสาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยริวกิว เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้ศึกษาแนวคิดเรื่อง " ดินมีชีวิต" ของท่านโมกิจิ โอกะดะ (ปี 2425-2498) บิดาเกษตรธรรมชาติของโลก จากนั้น ศาสตราจารย์ ดร.ฮิงะ เริ่มค้นคว้าทดลองตั้งแต่ปี 2510 และค้นพบจุลินทรีย์อีเอ็มเมื่อปี 2526 ท่านอุทิศทุ่มเททำการวิจัยผลว่ากลุ่มจุลินทรีย์นี้ใช้ได้ผลจริง หลังจากนั้น ศาสนาจารย์วาคุกามิ ได้นำมาเผยแพร่ในประเทศไทย โดยท่านเป็นประธานมูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา หรือ คิวเซ (คิวเซ แปลว่า ช่วยเหลือโลก) ปัจจุบัน ตั้งอยู่ที่ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (กองบรรณาธิการ Lab.TODAY 2545:66) จากการค้นคว้าพบความจริงเกี่ยวกับจุลินทรีย์ว่ามี 3 กลุ่ม คือ

1) กลุ่มสร้างสรรค์ เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณภาพ มีประมาณร้อยละ 10
2) กลุ่มทำลาย เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ทำให้เกิดโรค มีประมาณร้อยละ 10
3) กลุ่มเป็นกลาง มีประมาณร้อยละ 80 จุลินทรีย์กลุ่มนี้หากกลุ่มใด มีจำนวนมากกว่ากลุ่มนี้จะสนับสนุนหรือร่วมด้วย ดังนั้น การเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณภาพลงในดิน ก็เพื่อให้กลุ่มสร้างสรรค์มีจำนวนมากกว่า ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้กลับมีพลังขึ้นมาอีกหลังจากที่ถูกทำลายด้วยสารเคมีจนดิน ตายไป

จุลินทรีย์มี 2 ประเภท (กองบรรณาธิการ Lab.TODAY 2545 : 66 ; เทรูโอะ : 2536; นิรนาม : 2536)

1) ประเภทต้องการอากาศ (Aerobic Bacteria)
2) ประเภทไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacteria)

จุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ ต่างพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถอยู่ร่วมกันได้ จากการค้นคว้าดังกล่าว ได้มีการนำเอาจุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดและเลือกสรรอย่างดี จากธรรมชาติ ที่มีประโยชน์ต่อพืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม มารวมกัน 5 กลุ่ม (Families) 10 จีนัส (Genues) 80 ชนิด (Spicies) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก ฯลฯ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสังเคราะห์แสง (Photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ไนโตรเจน (N2) กรดอะมิโน (Amino acids) น้ำตาล (Sugar) วิตามิน (Vitamins) ออร์โมน (Hormones) และอื่นๆ เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก(Zynogumic or Fermented microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้ดินต้านทานโรค (Diseases resistant) ฯลฯ เข้าสู่วงจรการย่อยสลายได้ดี ช่วยลดการ พังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิด ของพืชและสัตว์ สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่างๆ ได้

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing microorganisms) มีทั้งพวกที่เป็นสาหร่าย (Algae) และพวกแบคทีเรีย (Bacteria) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน (Protein) กรดอินทรีย์ (Organic acids) กรดไขมัน (Fatty acids) แป้ง (Starch or Carbohydrates) ฮอร์โมน(Hormones) วิตามิน (Vitamins) ฯลฯ

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก (Lactic acids) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อรา และแบคทีเรียที่เป็นโทษ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศหายใจ ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อย หรือดินก่อโรคให้เป็นดินที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชที่มีจำนวนนับแสน หรือให้หมดไป นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายเปลือกเมล็ดพันธุ์พืช ช่วยให้เมล็ดงอกได้ดีและแข็งแรงกว่าปกติอีกด้วย

4.5 คุณสมบัติของจุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้ในการทดลอง

4.5.1 เชื้อรา ได้แก่

1) Trichoderma sp. ต้องการออกซิเจน จะพบมากในบริเวณป่าไม้ เจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด ช่วยยึดอนุภาคดินให้ติดกันเป็นก้อน ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ทนต่อสภาพแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง (semi – arid) แต่ต้องการน้ำอย่างเพียงพอเพื่อการเจริญเติบโต ถ้าน้ำมากเกินไปจะทำให้ขาด O_2 และการเจริญเติบโตของเชื้อราจะชะงัก และทำให้มีปริมาณน้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 37 ^{0}ซ

2) Mucor sp. ต้องการออกซิเจน พบมากในบริเวณป่าไม้ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 6 ^{0}ซ เจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด ช่วยยึดอนุภาคดินให้ติดกันเป็นก้อน ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ทนต่อสภาพแห้งแล้ง หรือกึ่งแห้งแล้ง (semi – arid) แต่ต้องการน้ำอย่างเพียงพอเพื่อการเจริญเติบโต ถ้าน้ำมากเกินไปจะทำให้ขาด O_2 และการเจริญเติบโตของเชื้อราจะชะงัก และทำให้มีปริมาณน้อยลง

3) Penicillium sp. ต้องการออกซิเจน พบมากในบริเวณอากาศเย็น เจริญได้ดีในสภาพที่เป็นกรด ช่วยยึดอนุภาคดินให้ติดกันเป็นก้อน เนื่องจากราไม่มีคลอโรฟิลด์ จึงจำเป็นต้องใช้คาร์บอนจากอินทรียสารในขบวนการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ เมื่อใส่อินทรีย์วัตถุลงไปในดิน โดยเฉพาะดินที่มีความเป็นกรด – ด่างต่ำ ราจะเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วและจะย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน แป้ง และลิกนิน ภายใต้สภาพที่มีการระบายอากาศที่ดี กิจกรรมของราในการย่อยสลายอินทรีย์สารจะเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่ากิจกรรมที่กระทำโดยแบคทีเรีย

4) Aspergillus sp. ต้องการออกซิเจน แยกได้จากในดินที่มีวัสดุเศษพืชปนอยู่ จัดอยู่ในพวกที่ชอบอยู่ในที่มีอุณหภูมิ 37 ^{0}ซ สร้างโครงสร้างที่เรียกว่า เวสิเคิ้ล (vesicle) ที่ส่วนปลายของเวสิเคิ้ล จะมีเพียไลด์ (phialide) ซึ่งเป็นของโคนิเดีย หรือสปอร์ (conidia or spore) มีรูปร่างกลม ผิวขรุขระ สีเขียวอ่อน ติดอยู่ที่ปลายของ เพียไลด์ ก้อน ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ร่วมในการสังเคราะห์ฮิวมัส

4.5.2 แบคทีเรีย ได้แก่

1) แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) ได้แก่ *Rhodopseudomonas* sp., *Rhodospirillum* sp. และ *Chromatium* sp.พวกนี้เป็น anaerobic bacteria สามารถสังเคราะห์แสงเองได้ สามารถตรึงไนโตรเจนแบบอิสระ (non–symbiotic nitrogen fixation) ซึ่งเป็นการตรึงไนโตรเจนหรือการจับก๊าซไนโตเจนจากอากาศแล้วเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบ

ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่อย่างอิสระในดินหรือในน้ำ จุลินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านี้มีชีวิตอยู่ได้โดยไม่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตอื่น การตรึงไนโตรเจนจะดำเนินไปได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่าง 30 - 35 ^{0}ซ ถ้ามีความชื้นมาก การตรึงไนโตรเจนจะมีมาก เนื่องจากการเปลี่ยนสภาพจาก aerobic เป็นสภาพ anaerobic

2) *Lactobacillus casei., L. brugaricus* เป็น microaerophillic

คือ สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนน้อย เป็น gram positive bacilli แต่บางครั้งอาจจะติดสี gram negative เช่น แบคทีเรียที่มีอายุมาก ๆ หรือเลี้ยงในสภาวะที่เป็นกรด ส่วนใหญ่เป็นรูปแท่งตรง การเรียงตัวพบอยู่เดี่ยว ๆ เช่น chain หรือ filament สามารถสลายน้ำตาล ได้ Lactic acids เชื้อทนสภาวะกรดได้ดีที่ความเป็นกรด – ด่าง 5.5 – 5.8 หรือต่ำกว่า

4.5.3 แอคติโนมัยซีส

Streptomyces sp. ย้อมติดสีแกรมบวก มัยซีเรียมที่เจริญเต็มที่จะสร้างสปอร์ที่มีลักษณะเป็นขดเกลียว (coil) เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อจะสร้างสปอร์สีน้ำตาล โคโลนี (colony) มีขนาดเล็ก สามารถแยกเชื้อนี้ได้จากดิน ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ต้องการภาวะ aerobic (highly oxidative) ทุก species สามารถใช้น้ำตาล glucose ได้ , การ reduce nitrate เป็น nitrites , เชื้อส่วนใหญ่ต้องการ optimum temperature ที่ 25 – 35 ^{0}ซ แต่มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถเจริญได้ในช่วงของ thermophilic temperature, optimum ความเป็นกรด – ด่างที่ 6.5 – 8.0 ไม่ทนต่อสภาพความเป็นกรด – ด่างที่ต่ำกว่า 5 ถ้าความชื้นสูงร้อยละ 85 – 100 จะพบพวกนี้อยู่น้อยมาก สามารถทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี

4.5.4 Yeast

มีอยู่ทั่วไปในดินแต่มีปริมาณไม่มากนัก ถูกจัดแบ่งอยู่ในกลุ่มของรา เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีการขยายพันธ์แบบ budding หรือ fission สามารถย่อยสลายเซลลูโลสได้ และชอบอยู่ในที่อุณหภูมิสูง เจริญได้ดีที่ความเป็นกรด – ด่าง 4.0 ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอาหารที่เฉพาะเจาะจงมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ยีสต์ ต้องการอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ง่าย ๆ ถ้าเป็นอินทรีย์วัตถุ ที่มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน หรือขนาดของโมเลกุลใหญ่ ๆ ยีสต์ไม่มีความสามารถเข้าย่อยได้ เป็นต้น

4.6 แนวคิดและทฤษฎีของจุลินทรีย์อีเอ็ม

จากการศึกษาของ ศาสตราจารย์ ดร. ฮิงะ ที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ซึ่งเขาได้สรุปไว้ว่า การนำจุลินทรีย์หลาย ๆ ชนิดมาปนกัน แล้วนำไปใส่ลงไปในดิน หรือพ่นไปกับต้นพืชนั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่า และจะมีอายุยืนยาวกว่าการใช้จุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว (Higa และ Wididana : 1989) เนื่องจากเขาได้พัฒนาจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มาปนกัน 3 ชนิด ซึ่งเขาพบว่ามีประสิทธิภาพมาก จุลินทรีย์ที่ปนกันนี้ได้แก่ แบคทีเรียสังเคราะห์แสง เรฟังไจ ยีสต์ และเชื้อรา ประกอบด้วย 10 สกุล และแตกต่างกัน 80 ชนิด ซึ่งเขาเรียกว่า EM_2 ส่วนแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ปนกันหลายชนิด เรียกว่า EM_3 และ แลคโตบาซิลลัสหลายชนิด และจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ผลิตกรดแลคติก เรียกว่า EM_4

การทดลองต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เหล่านี้ แสดงทั้งการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มใส่ลงไปในดินและพ่นบนใบพืช สามารถจะเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชสวนหลาย ๆ ชนิด เช่น จุลินทรีย์อีเอ็มช่วยให้เพิ่มปริมาณวิตามิน และน้ำตาลในผลไม้มากกว่าการที่ไม่ได้ใช้จุลินทรีย์เหล่านี้ ในปัจจุบันนี้ ได้มีการผลิตและจำหน่ายจุลินทรีย์อีเอ็มในรูปของการค้าและใช้กันอย่างแพร่หลายและกว้างขวางในด้านการเกษตรและพืชสวนในประเทศญี่ปุ่น เช่น มะม่วง มะเขือเทศ ข้าว แตงโม เป็นต้น

ในบรรดาจุลินทรีย์ที่ทำงานอยู่ในดินนั้น มีจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่มีชื่อว่า แบคทีเรียสังเคราะห์แสง *(Photosynthetic bacteria)* และแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (*Azotobactor*) แบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้ มีหน้าที่ในการตรึงไนโตรเจนในดิน แต่แบคทีเรียทั้งสองมีสภาพแวดล้อมในการอยู่รอดที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะไม่ชอบออกซิเจน แต่สำหรับ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนที่เป็นตัวตรึงไนโตรเจนในดินนั้น เป็นแบคทีเรียตระกูลแอโรบิคที่ชอบออกซิเจน

ทำไมจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้สามารถอาศัยอยู่ร่วมกันได้ ?

เหตุผลประการที่หนึ่ง คือ มันสามารถแลกอาหารกันได้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนจะย่อยอินทรีย์วัตถุ เป็นอาหารเพื่อทวีจำนวนและขับถ่ายออกมาเป็นอาหารของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะทวีจำนวนและผลิตวัตถุเป็นอาหารของแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนอีกด้วย การวนเวียนดังกล่าวที่กล่าวมา จึงทำให้จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้อาศัยอยู่ร่วมกันได้ แบคทีเรียตรึงไนโตรเจนจะเพิ่มจำนวนโดยใช้ออกซิเจน เมื่อเพิ่มจำนวนมากเกินไป ก็จะเกิดสภาพขาดอากาศขึ้นที่แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะอาศัยบริเวณที่เกิดการปลอดอากาศนี้เพิ่มจำนวนขึ้น

จากผลของการวิจัย ทำให้รู้ว่าการที่จะใช้แอโรบิคแบคทีเรีย กับแอนแอโรบิคแบคทีเรีย ที่อาศัยอยู่ด้วยกันนั้นสามารถทำได้ จุลินทรีย์ชนิดอื่นก็จะสามารถใช้ชีวิตร่วมกันได้ โดยใช้ระบบที่กล่าวมา ในดินน้ำหนัก 1 กรัม จะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่หลายล้านตัว ในบรรดาจุลินทรีย์เหล่านี้ ก็มีแอนแอโรบิคแบคทีเรียอยู่ด้วยแน่นอน และเมื่อเรานึกถึงการทำงานของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนก็จะเข้าใจได้ว่ามีจุลินทรีย์มากชนิดที่อาศัยอยู่ร่วมกันโดยใช้หลักการเดียวกัน

ทฤษฎีของจุลินทรีย์อีเอ็ม

การใส่จุลินทรีย์อีเอ็มลงในดินสามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและคุณภาพของพืชได้ผลดีขึ้นอย่างไรป้องกันพืชผลจากการทำลายเชื้อโรคและโรคพืชได้อย่างไร การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มสามารถทำให้เปลี่ยนจากดินควบคุมโรคเป็นดินหมักและดินสังเคราะห์ได้หรือไม่ ในการตอบปัญหาเหล่านี้ ละปัญหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลไกต่าง ๆ ว่าจุลินทรีย์อีเอ็มไม่ทำปฏิกิริยา หรือปฏิกิริยาร่วมของสภาพแวดล้อมดิน – พืช ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีต่าง ๆ ต่อไปนี้

ทฤษฎีควบคุมโรค

คำว่าดินควบคุมโรคนี้อ้างถึงการที่ส่งมีชีวิตควบคุมการเกิดขึ้นของโรคพืชต่าง ๆ 3 กรณี ด้วยกัน คือ

1) เชื้อโรคไม่สามารถเข้าทำลายพืชผลได้
2) เชื้อโรคปรากฏอยู่ แต่ไม่สามารถทำให้พืชผลเป็นโรคได้
3) เชื้อโรคทำให้เกิดโรคได้ แต่การเป็นโรคนั้นลดลง หรือเป็นเพียงแต่เล็กน้อย

ด้วยเชื้อ เดี่ยว ๆ ไม่มีเชื้อโรคที่ 2 หรือ 3 แทรกซ้อน

การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มทำให้จำนวนของเชื้อราต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปควบคุมเชื้อโรคพืช (Fusarium) ให้ปรากฏอาการของโรคให้เห็นลดลง การทดลองอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า ดินที่ใส่จุลินทรีย์อีเอ็ม 2 3 และ 4 จะมีเชื้อโรคพืชที่เป็นเชื้อรา และโรคพืชที่เป็นเชื้อแบคทีเรีย น้อยกว่าดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี การไปควบคุมเชื้อโรคพืช และอาการของโรคพืชท่าปรากฏให้เห็น ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน พืช และ เชื้อจุลินทรีย์อีเอ็ม หรือองค์ประกอบของเชื้อที่ใช้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถชักนำให้ดินกลายเป็นดินที่ปราศจากโรคได้ในธรรมชาติ

ทฤษฎีพลังงานอินทรีย์

ทฤษฎีทั่ว ๆไป เข้าใจว่าเมื่อใส่อินทรียวัตถุลงไปในดิน อินทรียวัตถุก็จะสลายตัวโดยจุลินทรีย์ต่างๆ แล้วธาตุอาหารก็จะถูกปลดปล่อยออกมา หลังจากนั้นพืชก็จะนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนทฤษฎีพลังงานอินทรีย์ หมายถึง การที่อินทรียวัตถุได้รับการหมัก โดยจุลินทรีย์พวกแลคโตบาซิลลัส และจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกหลังจากนั้นก็จะปลดปล่อยกรดอะมิโนและน้ำตาลในรูปของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ แล้วพืชจะดูดซึมไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการเมตาโบลิซึมต่าง ๆ Kinjo (1990) พบว่า ปริมาณของกรดอะมิโนซึ่งผลิตภายหลังจากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุ โดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็มประมาณ 5 วัน จะสูงอย่างมีนัยสำคัญกว่าการที่ไม่ได้ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม ซึ่งการดูดกรดอะมิโน น้ำตาล และสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ โดยรากพืชนั้น ได้รับการสาธิตในการทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ซึ่งการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ชี้ให้เห็นว่า ต้นอ่อน กลุ่มเซลล์หรือเซลล์พืชไม่ได้ต้องการเฉพาะธาตุหลักและธาตุรองเท่านั้น แต่ยังต้องการสารอินทรีย์ที่เพิ่มพลังให้ได้ผลผลิตสูง เช่น กรดอะมิโนและน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ในกระบวนการหมักมักจะใช้ประโยชน์ในการนเตรียมอาหาร เช่น เต้าเจี้ยว น้ำปลาและหญ้าหมักสำหรับสัตว์เลี้ยง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การหมักในดินและการนำประโยชน์จากการหมักมาใช้กับพืชนั้น ยังมีการศึกษาน้อยมาก

ทฤษฎีการละลายของธาตุอาหารอนินทรีย์ต่าง ๆ

จุลินทรีย์ มีความสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ และนำธาตุอาหารเหล่านั้นกลับมาให้พืชนำไปใช้ประโยชน์อีก ความสามารถในการให้พืชผลของดินจะลดลง ถ้าดินนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อยลง (มักจะเกิดการชะล้างพังทลายของดิน และการนำอินทรียวัตถุที่เหลือใช้ และเศษวัสดุต่าง ๆ กลับลงไปในดินไม่เพียงพอหรือน้อยเกินไป) เมื่อเกิดขึ้นเช่นนี้ จำนวนของจุลินทรีย์ดินและสิ่งมีชีวิตที่มีมากชนิดในดินก็จะลดจำนวนลง การทดลองที่ใช้กากน้ำตาลผสมน้ำ 0.1 เปอร์เซนต์กับดิน และพ่นไปในบนต้นผักกาด (*Brassica rapa*) และพริกไทยเขียว (*Capsicum* sp.) กับเป็นแหล่งของคาร์บอน และพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า มีการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียแอคติโนมัยซีส และเชื้อราทั้งในดิน และบนผิวใบอย่างมีนัยสำคัญมากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้ทำการพ่น การพ่นกากน้ำตาลบนใบของต้นผักกาดยังทำให้แบคทีเรียที่ตรึงไนโตเจนเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากบนผิวใบอีกด้วย เมื่อเทียบกับการไม่ได้พ่น ผลผลิตของพริกไทยเขียวและผักกาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความสัมพันธ์กับจำนวนของจุลินทรีย์ต่าง ๆ

สารประกอบของอินทรียสารฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งไม่เป็นประโยชน์แก่พืช สามารถทำให้ละลายน้ำได้โดยจุลินทรีย์ ซึ่งผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันนี้ ได้รับจากการทดลองซึ่งมีการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มหลายชนิดใส่ลงไปในดิน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมากของอินทรียสาร ฟอสฟอรัส (P_2O_5) เนื่องจากการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเปรียบเทียบกับไม่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม

ทฤษฎีของการสังเคราะห์แสงและตรึงไนโตรเจน

เมื่อนำจุลินทรีย์อีเอ็มไปใส่ในดินหรือพ่นไปในบนผิวใบพืช ประชากรของแบคทีเรียสังเคราะห์แสง และแบคทีเรียที่ตรึงในโตรเจนจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อมา คือ พืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ให้ผลผลิตสูงขึ้นและคุณภาพของผลผลิตก็ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นเช่นเดียวกัน (อยู่บนพื้นฐานของการเพิ่มปริมาณวิตามินซี และน้ำตาลในผลไม้) เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม คาดคะเนว่าถ้าแบคทีเรียสังเคราะห์แสงและแบคทีเรียที่ตรึงในโตรเจน ในดินและที่พื้นผิวใบพืชมีจำนวนมาก อาจจะช่วยให้พืชมีอัตราและมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการทดลองสนับสนุนความคิดนี้ได้ Red (1979) พบว่า พลังงานสุทธิที่ได้รับจากการสังเคราะห์ของ Pinus ponderosa และ P. flexilis มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ขณะที่มี Ectomycorrhizae อาศัยอยู่ร่วมกับรากพืชเพิ่มจำนวนขึ้น Ruinen (1970) เป็นหนึ่งในจำนวนนักวิทยาศาสตร์ที่เริ่มดำเนินการค้นคว้า ถึงการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียมที่ผิวใบ Pati และ Chandra (1981) และ Sen Gupta และคณะ (1982 a; 1982b) รายงานว่า แบคทีเรียที่ทำหน้าที่ตรึงไนโตรเจนบนผิวใบสามารถจะเพิ่มผลผลิตของพืชผลได้

ปัญหาเกี่ยวกับความถูกต้องทางด้านวิทยาศาสตร์จุลินทรีย์อีเอ็ม

มีนักวิทยาศาสตร์เป็นจำนวนมากยังสงสัยว่าจะเป็นไปได้หรือที่จะนำเอาจุลินทรีย์ไปใส่ในสภาพแวดล้อมของดิน – พืช และไปเปลี่ยนสมดุลของจุลินทรีย์ เพื่อจะให้เกิดผลไปในทางที่เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตของพืชผล นักวิทยาศาสตร์เหล่านี้กล่าวว่า กรณีนี้เป็นไปได้เฉพาะในกรณีของการคลุกเชื้อ Rhizobium sp. ของเมล็ดถั่วเท่านั้น โดยใช้สปอร์ของแบคทีเรียจำนวนมากคลุกเปลือกหุ้มเมล็ดเพื่อมิให้รอดชีวิตและอยู่อาศัยที่รากถั่ว ยิ่งกว่านั้นนักวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับจุลินทรีย์ดินได้รู้ว่ามีผู้พยายามที่จะเพาะเชื้อจุลินทรีย์

ที่มีประโยชน์ลงไปในดิน โดยการใช้จุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว ซึ่งก็ล้มเหลวไม่ได้รับการตอบสนองที่เป็นไปตามที่คาดคิด ที่เป็นเช่นนี้ เพราะจุลินทรีย์ที่นำไปปลูกเชื้อนั้นจะตายในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในดิน

ความถูกต้องทางด้านวิทยาศาสตร์ในการปลูกเชื้อลงไปในดิน โดยการใช้จุลินทรีย์หลายชนิดจะเป็นจริงหรือไม่ บางท่านพิจารณาถึงการยอมรับในแง่การปฏิบัติ ซึ่งเช่นเดียวกับการใส่มูลสัตว์ เศษซากพืชที่เหลือใช้และปุ๋ยเคมีสดลงไปในดินเพื่อใช้ในการเกษตร อินทรียวัตถุทั้งหมดก็จะเป็นที่อยู่อาศัยของประชากรจุลินทรีย์เป็นประโยชน์ ซึ่งไม่ใช่จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดิน ในทิศทางที่จะเพิ่มผลผลิตและป้องกันโรคแมลง การที่จะทำให้เป็นที่ยอมรับหรือทำให้ดีขึ้นสำหรับการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม โดยนำเชื้อของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์หลายชนิดมาปนกันแล้วนำใส่ลงไปในระบบนิเวศวิทยาการเกษตร เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้รับผลอย่างเหมาะสมในช่วงเวลายาวนานและใช้ประโยชน์เมื่อทำซ้ำและได้ผลเหมือนเดิมอีก

อย่างไรก็ตาม ยังมีคำถามที่ยังไม่มีคำตอบ เกี่ยวกับกลไกต่าง ๆ ของจุลินทรีย์อีเอ็มทำงานหรือร่วมกันทำงานในสภาพแวดล้อมของดิน – พืชอย่างไร และความมีประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มภายใต้สภาพแวดล้อมของดิน – พืช ในสภาพเครียด (Stress) (เช่น แล้งอย่างรุนแรง อุณหภูมิดินสูง และในสภาพที่ดินขาดธาตุอาหาร) เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์อีเอ็มในขณะนี้แล้ว ยังอยู่ในระหว่าง ค้นคว้าวิจัยเป็นจำนวนมากในแถบประเทศเอเชีย และแปซิฟิก เพื่อที่จะตอบปัญหาเหล่านี้ ซึ่งคงจะเพิ่มความถูกต้องทางด้านวิทยาศาสตร์ของจุลินทรีย์อีเอ็มในปีต่อ ๆ ไป

4.7 ลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์อีเอ็ม

จุลินทรีย์อเอ็ม เป็นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างสรรค์ เป็นกลุ่มที่มีประโยชน์ หรือเรียกว่ากลุ่มธรรมะ ดังนั้น เวลาจะใช้จุลินทรีย์อีเอ็มต้องคำนึงถึงอยู่เสมอว่า จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีลักษณะดังนี้ ต้องการที่อยู่ ที่เหมาะสม ไม่ร้อนเกินไป หรือเย็นเกินไป อยู่ในอุณหภูมิปกติ ต้องการอาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล รำข้าว โปรตีน และสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา 2545 : 46)

1) เป็นของเหลวสีน้ำตาลกลิ่นหอมอมเปรี้ยวอมหวาน (เกิดจากการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในจุลินทรีย์อีเอ็ม)

2) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะและยาฆ่าเชื้อต่าง ๆ ได้

3) ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืช และแมลงที่เป็นประโยชน์

4) ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

5) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ ที่ทุกคนสามารถนำไปเพาะขยายเพื่อช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง

การเก็บรักษาจุลินทรีย์

1) สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน อย่างน้อย 6 เดือน ในอุณหภูมิห้องปกติ ไม่เกิน 46 – 50 ^{0}ซ ต้องปิดฝาให้สนิท อย่าให้อากาศเข้าและอย่าเก็บไว้ในตู้เย็น

2) หัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถเก็บได้นานประมาณ 1 ปี โดยปิดฝา ให้สนิท

3) อย่าทิ้งจุลินทรีย์อีเอ็มไว้กลางแดด และ อย่าเก็บไว้ในตู้เย็น เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ

4) ทุกครั้งที่แบ่งไปใช้ต้องรีบปิดฝาให้สนิท เพื่อไม่ให้เชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ในอากาศที่เป็นโทษ เข้าไปปะปน

5) การนำจุลินทรีย์อีเอ็มไปขยายต่อ ควรใช้ภาชนะที่สะอาด และใช้ให้หมดในระยะเวลาที่เหมาะสม

ข้อสังเกตพิเศษ

1) หากนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงไม่ต่ำกว่า 700 เท่า จะเห็นจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อยู่มากมาย

2) เมื่อนำไปขยายเชื้อในน้ำและกากน้ำตาล จะมีกลิ่นหอมและ เป็นฟองขาวๆ ภายใน 2-3 วัน ถ้าไม่มีฟอง น้ำนิ่งสนิทแสดงว่าการหมักขยายเชื้อยังไม่ได้ผล

3) จุลินทรีย์อีเอ็มปกติจะมีกลิ่นหอมอมเปรี้ยวอมหวาน ถ้าเสียแล้วจะมีกลิ่นเน่าเหมือนกลิ่นจากท่อน้ำทิ้งเก่า ๆ

4) หากจุลินทรีย์อีเอ็มเปลี่ยนเป็นสีดำ มีกลิ่นเหม็นเน่า ถือว่าจุลินทรีย์อีเอ็มตาย ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก ให้นำจุลินทรีย์อีเอ็มที่เสียผสมน้ำรดกำจัดหญ้าและวัชพืชที่ไม่ต้องการได้

5) กรณีที่เก็บไว้นาน ๆ โดยไม่มีเคลื่อนไหวภาชนะ จะมีฝ้าขาว ๆ เหนือผิวน้ำจุลินทรีย์อีเอ็ม นั่นคือการทำงานของจุลินทรีย์อีเอ็มที่ฟักตัว เมื่อเขย่าแล้วทิ้งไว้ชั่วขณะ ฝ้าสีขาวจะสลายตัวกลับไปในจุลินทรีย์อีเอ็มเหมือนเดิม

ลักษณะการผลิต

เพาะขยายจากจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์มากกว่า 80 ชนิด จากกลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติค กลุ่มจุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน กลุ่มจุลินทรีย์เอคทีโนมัยซีทส์ กลุ่มจุลินทรีย์ยีสต์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้จากธรรมชาตินำมาเพาะเลี้ยงและขยายให้จุลินทรีย์ขยายตัวด้วย ปริมาณที่สมดุลกันด้วยเทคโนโลยีพิเศษ โดยใช้อาหารจากธรรมชาติ เช่น โปรตีน รำข้าว และสารประกอบอื่น ๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

4.8 ประโยชน์ของจุลินทรีย์อีเอ็มทั่วไป

ด้านการเกษตร

1) ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในดินและน้ำ

2) ช่วยแก้ปัญหาจากแมลงศัตรูพืชและโรคระบาดต่าง ๆ

3) ช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำและอากาศผ่านได้ดี

4) ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุ เพื่อให้เป็นปุ๋ย (อาหาร) แก่อาหารพืชดูดซึมไปเป็นอาหารได้ดีไม่ต้องใช้พลังงานมากเหมือนการให้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

5) ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช พืชให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีขึ้น

6) ช่วยให้ผลผลิตคงทน สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน มีประโยชน์ต่อการขนส่งไกล ๆ เช่น ส่งออกต่างประเทศ

7) ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มปศุสัตว์ ไก่และสุกร ได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

8) ช่วยกำจัดน้ำเสียจากฟาร์มได้ภายใน 1 – 2 สัปดาห์

9) ช่วยกำจัดแมลงวัน โดยการตัดวงจรชีวิตของหนอนแมลงวันไม่ให้เข้าดักแด้เกิดเป็นตัวแมลงวัน

10) ช่วยป้องกันอหิวาตกโรคและโรคระบาดต่าง ๆ ในสัตว์แทนยาปฏิชีวนะและอื่น ๆ ได้

11) ช่วยเสริมสุขภาพสัตว์เลี้ยง ทำให้สัตว์แข็งแรงมีความต้านทานโรคสูง ให้ผลผลิตสูง อัตราการตายต่ำ

ด้านการประมง

1) ช่วยควบคุมคุณภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้
2) ช่วยแก้ปัญหาโรคพยาธิในน้ำเป็นอันตรายต่อกุ้ง ปลา กบ หรือสัตว์น้ำที่เลี้ยงได้
3) ช่วยรักษาโรคแผลต่าง ๆ ในปลา กบ จระเข้ ฯลฯ ได้
4) ช่วยลดปริมาณขี้เลนในบ่อ และทำให้เลนไม่เน่าเหม็น สามารถนำไปผสมปุ๋ยหมักใช้พืชต่าง ๆ ได้ดี

ด้านสิ่งแวดล้อม

1) ช่วยปรับสภาพเศษอาหารจากครัวเรือน ให้กลายเป็นปุ๋ยที่มีประโยชน์ต่อพืชผักได้
2) ช่วยปรับสภาพน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน โรงงาน โรงแรมหรือแห่งน้ำเสีย
3) ช่วยดับกลิ่นเหม็นจากกองขยะที่หมักหมมมานานได้

4.9 การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดจากชุมชน

ใช้จุลินทรีย์ที่ขยายแล้ว นำไปราดตามท่อระบายน้ำลงในถังชำระล้างต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เพื่อให้น้ำผสมจุลินทรีย์ทำการบำบัด และไหลลงไปรวมในบ่อบำบัดและไหลลงไปรวมในบ่อบำบัดน้ำต่อไป

น้ำเสียจากโรงพยาบาล โรงแรม และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ใช้จุลินทรีย์ที่ขยายแบบน้ำและโบกาฉิกับระบบบำบัดน้ำเสีย ที่มีอยู่เดิม (ด้วยวิธีใช้

เครื่องตีน้ำ เพื่อให้อากาศแก่แบคทีเรียที่ต้องการอากาศทำงาน)

จุลินทรีย์อีเอ็มเป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศในการทำงานจึงสามารถบำบัดน้ำเสีย โดยการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ในน้ำเสียให้สะอาดได้ ไม่ต้องใช้เครื่องตีน้ำเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้า และสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีมีประสิทธิภาพกว่าและย่อยสลายตะกอนที่เป็นอินทรียวัตถุจนหมดได้ สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดขั้นสุดท้ายแล้วไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ได้อีกด้วย

ขยะที่ได้จากครัวเรือน ร้านอาหาร และโรงแรมส่วนใหญ่จะเป็นขยะเปียกจำพวกเศษอาหารซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็น สามารถบำบัดกลิ่นเหม็น อีกทั้งสามารถทำการย่อยสลายเศษอาหาร นำไปใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชผัก และไม้ผลต่าง ๆ ไดอีกด้วย (นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่ ปีที่ 12 ฉบับที่ 65 เดือนมีนาคม 2547 : 72)

โดยการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มที่ขยายแล้ว ผสมน้ำ 1 : 100 ฉีดพ่นบริเวณกองขยะ หรือพ่นให้คลุกเคล้ากับขยะที่จะนำไปทิ้ง หรือนำไปฉีดบนกองขยะ ที่รถขนขยะเทศบาลนำไปทิ้งในที่ทิ้งขยะ จุลินทรีย์อีเอ็มก็จะทำงานบำบัดขยะ ลดกลิ่นเหม็น และไม่มีแมลงวัน หลังจากฉีดขยะด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม แล้วนำไปฝังกลบก็จะยิ่งเป็นผลดี

ถ้าใช้โบกาฉิในการบำบัดน้ำเสีย โดยถ้าเป็นบ่อลึก มีโคลนตมมาก อาจจะนำผสมกับรำละเอียดและดิน คลุกเคล้าให้พอเหมาะปั้นเป็นก้อนได้ หมักไว้ 1 วัน แล้วโยนลงไปในบ่อ หรืออีกวิธีหนึ่งคือ นำโบกาฉิใส่ถุงปุ๋ย มัดปากถุงให้แน่น แล้วนำลงไปแช่ในน้ำเสีย (ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซมูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา 2545 : 46)

4.10 บทบาทของจุลินทรีย์ธรรมชาติในด้านเกษตรและสิ่งแวดล้อม

พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาปริมาณเชื้อราในจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่าปริมาณของเชื้อราในระดับบน กลาง ล่าง ของอาหารเลี้ยงเชื้อ ไม่แตกต่างกันมากนัก ในจุลินทรีย์อีเอ็มชุดที่ 1 จะมีปริมาณเชื้อราเมื่อ 0 สัปดาห์เท่ากับ $8x10^4$ จำนวนโคโลนี/มิลลิลิตร (Colony Forming Units per Milliliter ; CFU/ml)ใน จุลินทรีย์อีเอ็มชุดที่ 2 พบว่าปริมาณเชื้อราเฉลี่ยเมื่อ 0 สัปดาห์ เท่ากับ $9.6x10^4$ จำนวนโคโลนี/มิลลิลิตรในจุลินทรีย์อีเอ็มชุดที่ 3 พบว่าปริมาณเชื้อราเฉลี่ยเมื่อ 0 สัปดาห์ เท่ากับ $2.5x10^4$ จำนวนโคโลนี/มิลลิลิตร ส่วนการศึกษาชนิดของเชื้อราในจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มแต่ละชุดจะมีชนิดของเชื้อราที่แตกต่างกัน เชื้อราที่พบในจุลินทรีย์อีเอ็มทุกชุด คือ *Aspergillus niger, Penicillium* (สีเขียวเข้ม) , *Penicillium* (สีเทา) และ *Penicillium* (สีเขียวผิวหยัก) ส่วนการศึกษาความอยู่รอดของเชื้อราในจุลินทรีย์อีเอ็มในช่วงเวลา

ต่าง ๆ ตั้งแต่ 0, 8 และ 16 สัปดาห์ พบว่าเชื้อราส่วนใหญ่จะมีปริมาณมากในจุลินทรีย์อีเอ็ม และสามารถคงทนอยู่ได้ทั้งในระดับผิวบน ผิวล่าง และกลางภาชนะ และจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 8 สัปดาห์

ธงชัย คัมภีร์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาเชื้อแบคทีเรียในจุลินทรีย์อีเอ็ม 2 สกุล คือ *Actinomyces* sp. และ *Streptomyces* sp. ในการแยกเชื้อบริสุทธิ์ของ *Actinomyces* sp. จากสารจุลินทรีย์อีเอ็ม 3 ตัวอย่างโดยอาหารเลี้ยงเชื้อจำเพาะ 2 ชนิด ปรากฏว่าไม่พบแบคทีเรียชนิดนี้เลย ผลของการแยกเชื้อบริสุทธิ์ของ *Streptomyces* sp. จะได้ไอโซเลทที่แตกต่างกัน 6 ไอโซเลท การทดสอบความสามารถในการย่อยเซลลูโลสของเชื้อ *Streptomyces* 6 ไอโซเลท เปรียบเทียบกับเชื้อรา *Aspergillus niger* พบว่ามีเพียง 2 ไอโซเลทเท่านั้นที่มีความสามารถในการย่อยเซลลูโลสค่อนข้างดี ส่วนการศึกษาการผลิตสารยับยั้งการเจริญต่อจุลินทรีย์อื่นของ *Streptomyces* 6 ไอโซเลท และประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญต่อจุลินทรีย์ทดสอบ 5 ชนิด คือ*Bacillus Cereus, Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus* และ *Aspergillus niger* มีเพียงไอโซเลทเดียวจาก 3 ไอโซเลท ที่ผลิตสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อื่น ซึ่งมีประสิทธิภาพค่อนข้างดีต่อการยับยั้งการเจริญของ *Bacillus Cereus* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทดสอบชนิดอื่นและเชื้อรา *Aspergillus niger*

นภา โล่ห์ทอง และคณะ (2538) ได้ศึกษาปริมาณ *Lactic acid bacteria* ในตัวอย่างจุลินทรีย์อีเอ็ม 2 ตัวอย่างพบว่า มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นต่างกัน กล่าวคือ พบเชื้อ 9.9 $x10^6$ จำนวนเซลล์/มิลลิลิตร ในตัวอย่างที่ 1 และในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มีเชื้อเพียง 6.6 $x10^5$ จำนวนเซลล์/มิลลิลิตร โดยที่ปริมาณ lactic acid bacteria ในตัวอย่างแรกจะคงอยู่ประมาณ 9 สัปดาห์ และลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 11 จนตรวจพบในสัปดาห์ที่ 13 ส่วนตัวอย่างที่ 2 นั้น ปริมาณเชื้อจะลดลงตามลำดับ หลังจากเริ่มการทดลองและตรวจไม่พบในสัปดาห์ที่ 7 จากการจำแนกชนิดพบว่าเชื้อทุกไอโซเลทที่แยกได้อยู่ใน *genus Lactobacillus* และจัดจำแนกเป็น *L.plantarum, L.casei* และ *L.rhamnosus* โดยพบ *L. plantarum* เป็นส่วนใหญ่

สาวิตรี ลิ่มทอง และคณะ (2538) ได้ศึกษาเชื้อยีสต์ในจุลินทรีย์อีเอ็ม 2 ตัวอย่าง พบว่ามีเชื้อยีสต์อยู่ $10^5 – 10^6$ จำนวนโคโลนี/มิลลิลิตร จำนวนเชื้อเพิ่มขึ้นจากจากเริ่มต้นในช่วงเวลา 3 – 4 เดือนของการเก็บยีสต์ส่วนใหญ่อยู่ที่ผิวหน้าของจุลินทรีย์อีเอ็ม โดยมีการสร้างแผ่นฝ้า ซึ่งมีความหนาเพิ่มขึ้นตามอายุของการเก็บ เชื้อยีสต์ที่พบเสมอในจุลินทรีย์อีเอ็ม คือ *Candida*

นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์ และ กฤตวรรณ วงศ์ศิริเดช (2538) ได้ศึกษาแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่าในจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีแบคทีเรียสังเคราะห์แสงทั้งในกลุ่ม purple และ green bacteria ผลการทดลองนี้เป็นเช่นเดียวกับผลที่รายงาน โดย นายคิมูรา จากสมาคมดินและปุ๋ยของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งตีพิมพ์ในนิตยสารข่าวสารสิ่งแวดล้อม “Terra” ของประเทศญี่ปุ่น ตีพิมพ์ฉบับเดือน กรกฎาคม 2537และที่รายงานโดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ T. Morinaga แห่งภาควิชา Fermentation Technology, Faculty of Engineering, Hiroshima University, Japan.

สมพร ชุนห์ลือชานนท์ บรรหาร แตงฉ่ำ และ จิรยุทธ ตันวีนุกุล (2538) ได้ทำการทดลองถึงผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยทำการเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 5 ชนิด *คือ Nostoc* sp., *Calothrix* sp., *Tolypothrix* sp., *Anabaena siamensis* และ *A.oryzae* ในสารละลาย BG_{11} ที่มีสารละลายจุลินทรีย์อีเอ็มเข้มข้น 3 ระดับ คือ 150, 300 และ 600 ppm. ผลการทดลองพบว่า สารจุลินทรีย์อีเอ็ม ในระดับ 150 และ 300 ppm. ช่วยให้สาหร่ายโดยไม่ใส่สารจุลินทรีย์อีเอ็ม และการเจริญเติบโตจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของจุลินทรีย์อีเอ็มสูงกว่า 300 ppm.

บรรหาร แตงฉ่ำ และสมพร ชุนห์ลือชานนท์ (2538) ได้ศึกษาถึงผลของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อการเจริญของเชื้อ *Azotobacter* และ *Azospirilium* จึงทำการทดลองโดยใช้ เชื้อ *Azotobacter* เลี้ยงในอาหารที่ปราศจาก ไนโตรเจน เปรียบเทียบกับการเลี้ยงเชื้อในอาหารที่ปราศจากไนโตรเจน แต่ใส่ซูเปอร์จุลินทรีย์อีเอ็มด้วย 1% ปรากฏว่าการเลี้ยงเชื้อทั้งสองวิธี จะให้ปริมาณเชื้อที่ใกล้เคียงกันแต่การเลี้ยงเชื้อ *Azotobacter* ร่วมกับ ซูเปอร์จุลินทรีย์อีเอ็ม จะมีจุลินทรีย์อื่นปนเปื้อนมาก ส่วนการเลี้ยงเชื้อ *Azotobacter brasilense* ในอาหารสูตร Dobereiner (1980) และในอาหารสูตร Dobereiner (1980) ร่วมกับซูเปอร์จุลินทรีย์อีเอ็ม 1% ปรากฏว่าการเลี้ยงเชื้อในอาหารสูตรผสมซูเปอร์จุลินทรีย์อีเอ็ม จะมีเชื้อปริมาณน้อยกว่าไม่ใส่ซูเปอร์จุลินทรีย์อีเอ็ม

อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ และ คณะ (2538) ได้ศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์อีเอ็มในการเป็นสารยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแบ่งงานทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ใส่สารทดสอบความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ไม่เจือจางจนถึงเจือจาง 10^{-7} พร้อมกับปลูกเชื้อ *Proteus vulgaris* ชุดที่ 2 ทำอย่างเดียวกับชุดที่ 1 แต่ไม่ได้ปลูกเชื้อ *Proteus vulgaris* ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มที่เพาะขยาย และสารละลายกากน้ำตาลหมัก มีฤทธิ์เป็นสารยับยั้งมากที่สุด

รองลงมา เป็นจุลินทรีย์อีเอ็มหัวเชื้อ ส่วนสารละลายกากน้ำตาลไม่ฆ่าเชื้อ และสารละลายกากน้ำตาลฆ่าเชื้อไม่ออกฤทธิ์การยับยั้ง การทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์อีเอ็มมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ความสามารถการยับยั้งได้จากกรด ซึ่งเกิดจากการหมักกากน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ในจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถสร้างกรดได้เป็นปริมาณมากระดับหนึ่ง และไปยับยั้งการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ *Proteus vulgaris* ได้

Srituma (1995) ได้ศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกร จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์อีเอ็มสามารถลดกลิ่นเหม็นของฟาร์มสุกรได้ร้อยละ 80 สามารถลดจำนวนแมลงวันได้ร้อยละ 60.45 และ จุลินทรีย์อีเอ็มสามารถกำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 36.0 สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 68.8

สมชัย จันทร์สว่าง และ คณะ (2537) ได้รายงานผลการทดลองการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยการเลี้ยงขยายจุลินทรีย์ธรรมชาติแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi – continuous mass culture) และผสมในน้ำล้างคอกและน้ำดื่มของสุกร ผลการทดลองพบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มสามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากคอกสุกรที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง สามารถลดความสกปรกเป็นค่าบีโอดีลงได้ถึงร้อยละ 91 ทั้งยังพบว่าการล้างคอกทุกวันด้วยน้ำสะอาดผสม จุลินทรีย์อีเอ็มที่หมักแล้ว สามารถลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ มูลสุกรที่บำบัดด้วยจุลินทรีย์อีเอ็มแล้วพบว่ามีคุณค่าสูงทางด้านปุ๋ยและอาหารของพืชโดยมีส่วนประกอบของโปรตีน 23.6 % และส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่าง ๆ ที่สูงมาก

สารสิน อุยยานนท์ และคณะ (2538) ศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น พบว่า น้ำเสียที่ใส่และไม่ใส่จุลินทรีย์อีเอ็มให้ผลการบำบัดเช่นเดียวกัน ความเข้มข้นต่างๆ ของจุลินทรีย์อีเอ็มที่ใส่ในน้ำเสียไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย แบบแผนของการย่อยสลายน้ำเสียกลางแจ้ง และในที่มืดมีปฏิกิริยาเป็นไปตามทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสียทั่วไปไม่มีตัวแปรใด ๆ ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้นโดยการใส่จุลินทรีย์อีเอ็ม กลิ่นอันเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย พบว่าเมื่อใส่จุลินทรีย์อีเอ็มกลิ่นซึ่งวัดเป็นค่า amonia และ hydrogen sulfide ยังมีค่าสูง โดยการทดลองนี้พบว่า จุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีส่วนในการลดปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นดังกล่าว อัตราการย่อยสลายน้ำเสีย เมื่อใส่จุลินทรีย์อีเอ็มพบว่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก็เหมือนกับการ Seeding ระบบน้ำเสียโดยทั่วไป ผลของการทดลองมิได้แสดงให้เห็นถึงการเกิด antioxidation reaction ตามรายงานของผู้

คิดค้นจุลินทรีย์อีเอ็ม

สาทร สิริสิงห์ และขวัญชัย สมบัติศิริ (2538) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ EM ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูคะน้า พบว่า การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูคะน้าที่สำคัญ ได้แก่ หนอนใยผัก หนอนกระทู้หอม หนอนคืบกะหล่ำ และด้วงหมัดผัก ตั้งแต่คะน้าอายุ 10 วัน จนกระทั่งเก็บเกี่ยวนั้น ไม่มีประสิทธิภาพในการควบคุมและป้องกันกำจัดแมลงศัตรูคะน้าได้

ภาวนา ลิกขนานนท์ และสมศักดิ์ วังใน (2538) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม ปุ๋ยหมักจากจุลินทรีย์ไฮเทค ปุ๋ยหมักจาก พด.1 ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง (มูลโคสด) ปุ๋ยหมักจากจุลินทรีย์อีเอ็ม (โบกาฉิ) และปุ๋ย NPK โดยศึกษาความสูงและน้ำหนักสดของผักบุ้ง ผักคะน้า และผักกวางตุ้ง ผลการทดลองสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักจากจุลินทรีย์อีเอ็ม ปุ๋ยหมักจาก พด.1 ปุ๋ยหมักจากมูลสัตว์เคี้ยวเอื้อง (มูลโคสด) ปุ๋ยหมักจากจุลินทรีย์อีเอ็ม (โบกาฉิ) มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่า ปุ๋ยหมักจากจุลินทรีย์ไฮเทค และปุ๋ย NPK

สมศักดิ์ นุกูลอุดมพาณิชย์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม : กรณีศึกษาบ่อพักน้ำเสีย โรงพยาบาลคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียก่อนฉีดพ่นสารจุลินทรีย์อีเอ็ม มีค่าความเป็นกรด- ด่างเท่ากับ 8.0 ส่วนสารละลาย มีค่าเท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสารแขวนลอย มีค่าเท่ากับ 71.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนตะกอนหนักมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบีโอดี มีค่าเท่ากับ 54.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 43.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของคุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียหลังฉีดพ่นสารจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่ามีค่าความเป็นกรด- ด่างเท่ากับ 8.0 ส่วนสารละลาย มีค่าเท่ากับ 580 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนสารแขวนลอย มีค่าเท่ากับ 63 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนตะกอนหนักมีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนบีโอดี มีค่าเท่ากับ 61 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 38.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิผลของรูปแบบการแก้ปัญหาน้ำเสียโดยใช้สารจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่าสารจุลินทรีย์อีเอ็ม มีประสิทธผลในการลดปริมาณสารละลายร้อยละ 11.77 ลดปริมาณสารแขวนลอย ร้อยละ 11.89 ลดปริมาณน้ำมันและไขมันร้อยละ 10.88 ลดตะกอนหนักร้อยละ 50 สามารถลดกลิ่นเหม็นได้ดี และสุดท้ายสารจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีประสิทธิผลในการลดความเป็นกรด – ด่าง และคาบีโอดี

สมศักดิ์ วังใน และภาวนา ลิกขนานนท์ (2538) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของกองปุ๋ยหมักซึ่งได้แก่ การเพิ่มของอุณหภูมิ ปริมาณเชื้อรา แอคติโนมัยซีท แบคทีเรีย การลดลงของปริมาตร และการลดลงของอัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์ในโตรเจนของกองปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลา 0 – 90 วัน แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ปุ๋ยหมัก พด.1 หรือกรมพัฒนาที่ดิน 1 มีประสิทธิภาพในการทำให้ฟางข้าวกลายเป็นปุ๋ยหมักสูงที่สุด รองลงไปได้แก่ มูลสัตว์เคี้ยวเอื้องสด จุลินทรีย์ปุ๋ยหมักไฮเทค และจุลินทรีย์อีเอ็ม ตามลำดับ สรุปว่า จุลินทรีย์ปุ๋ยหมัก พด.1 และ มูลสัตว์เคี้ยวเอื้องสดเหมาะสมที่จะใช้ผลิตปุ๋ยหมักมากกว่า จุลินทรีย์ปุ๋ยหมักไฮเทค และจุลินทรีย์อีเอ็ม

สมชัย จันทร์สว่าง และคณะ (2538) ได้รายงานผลการศึกษาวิจัยเรื่อง “ ผลของจุลินทรีย์อีเอ็มต่อลักษณะการเจริญเติบโต การให้ไข่ และลักษณะของของเสียในนกกระทาญี่ปุ่น ” พบว่า เมื่อ 4 สัปดาห์ การเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหารและอัตราการตายของลูกนกกระทา ในระยะเจริญเติบโตเมื่อ 4 – 12 สัปดาห์ การเสริมจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโต การให้ไข่ และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่มีผลอย่างมีนัยสำคัญของการเสริมจุลินทรีย์อีเอ็ม โดยพบว่า ในลักษณะคุณภาพของไข่นกกระทาที่ได้รับน้ำและ / หรืออาหารเสริมด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม ให้ไข่แดงมีสีเหลืองเข้มกว่าพวกที่ไม่ได้รับจุลินทรีย์อีเอ็ม ในลักษณะของของเสียผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า TVS ซึ่งใช้วัดกลิ่นเหม็นของมูล มีค่าลดลงมาก และส่วนประกอบของโปรตีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในนกกระทาที่ได้รับจุลินทรีย์อีเอ็ม เสริมในอาหาร 1 %

ภาวดี ภักดี และคณะ (2538) ได้ทดสอบประสิทธิภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มในการทำปุ๋ยหมัก (การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา) เปรียบกับสารเร่ง พด.1 ของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่ารูปแบบของระดับอุณหภูมิประจำวันในกองปุ๋ยหมักเป็นไปในแนวทางเดียวกันและอยู่ในช่วง 29.0 – 39.5 ^{0}ซ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา พบว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 1.45 ค่าความชื้นเฉลี่ยร้อยละ 85.58 ค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย 6.46 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักผักตบชวา อายุ 15 วัน พบว่า ค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 1.75 – 1.96 ค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 73.46 – 74.93 ค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ในช่วง 6.58 – 7.09

นวรัตน์ ใจศิล (2539) ได้ศึกษาการลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 250 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถ

ลดปริมาณมูลฝอยได้มากที่สุดถึงร้อยละ 98.74 เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ซึ่งลดลงร้อยละ 98.35 และ 97.86 ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.5 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ซึ่งลดลงร้อยละ 97.28 นั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ก็พบว่าในกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใส่จุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถลดปริมาณมูลฝอยลงร้อยละ 98.60 ซึ่งปริมาณที่ลดลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการลดปริมาณมูลฝอยนั้น กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 250 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถวัดปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดคือ จาก 2.147 กก. ในวันแรกเป็น 5.731 ก. ในวันที่ 28 ของการทดลอง ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ กับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ที่มีปริมาณน้ำเกิดขึ้นจาก 2.016 และ 2.232 กก. เป็น 5.377 และ 5.433 กก. ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.5 มล. และกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม โดยมีปริมาณน้ำเกิดขึ้นจาก 2.082 และ 1.883 กก. เป็น 5.254 และ 5.070 กก. ตามลำดับ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของมูลฝอยในถังทดลองจากทุกกรรมวิธีทดลองในสัปดาห์แรกของการทดลอง จะสูงกว่าในบรรยากาศประมาณ 1-2 ^{0}ซ และลดลงตามลำดับ เมื่อเริ่มเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ความเป็นกรด – ด่างในถังทดลองจะเพิ่มจาก 4.24 ในวันแรกของการทดลองเป็น 5.54, 5.96, 8.15 และ9.39 ในวันที่ 7, 14, 21 และ 28 ของการทดลองตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอย พบว่าคาร์บอนลดลงจากร้อยละ 47.75 ในวันแรกเหลือร้อยละ 39.71 ในวันที่ 28 ของการทดลอง ไฮโดรเจนลดลงจากร้อยละ 5.37 เหลือร้อยละ 4.47 และซัลเฟอร์ลดลงจากร้อยละ 2.45 เหลือร้อยละ 0.73 ในขณะที่ไนโตเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.53 เป็นร้อยละ 3.18

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) การศึกษาโดยใช้แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก แบบจำลองประกอบด้วย บ่อกักเก็บน้ำเสีย บ่อเติมอากาศ บ่อตกตะกอน บ่อเก็บน้ำใส และบ่อรับน้ำทิ้ง ตามลำดับ เดินระบบเป็นช่วง (Batch Scale) ระบบทำงานต่อเนื่อง (Continuous – Flow) ใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง และคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดได้มาตรฐานตามที่กฎหมายเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมกำหนดไว้ ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง อุณหภูมิ บีโอดี ตะกอนแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองดำเนินไปภายใต้สภาวะธรรมชาติ ง่ายต่อการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร คือ น้ำเสียทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 1 โรงงาน

2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำเสียที่เก็บจากบ่อผสมรวม ของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยนำน้ำเสียในบ่อผสมรวม มาทดลองในระบบจำลอง โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าสู่การบำบัดน้ำเสียของระบบจำลองส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพ จำนวน 16 ตัวอย่าง และน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 แล้วโดยไม่มีการเติมคลอรีนก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จำนวน 16 ตัวอย่าง

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 น้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นน้ำเสียที่เก็บจากบ่อเก็บกักของระบบ

บำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

3.2 จุลินทรีย์อีเอ็ม

ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มชนิดน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปของหัวเชื้อ ผลิตโดยศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี นำมาหมักขยาย ประกอบด้วยจุลินทรีย์อีเอ็ม 5 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก
2) กลุ่มจุลินทรีย์พวกสังเคราะห์แสง
3) ยีสต์
4) แอคติโนมัยซีส
5) กลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน

3.3 แบบจำลองระบบ ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้

3.3.1 บ่อเก็บกักน้ำเสีย (Equalizing Tank) เป็นถังพลาสติก ความจุ 70 ลิตร ใช้บรรจุน้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงาน

- เครื่องเติมอากาศ ใช้ระบบเป่าอากาศ (Diffused Air System) ใช้เครื่องเป่าอากาศ (Air Blower) ที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลา อัดอากาศส่งตามท่อไปยังหัวจ่ายอากาศ (Air Diffuser) ซึ่งติดตั้งที่ก้นถังกักเก็บน้ำเสีย

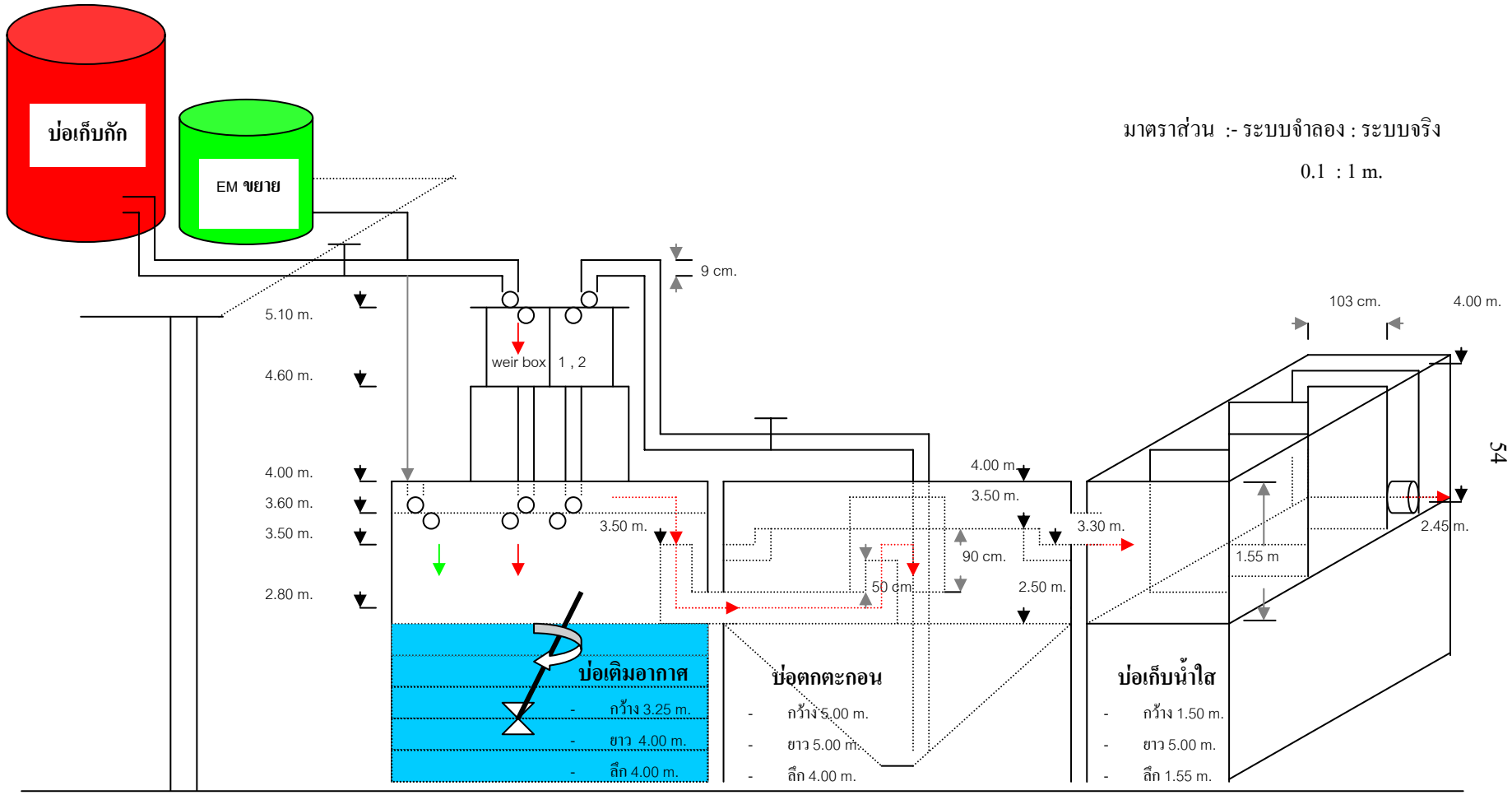
3.3.2 บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) (ลักษณะคล้ายตู้เลี้ยงปลา) ความจุ 41x54x32= 50 ลิตร ใช้รับน้ำเสียจากถังเก็บกักน้ำเสีย และการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มเพื่อทำปฏิกิริยาย่อยสลาย พร้อมกับการเติมอากาศ

- เครื่องเติมอากาศ ใช้ระบบเป่าอากาศ (Diffused Air System) ใช้เครื่องเป่าอากาศ (Air Blower) ที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลา อัดอากาศส่งตามท่อไปยังหัวจ่ายอากาศ (Air Diffuser) ซึ่งติดตั้งที่ก้นถังเติมอากาศ

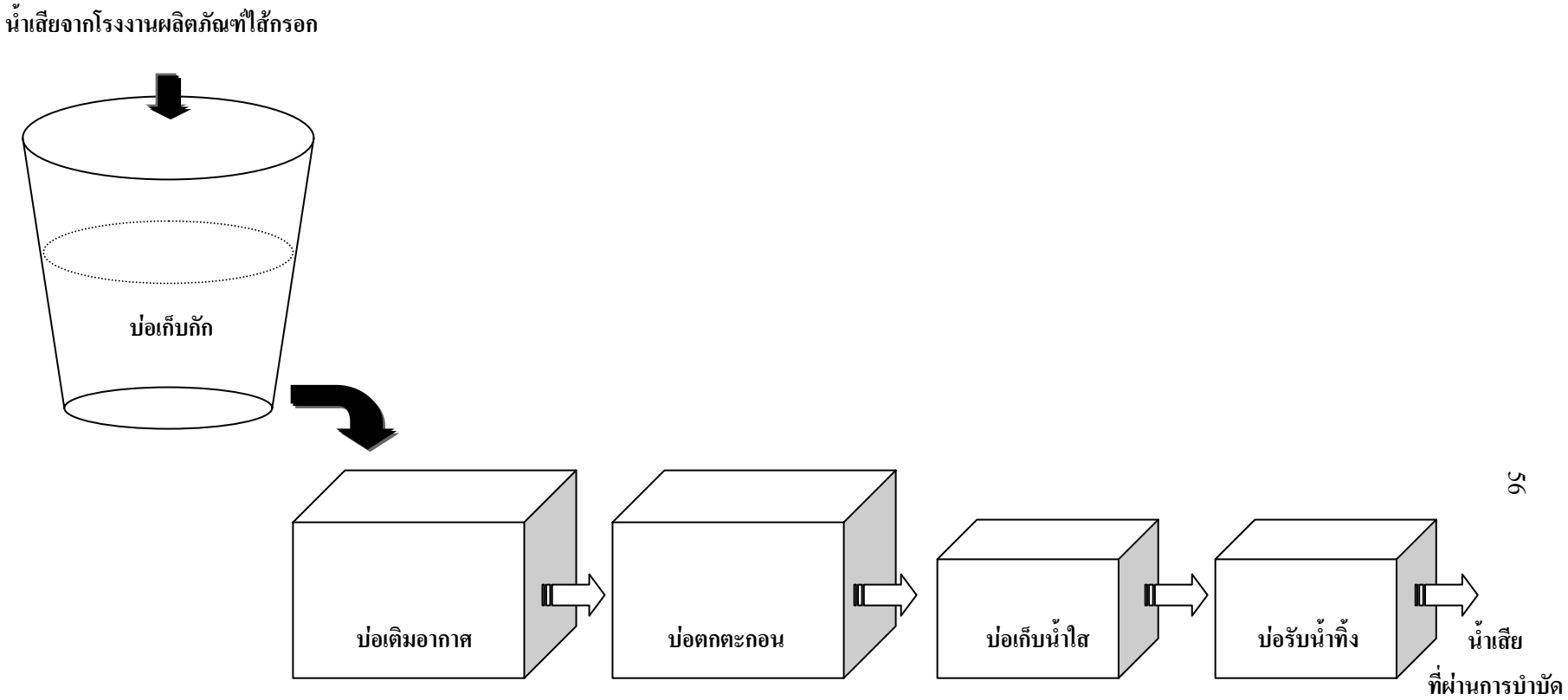
3.3.3 บ่อตกตะกอน (SedimentationTank) ความจุ 41x54x32=50 ลิตร เป็นช่วงดำเนินการต่อจากการเติมอากาศ โดยการปล่อยให้น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วตกตะกอน เพื่อการระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดทิ้งในลำดับต่อไป

3.3.4 บ่อเก็บน้ำใส เป็นถังพลาสติก ความจุ 35x46x27.5=23 ลิตร ใช้บรรจุน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว และใช้เป็นตัวอย่างน้ำในการส่งตรวจวิเคราะห์คุณภาพ ทางห้องปฏิบัติการ

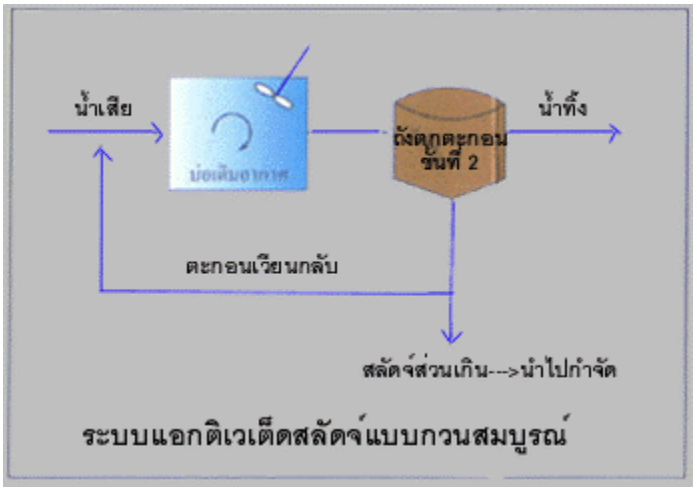
3.3.5 บ่อรับน้ำทิ้ง เป็นถังพลาสติก ความจุ 35x46x27.5=23 ลิตร ใช้รองรับน้ำทิ้งที่บำบัดแล้ว



ภาพที่ 3.1 ก ส่วนประกอบของหน่วยบำบัด ในระบบเอเอส



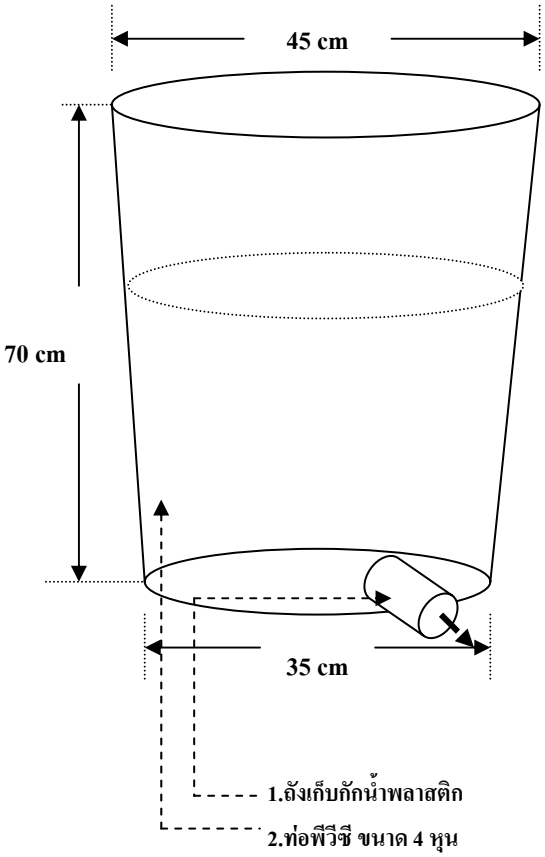
ภาพที่ 3.1 ค ทิศทางการไหลของน้ำเสียในแบบจำลองระบบเอเส



ภาพที่ 3.1 ข หลักการของระบบเอเอส

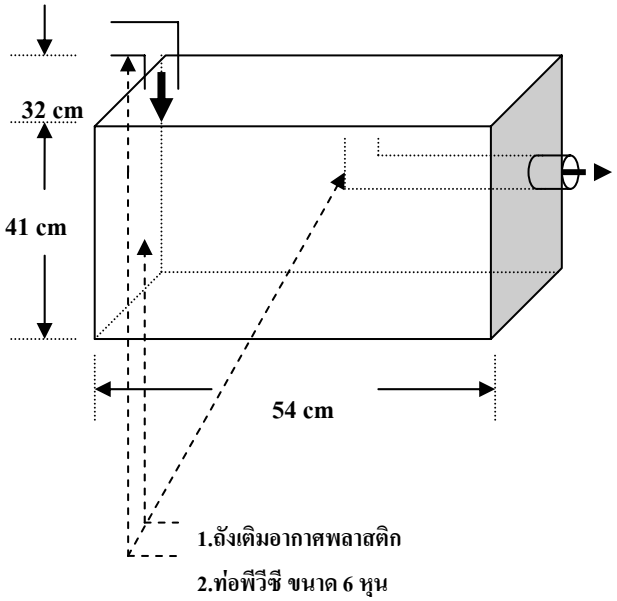
ภาพที่ 3.1 ง แบบจำลองของระบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง

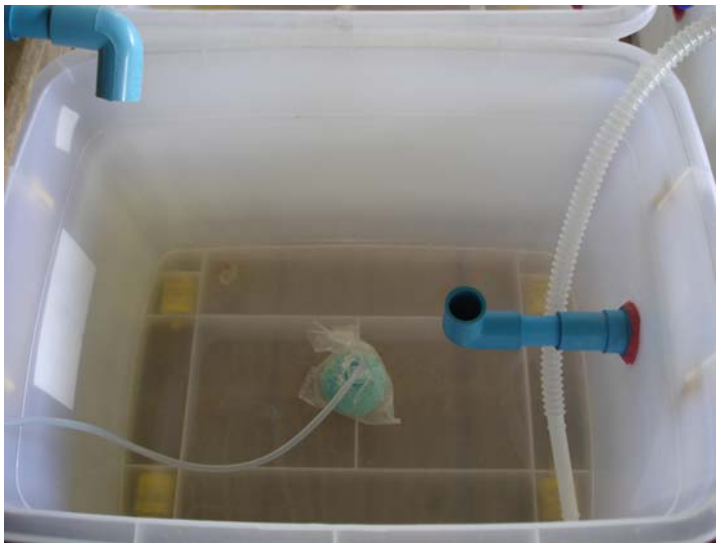
บ่อเก็บกัก (Equalizing Tank)



ภาพที่ 3.2 บ่อเก็บกักน้ำเสีย

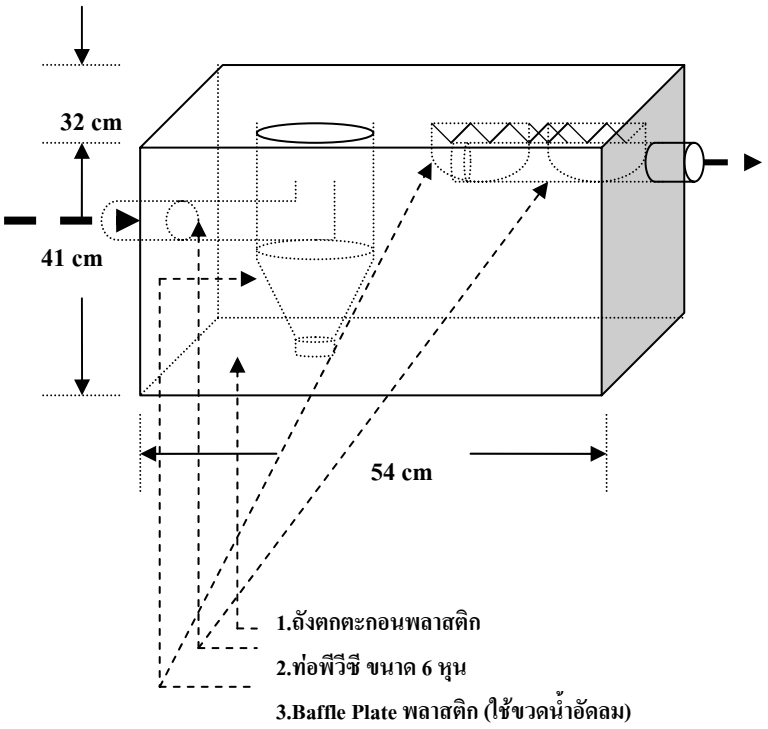
บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank)





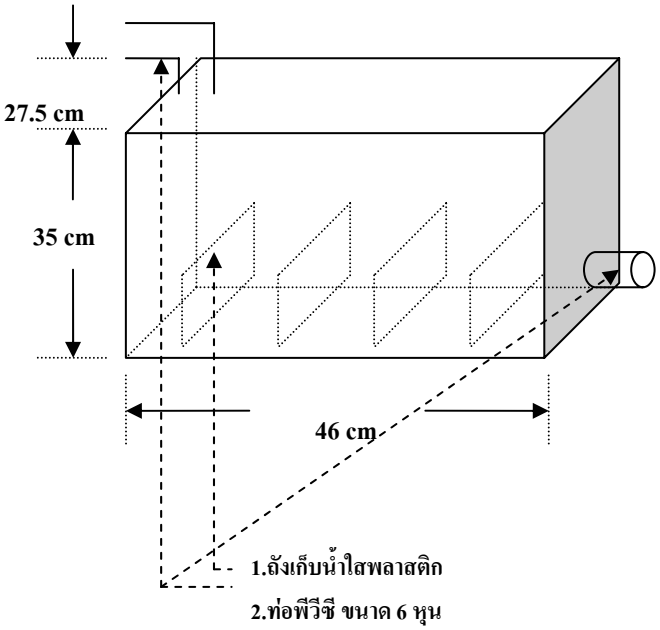
ภาพที่ 3.3 บ่อเติมอากาศ

บ่อตกตะกอน (Sedimentation Tank)



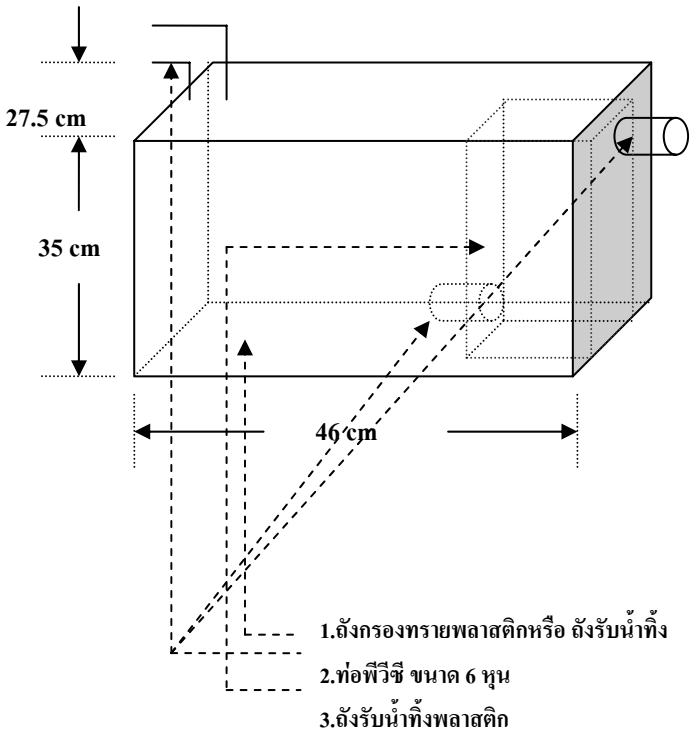
ภาพที่ 3.4 บ่อตกตะกอน

บ่อเก็บน้ำใส (Clear water Well)



ภาพที่ 3.5 บ่อเก็บน้ำใส

บ่อรับน้ำทิ้ง



ภาพที่ 3.6 บ่อรับน้ำทิ้ง

3.4 อุปกรณ์ภาคสนาม

3.4.1 ถังพลาสติกขนาด 70 ลิตร สำหรับใส่น้ำเสียจากโรงงาน นำมาทดลองในระบบจำลอง จำนวน 2 ใบ

3.4.2 ถังพลาสติก ขนาด 8 ลิตร จำนวน 2 ใบ เพื่อนำมาใช้สลับกันในการหมักขยายจุลินทรีย์อีเอ็มแบบน้ำ

3.4.3 กล่องพลาสติกขนาด 75.5 x 41 x 39.5 เซนติเมตร จำนวน 16 ใบ

3.4.4 เหยือกแก้วพลาสติก ขนาด 1 ลิตร จำนวน 4 ใบ ใช้สำหรับตวง

3.4.5 จุลินทรีย์อีเอ็มหัวเชื้อขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ลิตร

3.4.6 กากน้ำตาล ขนาด 1 ลิตร จำนวน 5 ลิตร

3.4.7 กาลักน้ำ จำนวน 4 อัน สำหรับ Return Sludge

3.4.8 เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ จำนวน 2 อัน

3.4.9 ชุดตรวจ DO จำนวน 1 ชุด

3.4.10 กระดาษลิสมัสตรวจความเป็นกรด - ด่าง จำนวน 1 ชุด

3.4.11 ท่อพีวีซี ขนาด 4 - 6 หุน

3.4.12 วาล์วท่อน้ำ ขนาด 4 – 6 หุน

นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เรือน

3.4.13 ถุงมือ ใช้สวมขณะทำการหมักจุลินทรีย์อีเอ็ม

3.4.14 เข็มฉีดยา ขนาด 1- 5 มิลลิลิตร ใช้ตวงอัตราส่วนจุลินทรีย์อีเอ็มใส่ในระบบจำลอง

3.4.15 กระดาษทิชชู จำนวน 5 ม้วน

3.4.16 เครื่องเติมอากาศ (ปั๊มเติมอากาศ และหินฟู่ ที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลา) จำนวน 3 เครื่อง

3.4.17 กระติกและแผ่นน้ำแข็ง สำหรับเก็บน้ำส่งตรวจ

3.4.18 เทปกาวใส จำนวน 1 ม้วน

3.4.19 กล้องถ่ายรูป จำนวน 1 ตัว

3.4.20 วัสดุ/อุปกรณ์สำนักงาน ในการดำเนินการวิจัย และคอมพิวเตอร์

3.5 เทคนิคการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม แบบน้ำ

จุลินทรีย์อีเอ็มขยายเป็นการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ให้แข็งแรงและเพิ่มจำนวน โดยการใช้อาหารประเภทกากน้ำตาล หรืออื่น ๆ ที่ใช้แทนกันได้ โดยมีส่วนผสมคือ จุลินทรีย์อีเอ็ม และกากน้ำตาลอย่างละ 1 ส่วน ต่อน้ำสะอาด 20 ส่วน

นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดไม่ให้มีอากาศเข้า หมักไว้เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำไปใช้ให้หมดภายใน 7 วัน วิธีการนี้ (จุลินทรีย์อีเอ็มขยายจะมีประสิทธิภาพและได้ผลดีที่สุด) การเก็บและการดูแลรักษาเหมือน จุลินทรีย์อีเอ็มหัวเชื้อ

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.6.1 การวิเคราะห์ความเป็นกรด - ด่าง (pH Value)

1) เครื่องมือ

(1) เครื่องวัดความเป็นกรด- ด่าง (pH meter) ใช้ วิธี Electrometric Method

(2) บีกเกอร์ (beaker)

3.6.2 การวิเคราะห์หาบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand ; BOD)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) ขวดบีโอดี ขนาดความจุ 300 มิลลิลิตร พร้อมฝาจุกปิด

(2) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

(3) บิวเรตต์ (Burette)

(4) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร

(5) ตู้เพาะเชื้อ (Incubator) ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ^{0}ซ $\pm$ 1 ^{0}ซ

(6) ปิเปต (Pipette)

(7) กระบอกตวง

2) รีเอเจนต์ (Reagents)

(1) สารละลายแมงกานิสซัลเฟต (Manganese Sulfate Solution)

(2) สารละลายอัลคาไลด์ ไอโอไดด์ เอไซด์ (Alkaline – lodide –

Azide Solution)

(3) กรดซัลฟูริคเข้มข้น (Conc.H_2SO_4)

(4) น้ำแป้ง (Starch solution)

(5) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.025 นอร์มัล ($Na_2S_2O_3.5H_2O$ 0.025 N)

(6) น้ำกลั่นปราศจากสารอินทรีย์ (Distilled Water)

(7) สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate Buffer solution)

(8) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (Magnesium Sulfate Solution)

(9) สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride Solution)

(10) สารละลายไอร์ออน (III) คลอไรด์ (Iron (III) Chloride)

(11) สารละลายกรดซัลฟูริค เข้มข้น 1 นอร์มัล (H_2SO_4 1 N)

(12) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 นอร์มัล (NaOH 1 N)

3.6.3 การวิเคราะห์สารแขวนลอย (Suspended Solids ; SS)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) กระดาษกรอง (Glass microfibre filters) (Whatman GF/C) , 7.0 เซนติเมตร

(2) Disposible filter funnels พร้อมชุดกรองตัวอย่าง

(3) นาฬิกา (watch glass) เส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 เซนติเมตร

(4) เครื่องดูดอากาศ

(5) ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 องศาเซลเซียส

(6) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

(7) เครื่องชั่งละเอียด (Analytical balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.6.4 การวิเคราะห์หาน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease)

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เครื่องสกัด Soxhlet (Soxhlet Extraction Apparatus)

(2) เตาไฟฟ้าที่ปรับอุณหภูมิได้

(3) ชุดกลั่นสุญญากาศซึ่งประกอบไปด้วย ขวดใส่ตัวอย่าง (Extraction flask) เครื่องดูดอากาศ เครื่องอังไอน้ำที่ปรับอุณหภูมิได้ถึง 85 องศาเซลเซียส

(4) ทิมเบิล (Extraction thimble)

(5) ชุดกรองสารสุญญากาศ (Vacuum filtration apparatus)

(6) กระดาษกรอง Whatman No.40 หรือยี่ห้ออื่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร

(7) ผ้ามัสลินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

(8) สำลี

(9) เครื่องชั่งละเอียด

(10) ตู้ดูดความชื้น

(11) เชือก

(12) แท่งแก้วขนาดยาว

(13) บีกเกอร์

(14) กระบอกตวงขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร

(15) กรรไกร

(16) ปากคีบ (forcep)

(17) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2) สารเคมี

(1) กรดเกลือเข้มข้น (conc.HCl) ใช้สำหรับการเก็บรักษาคุณภาพตัวอย่างน้ำ

(2) ตัวทำละลายอินทรีย์ ปกติใช้ Trichlorotrifluoroethane , เฮกเซน (n-hexane)

(3) โซเดียมชนิดผลึกที่ปราศจากน้ำ (anhydrous Na_2SO_4)

(4) สารละลายน้ำมันอ้างอิง (Reference oil)

4. วิธีดำเนินการทดลอง

4.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

เป็นน้ำทิ้งที่เกิดจากการผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ที่อัตราการผลิต 10 – 15 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยทำการนำตัวอย่างน้ำเสียมาจากโรงงานแล้วจึงนำมาทดลองในระบบจำลอง ในอัตรา 10 ลิตร/วัน ทุกวัน ในแต่ละชุดการทดลอง

4.2 การเตรียมจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลอง

4.2.1 การเตรียมจุลินทรีย์สำหรับการทดลองที่ 1

ใช้จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันที่โรงงานใช้เป็นประจำ ใช้เทราดในบ่อเติมอากาศตอนเย็น เนื่องจากต้องรอให้น้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานเย็นลง และเป็นช่วงที่เหมาะแก่การใช้จุลินทรีย์เพราะไม่มีสิ่งต่าง ๆ มารบกวนระหว่างทำปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนจุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน 1 กรัมต่อปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร (1 กรัม : 10,000 มิลลิลิตร) ใช้ใส่ในการทดลองที่ 1

4.2.2 การเตรียมจุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำสำหรับการทดลองที่ 2-4

1) หมักขยายจุลินทรีย์อีเอ็มอัตราส่วนจุลินทรีย์อีเอ็มหัวเชื้อ : กากน้ำตาล : น้ำสะอาด (1 : 1 : 20)

2) คนจนทั่วให้เข้ากันปิดฝาให้สนิท ทิ้งไว้ 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์อีเอ็มแบ่งตัวและเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามข้อแนะนำการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มของศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ และใช้ให้หมดภายใน 7 วัน

3) ใช้เทราดในบ่อเติมอากาศตอนเย็น เนื่องจากต้องรอให้น้ำเสียที่เก็บมาจากโรงงานเย็นลง และเป็นช่วงที่เหมาะแก่การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเพราะไม่มีสิ่งต่าง ๆ มารบกวนระหว่างทำปฏิกิริยา

อัตราส่วนจุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำ ใช้จุลินทรีย์ 1 มิลลิลิตร 0.67 มิลลิลิตรและ 0.5 มิลลิลิตร ต่อปริมาณน้ำเสียในถังเติมอากาศ 10,000 มิลลิลิตร ในการทดลองที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้นี้ อยู่ในช่วงที่ทางเกษตรธรรมชาติคิวเซกำหนดไว้ คือ จุลินทรีย์ขยายชนิดน้ำ 1 มิลลิลิตร ต่อ ปริมาณน้ำเสีย 10,000 – 20,000 มิลลิลิตร (1 : 10,000 – 20,000)

เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเป็น 3 อัตราส่วนดังกล่าว โดยอัตราส่วนที่กำหนดอยู่ในช่วงอัตราส่วนต่ำสุดและมากที่สุดตามที่เกษตรธรรมชาติคิวเซกำหนด (รัช รุจิรวรรธน์ “ การสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย ” นิตยสารเกษตรคิวเซ 11 (มิถุนายน 2545) หน้า 54 – 57) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) อัตราส่วนที่ 1 : ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร : 10,000 มิลลิลิตร) ใช้ใส่ในการทดลองที่ 2

2) อัตราส่วนที่ 2 : ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำ 0.67 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร : 15,000 มิลลิลิตร) ใช้ใส่ในการทดลองที่ 3

3) อัตราส่วนที่ 3 : ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มขยายแบบน้ำ 0.5 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร (1 มิลลิลิตร : 20,000 มิลลิลิตร) ใช้ใส่ในการทดลองที่ 4

โดยทั้ง 4 การทดลอง มีอัตราส่วนการสูบตะกอนกลับ 25 – 100 เปอร์เซ็นต์

4.3 การเตรียมน้ำเสียสำหรับทดลองในระบบจำลอง

เก็บน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ปริมาณ 40 ลิตร มาใส่บ่อเก็บกักในระบบจำลอง และปล่อยลงบ่อเติมอากาศของการทดลองที่ 1 - 4 การทดลองละ 10 ลิตร และคำนวณอัตราการไหลของน้ำเสียจากบ่อเก็บกักไปบ่อเติมอากาศ เช่นเดียวกับระบบจริง (10 - 15 ลูกบาศก์เมตร/วัน) ในแต่ละการทดลอง

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

4.4.1 ตรวจสอบระบบจำลองและทดลองเดินระบบด้วยน้ำสะอาด

4.4.2 นำน้ำทิ้งจากบ่อผสมรวมจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกใส่ ในถังพลาสติกขนาด 70 ลิตร ใส่รถยนต์ วันละ 40 ลิตร

4.4.3 ทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการวิจัย

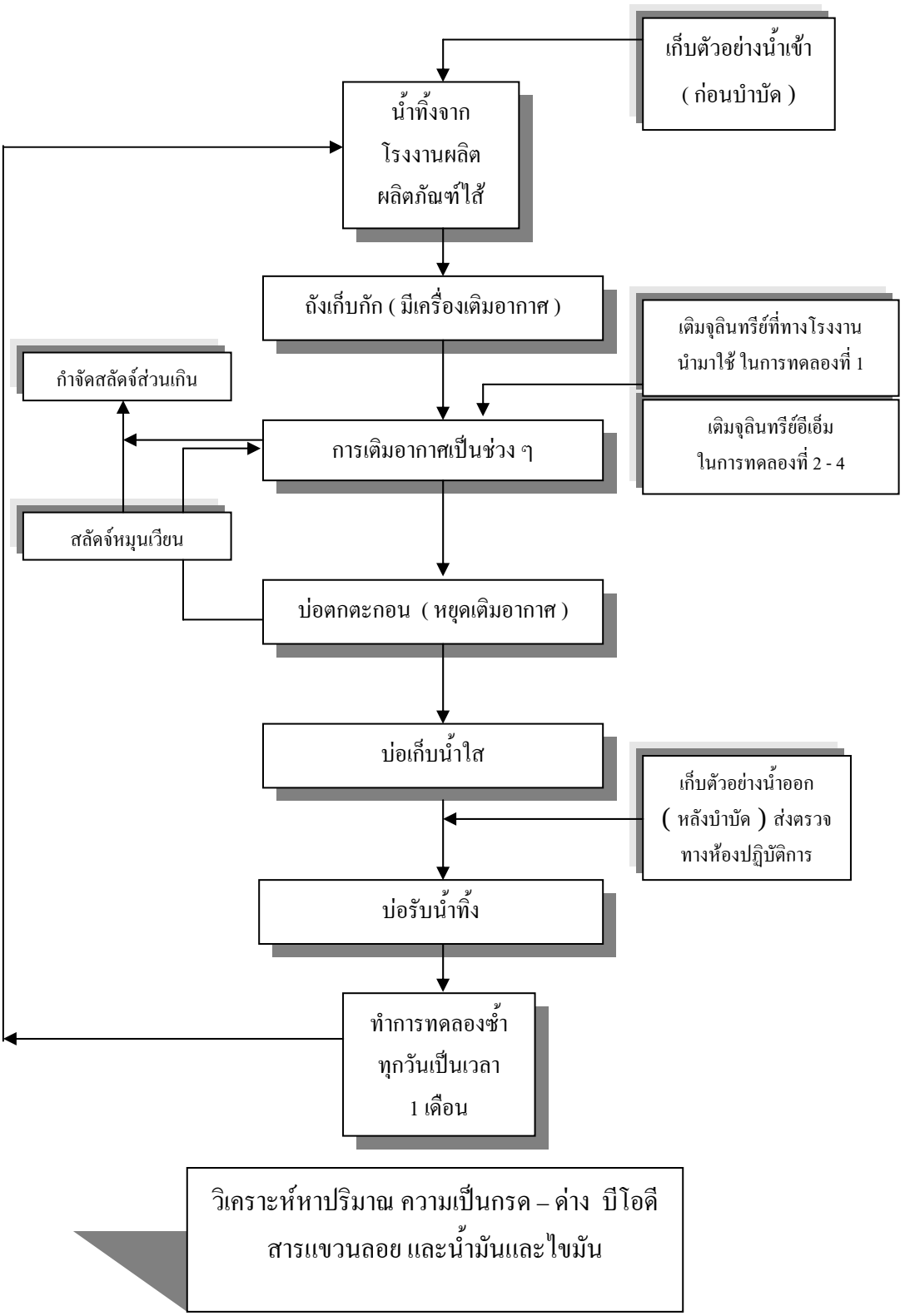
4.4.4 ทำการทดลอง

4.4.5 วันแรก

- **การทดลองที่ 1** ใส่ น้ำเสียปริมาณ 10 ลิตร โดยคำนวณอัตราการไหลและเทราดจุลินทรีย์ผงชนิดเฉียบพลันที่โรงงานนำมาใช้ ในอัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อน้ำเสีย (1:10,000) ปริมาณ 1 กรัม
- **การทดลองที่ 2** ใส่ น้ำเสียปริมาณ 10 ลิตร โดยคำนวณอัตราการไหลและเทราดจุลินทรีย์อีเอ็มอัตราส่วนที่ 1 (1:10,000) ชนิดน้ำปริมาณ 1 มิลลิลิตร
- **การทดลองที่ 3** ใส่ น้ำเสียปริมาณ 10 ลิตร โดยคำนวณอัตราการไหลและเทราดจุลินทรีย์อีเอ็มอัตราส่วนที่ 2 (1:15,000) ชนิดน้ำปริมาณ 0.67 มิลลิลิตร
- **การทดลองที่ 4** ใส่ น้ำเสียปริมาณ 10 ลิตร โดยคำนวณอัตราการไหลและเทราดจุลินทรีย์อีเอ็มอัตราส่วนที่ 3 (1:20,000) ชนิดน้ำปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร
- เติมอากาศเป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง ทุก 5 - 4 ชั่วโมง รวม 4 - 8 ชั่วโมง / วัน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส กระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่มักออกแบบให้ใช้อัตราการบำบัดแบบธรรมดา (Conventional Rate) โดยมีระยะเวลาบำบัดในถังเติมอากาศ 4 - 8 ชั่วโมง / วัน
- ใช้เวลา 24 ชั่วโมงในการบำบัดโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม และการตกตะกอน

4.4.6 วันที่ 2 ทำเช่นเดียวกับวันแรก

4.4.7 เก็บตัวอย่างน้ำส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการ 1 ครั้งในวันพุธของสัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 3.7 แผนผังการทดลอง

5. การเก็บรวมรวมข้อมูล

5.1 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

5.1.1 การเก็บน้ำเสียจากโรงงาน เก็บจากบ่อผสมรวม

5.1.2 การเก็บน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียใช้วิธีเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) โดยเก็บจากถังกักเก็บน้ำเสียของระบบจำลอง และเก็บโดยเทคนิคปลอดเชื้อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจากภายนอก ใส่อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง นำส่งห้องปฏิบัติการโดยแช่ในน้ำแข็งทันที

5.1.3 การเก็บตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแล้วบริเวณปลายท่อน้ำทิ้งของระบบจำลอง และเก็บโดยเทคนิคปลอดเชื้อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจากภายนอก นำส่งห้องปฏิบัติการโดยแช่ในน้ำแข็งทันที

5.1.4 กำหนดการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย 10.00 นาฬิกา

5.1.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการตรวจวิเคราะห์ 2 จุด คือ น้ำเสียจากถังกักเก็บน้ำเสียก่อนเข้าระบบจำลอง และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง น้ำเสีย / น้ำทิ้ง ส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการ

5.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง น้ำเสีย / น้ำทิ้ง ว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยหรือไม่

5.2.2 ให้แยกภาชนะออกเป็น 2 ชุด

1) สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด 1 ชุด

2) สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังออกระบบบำบัด 1 ชุด

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วย

- ขวดพลาสติก 1 ลิตร 1 ใบ (ตรวจด้าน เคมี – กายภาพ)
- ขวดแก้วสีชา 1 ลิตร 1 ใบ (ตรวจ น้ำมัน และไขมัน)

5.2.3 เก็บตัวอย่างน้ำ 2 จุด คือน้ำก่อนเข้าระบบบำบัด และน้ำภายหลังออกจากระบบบำบัด โดยมีรายละเอียดการเก็บดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง เพื่อตรวจวิเคราะห์ทางเคมี – กายภาพ (ขวดพลาสติก 1 ลิตร)

(1) ตักตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง ขึ้นมาจากบ่อเก็บกัก และปลายท่อ

(2) เทตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง ลงภาชนะบรรจุ ¼ ของภาชนะ เขย่าล้างภาชนะประมาณ 20 ครั้ง แล้วเทน้ำทิ้ง ทำซ้ำ 2 ครั้ง

(3) เทตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้งที่เก็บมา ลงภาชนะบรรจุประมาณ 80 % ของภาชนะ

(4) ปิดฝาภาชนะให้สนิท

(5) บันทึกรายละเอียดของตัวอย่าง ลงในฉลากบันทึกรายละเอียดติดข้างขวดให้เรียบร้อย

(6) นำภาชนะบรรจุน้ำตัวอย่าง เก็บรักษาในภาชนะควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

2) การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน (ขวดแก้วสีชา 1 ลิตร)

(1) ตักตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง ขึ้นมาจากบ่อเก็บกัก และปลายท่อ

(2) เทตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้ง ลงภาชนะบรรจุ ¼ ของภาชนะ เขย่าล้างภาชนะประมาณ 20 ครั้ง แล้วเทน้ำทิ้ง ทำซ้ำ 2 ครั้ง

(3) เทตัวอย่างน้ำเสีย / น้ำทิ้งที่เก็บมา ลงภาชนะบรรจุประมาณ 80 % ของภาชนะ

(4) หมุนจุกเกลียวด้านบนของหลอดพลาสติกที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริกออก (ทำด้วยความระมัดระวัง) เทกรดลงในขวดแก้ว ที่มีตัวอย่างน้ำบรรจุอยู่

(5) บันทึกรายละเอียดของตัวอย่าง ลงในฉลากบันทึกรายละเอียดติดข้างขวดให้เรียบร้อย

(6) นำภาชนะบรรจุน้ำตัวอย่าง เก็บรักษาในภาชนะควบคุมอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

5.2.4 เขียนใบนำส่งลงรายละเอียดการนำส่ง

5.2.5 ส่งตัวอย่างถึงห้องปฏิบัติการ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 พิษณุโลก ก่อนเวลา 16.30 นาฬิกา ทุกวันพุธ

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำเสีย

ข้อมูลการตรวจวิเคราะห์	ภาชนะบรรจุ	ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ (มล.)	การเก็บรักษา	ช่วงระยะเวลาการเก็บ
1.ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	P,G(B)	100	แช่เย็น 4^{O}ซ ± 2^{O}ซ	0.25 ชั่วโมง
2.สารแขวนลอย (Suspended Solids ; SS)	P,G	200	แช่เย็น 4^{O}ซ ± 2^{O}ซ	7 วัน
3.บีโอดี (BOD)	P,G	1,000	แช่เย็น 4^{O}ซ ± 2^{O}ซ	6 ชั่วโมง
4.น้ำมันและไขมัน (Grease & Oil)	G,wide – mouth calibrated	1,000	เติมกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลฟูริก ถึง ความเป็นกรด – ด่าง < 2	28 วัน

หมายเหตุ : P = ขวดพลาสติก (โพลีเอทอิลีนหรือที่มีคุณภาพใกล้คียงกัน), G = ขวดแก้ว , G(B) = ขวดแก้ว (บอโรซิลิเกต)

5.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง

กลุ่มงานการวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 จังหวัดพิษณุโลก อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงานทั้งหมด ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน ข้อมูลกระบวนการผลิต ใช้แบบสอบถาม โดยทำการสอบถามผู้จัดการโรงงาน ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำการเก็บรวบรวมโดยใช้แบบบันทึกข้อมูลที่สร้างขึ้นเอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยเสนอค่าเป็น ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

6.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแต่ละการลดลองโดยใช้ สถิติ One – Way ANOVA : Scheffe (Significance Level 0.05, Confidence Intervals are 95 %)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

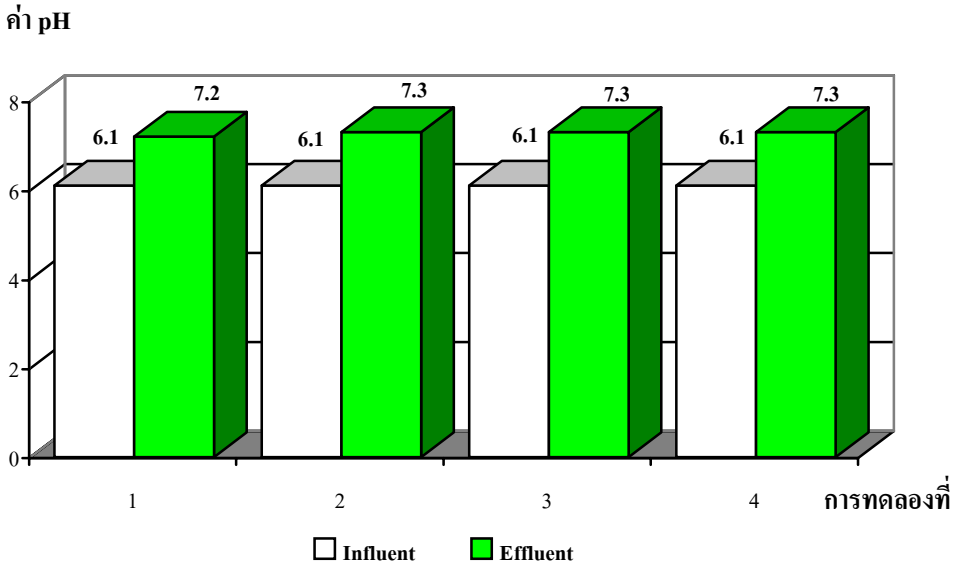
จากการศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก น้ำตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย จำนวน 16 ตัวอย่าง และน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 จำนวน 16 ตัวอย่าง ทำการตรวจวิเคราะห์ดังนี้

ตอนที่ 1 การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 1

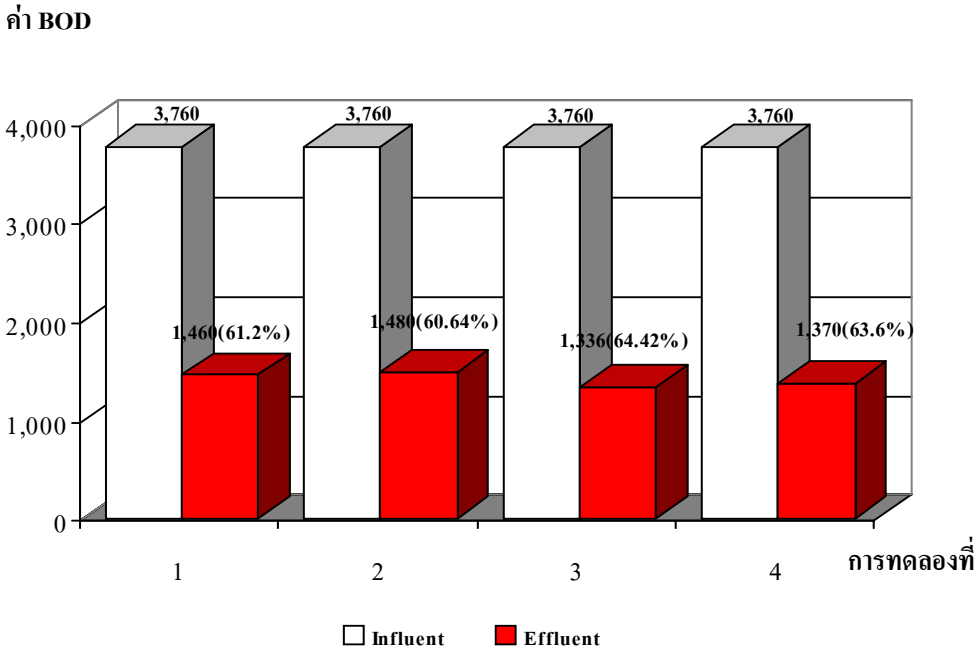
จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ในครั้งที่ 1 ซึ่งทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solid ; SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ได้ผลดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 – 4.5

ตารางที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี ตะกอนแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 1

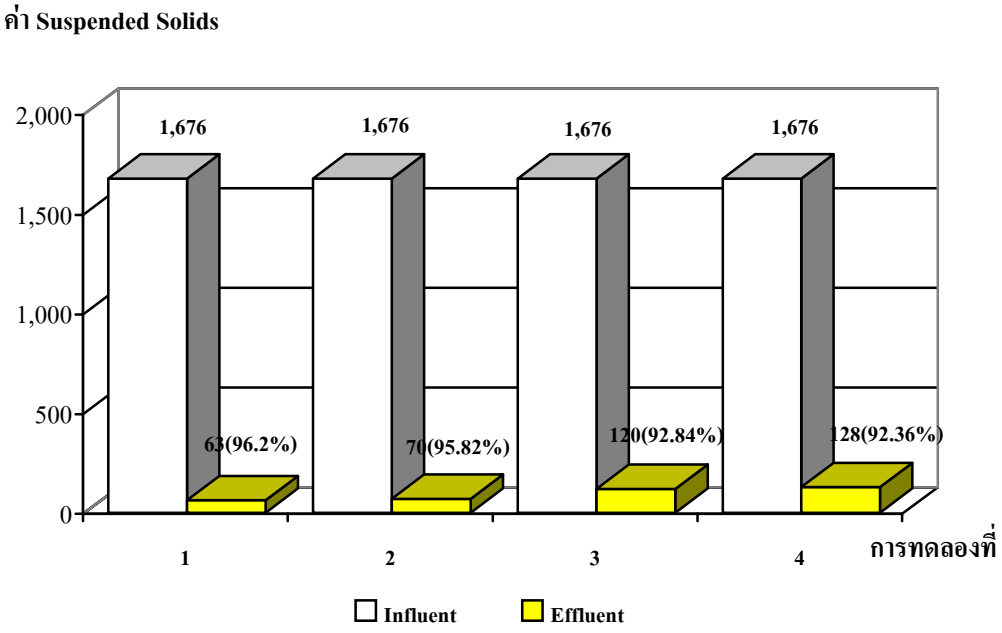
พารามิเตอร์	น้ำเสียก่อนการบำบัด (Influent)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (Effluent)							
		การทดลองที่ / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		การทดลองที่ 1	ร้อยละ	การทดลองที่ 2	ร้อยละ	การทดลองที่ 3	ร้อยละ	การทดลองที่ 4	ร้อยละ
pH	6.1	7.2	-	7.3	-	7.3	-	7.3	-
BOD_5(มก./ล.)	3,760	1,460	61.2	1,480	60.64	1,336	64.47	1,370	63.6
SS(มก./ล.)	1,676	63	96.2	70	95.82	120	92.84	128	92.36
Oil&Grease(มก./ล.)	19.8	9.86	50.2	17.29	12.68	11.96	39.6	12.8	35.4



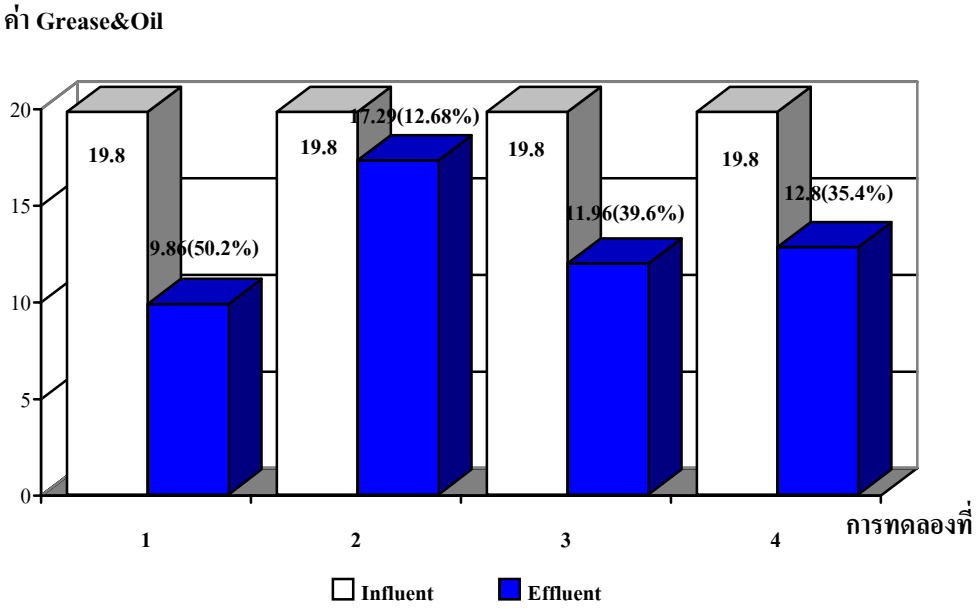
ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1



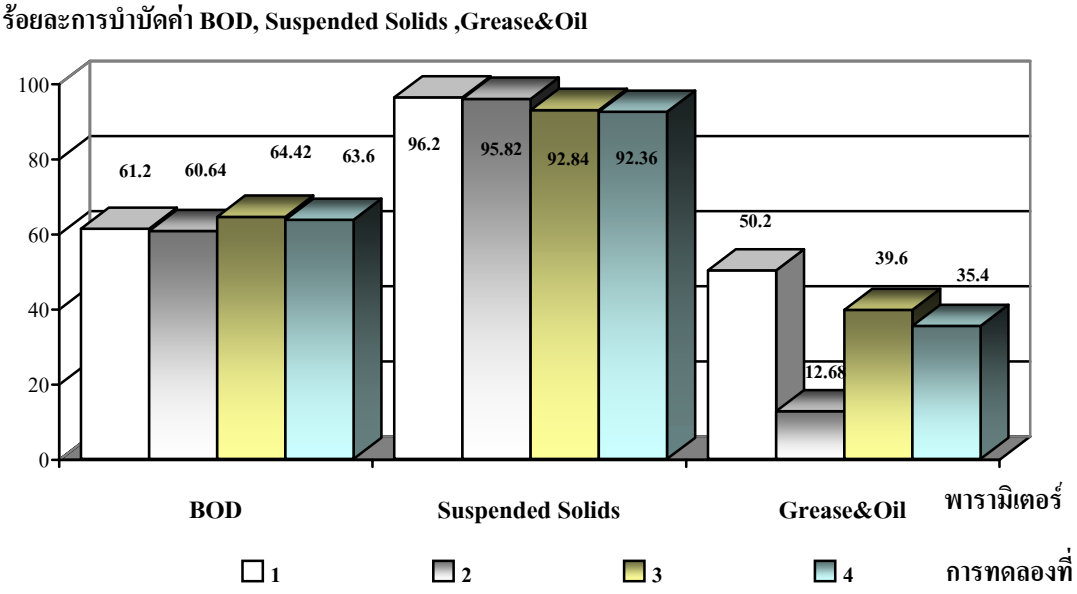
ภาพที่ 4.2 ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.3 ค่าสารแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.4 ค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัด ครั้งที่ 1

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 – 4.5 อาจสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 61.2 96.2 และ 50.2 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 60.64 95.82 และ 12.68 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 64.47 92.84 และ 39.6 ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 63.6 92.36 และ 35.4 ตามลำดับ

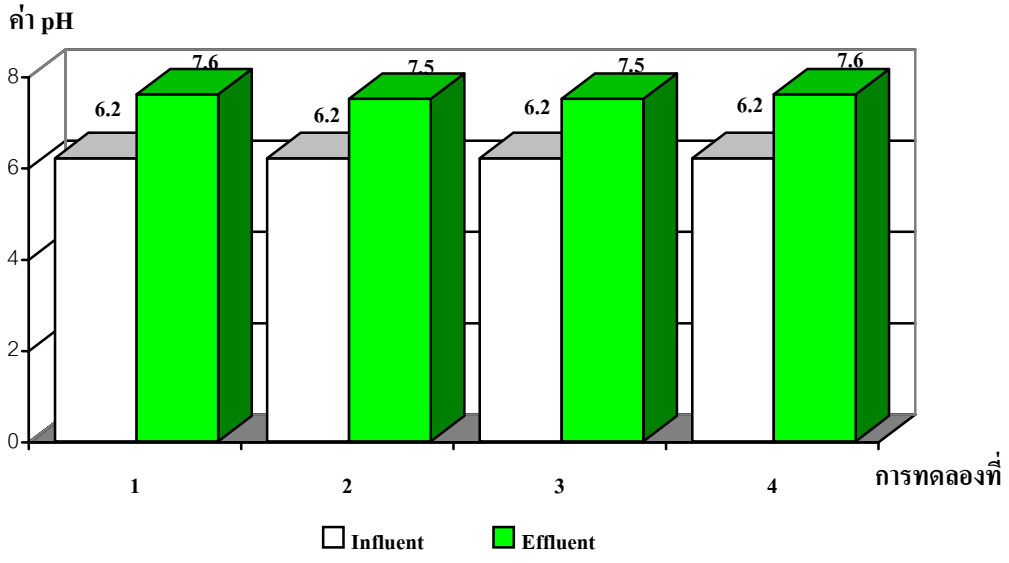
แต่ค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 การทดลองยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตอนที่ 2 การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 2

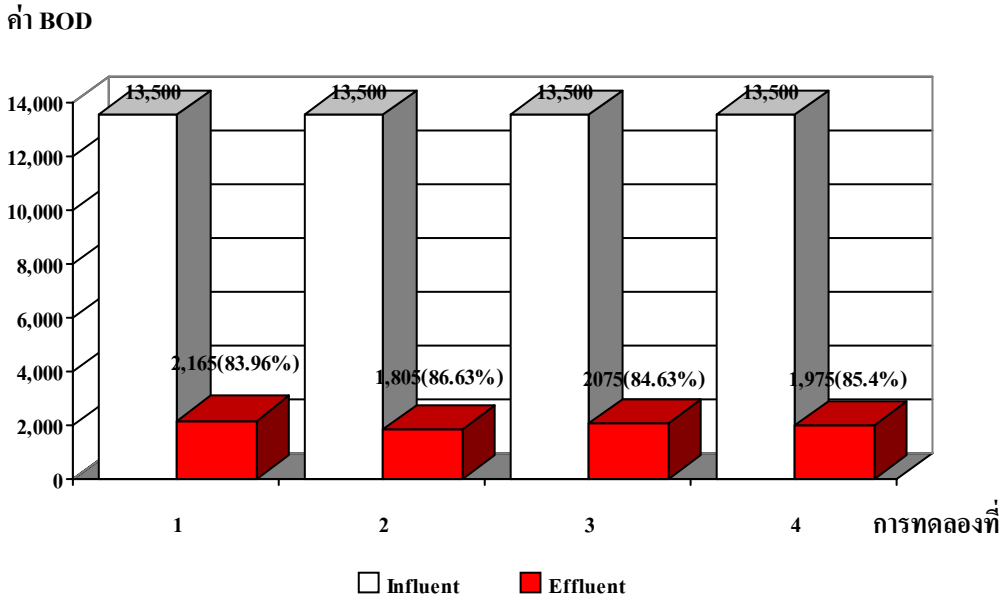
จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ในครั้งที่ 2 ซึ่งทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solid ; SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6 – 4.10

ตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 2

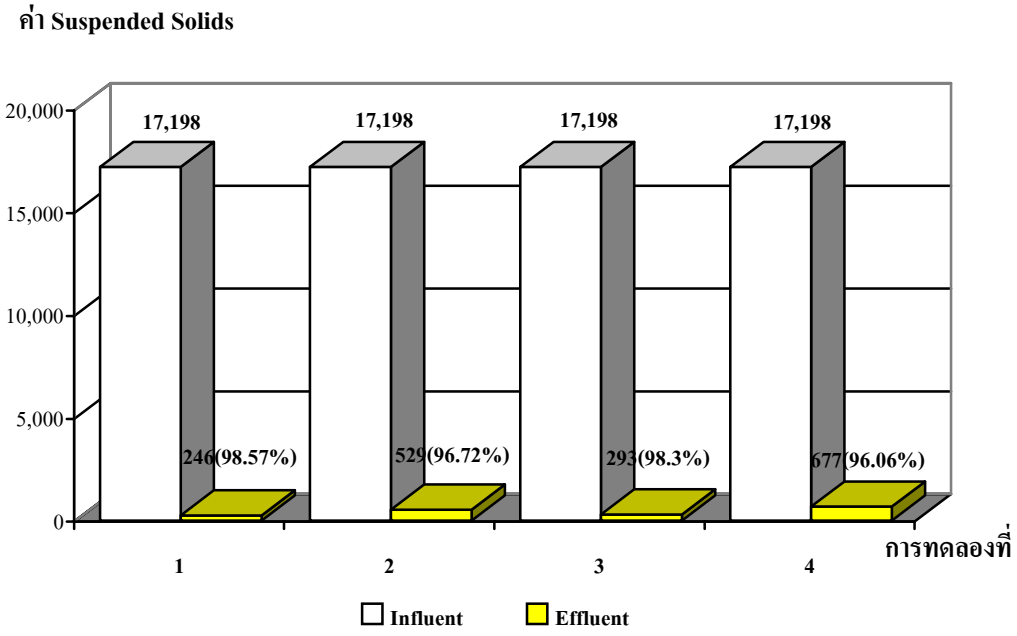
พารามิเตอร์	น้ำเสียก่อนการบำบัด (Influent)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (Effluent)							
		การทดลองที่ / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		การทดลองที่ 1	ร้อยละ	การทดลองที่ 2	ร้อยละ	การทดลองที่ 3	ร้อยละ	การทดลองที่ 4	ร้อยละ
pH	6.2	7.6	-	7.5	-	7.5	-	7.6	-
BOD_5(มก./ล.)	13,500	2,165	83.96	1,805	86.63	2,075	84.63	1,975	85.4
SS(มก./ล.)	17,198	246	98.57	529	96.72	293	98.3	677	96.06
Oil&Grease(มก./ล.)	299.88	122.77	59.06	169.33	43.53	131.18	56.3	180.79	39.7



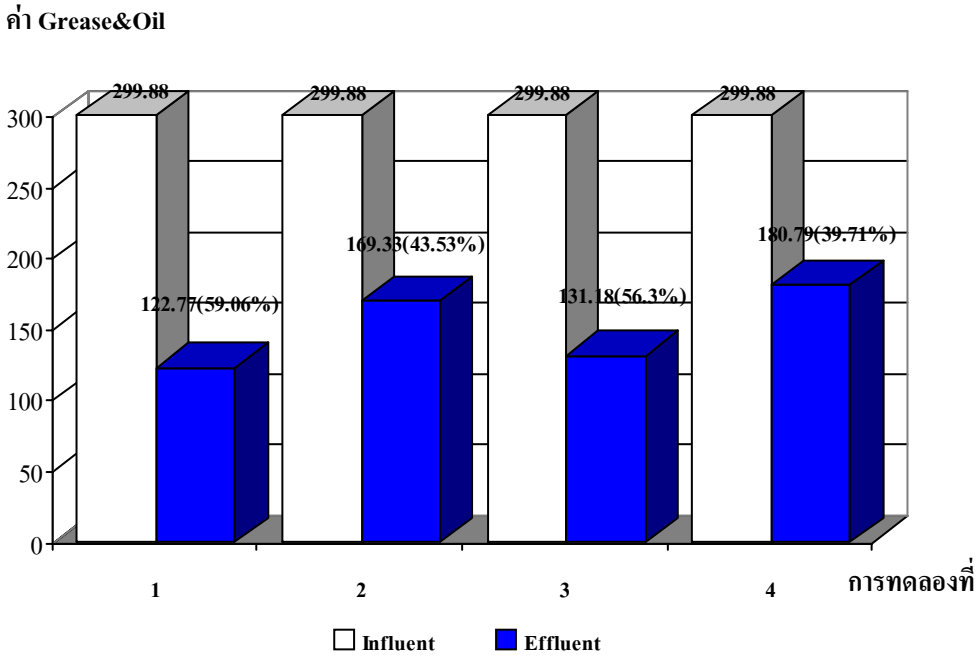
ภาพที่ 4.6 ค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2



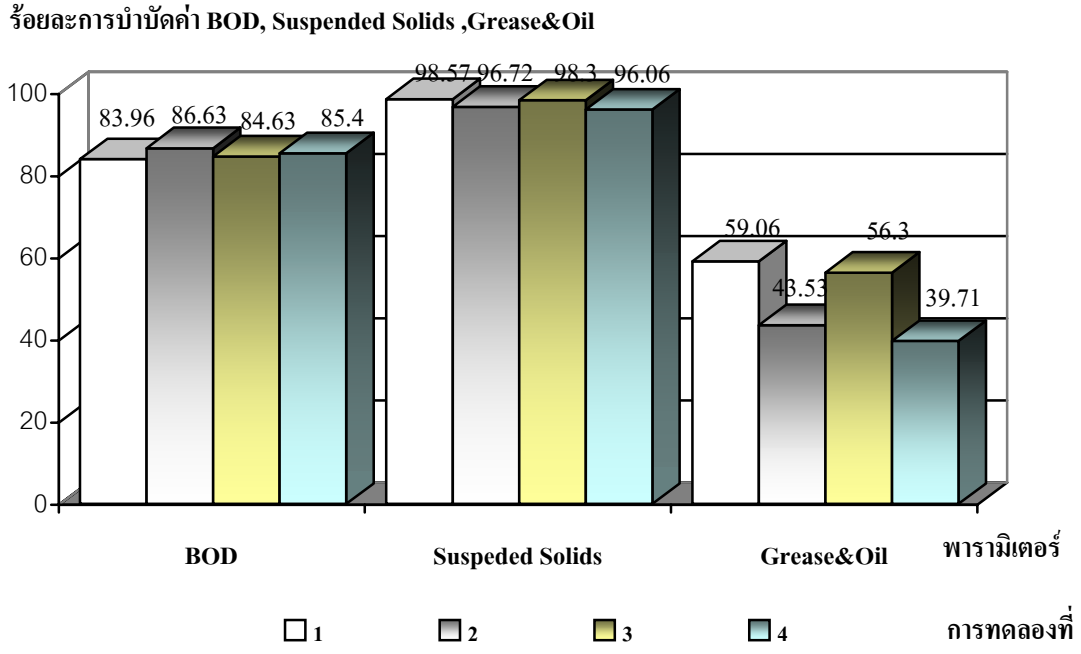
ภาพที่ 4.7 ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.8 ค่าสารแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.9 ค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัด ครั้งที่ 2

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.6 – 4.10 อาจสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 83.96 98.57 และ 59.06 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 86.63 96.72 และ 43.53 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 84.63 98.3 และ 56.3 ตามลำดับ

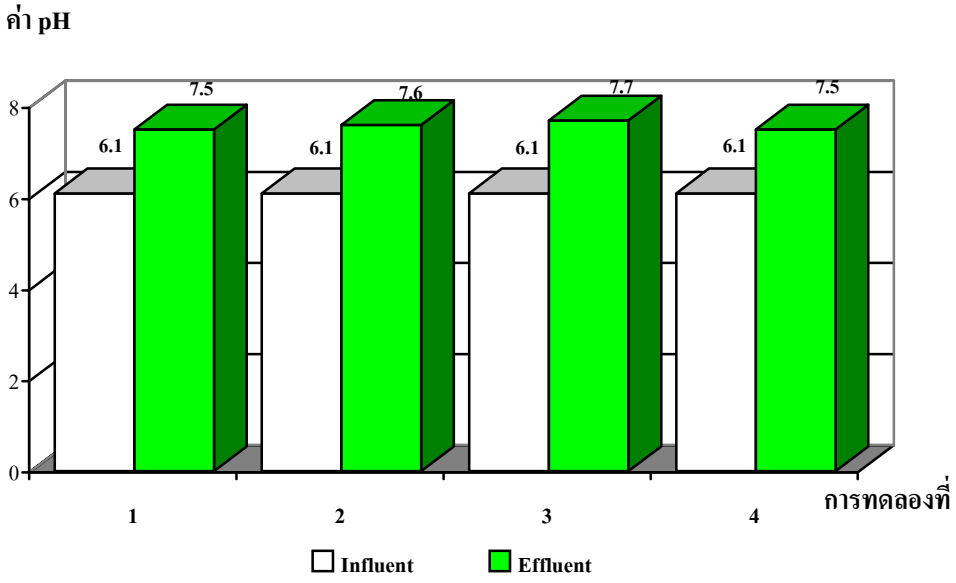
การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 85.4 96.06 และ 39.71 ตามลำดับ แต่ค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตอนที่ 3 การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3

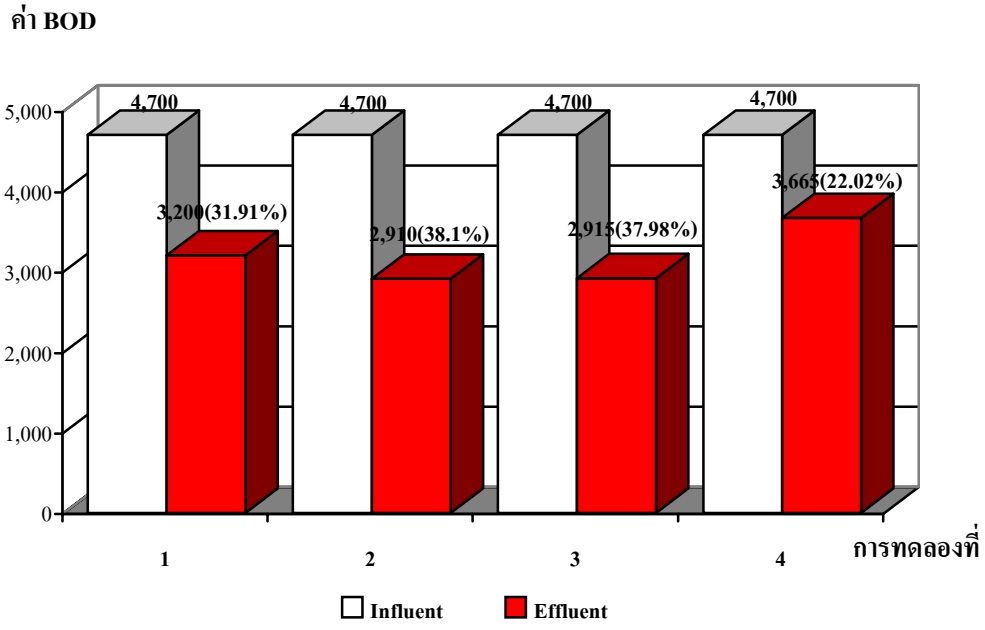
จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ในครั้งที่ 3 ซึ่งทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solid ; SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ได้ผลดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11 – 4.15

ตารางที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 3

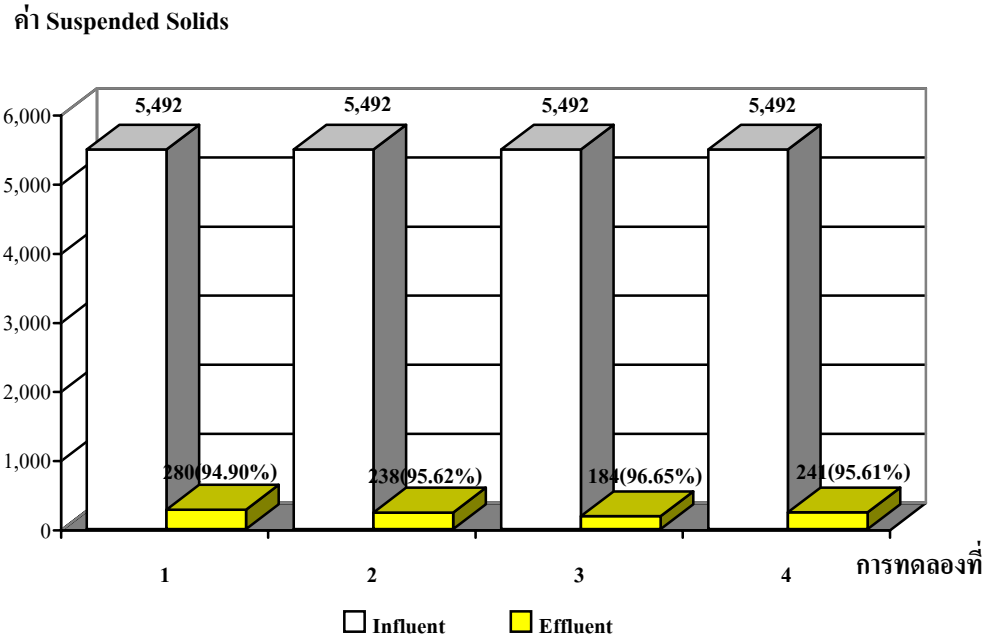
พารามิเตอร์	น้ำเสียก่อนการบำบัด (Influent)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (Effluent)							
		การทดลองที่ / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		การทดลองที่ 1	ร้อยละ	การทดลองที่ 2	ร้อยละ	การทดลองที่ 3	ร้อยละ	การทดลองที่ 4	ร้อยละ
pH	6.1	7.5	-	7.6	-	7.7	-	7.5	-
BOD_5(มก./ล.)	4,700	3,200	31.91	2,910	38.1	2,915	37.98	3,665	22.02
SS(มก./ล.)	5,492	280	94.90	238	95.62	184	96.65	241	95.61
Oil&Grease(มก./ล.)	306.36	3.17	98.97	6.45	97.89	1.02	99.67	4.25	98.61



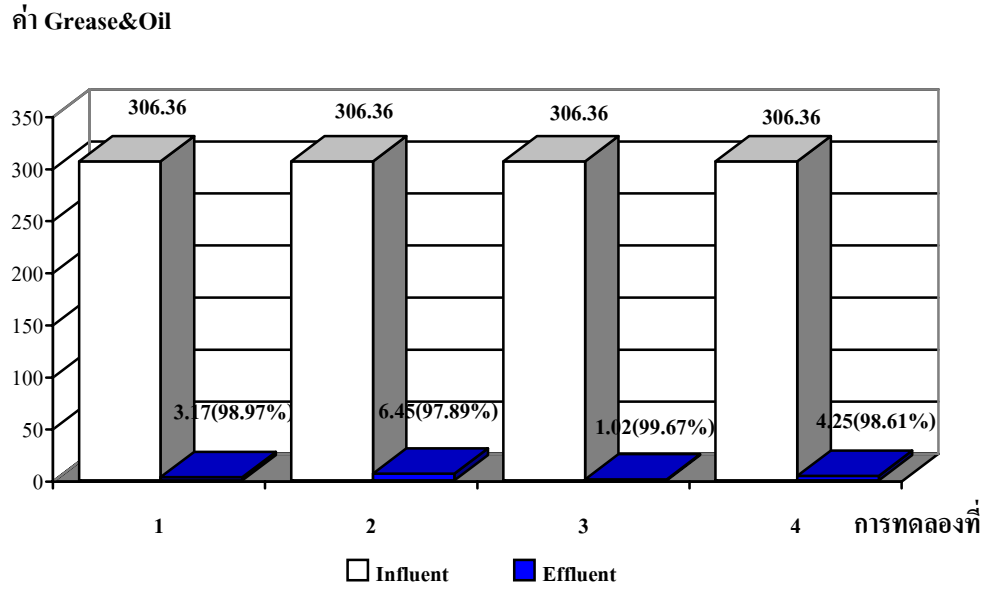
ภาพที่ 4.11 ค่าความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3



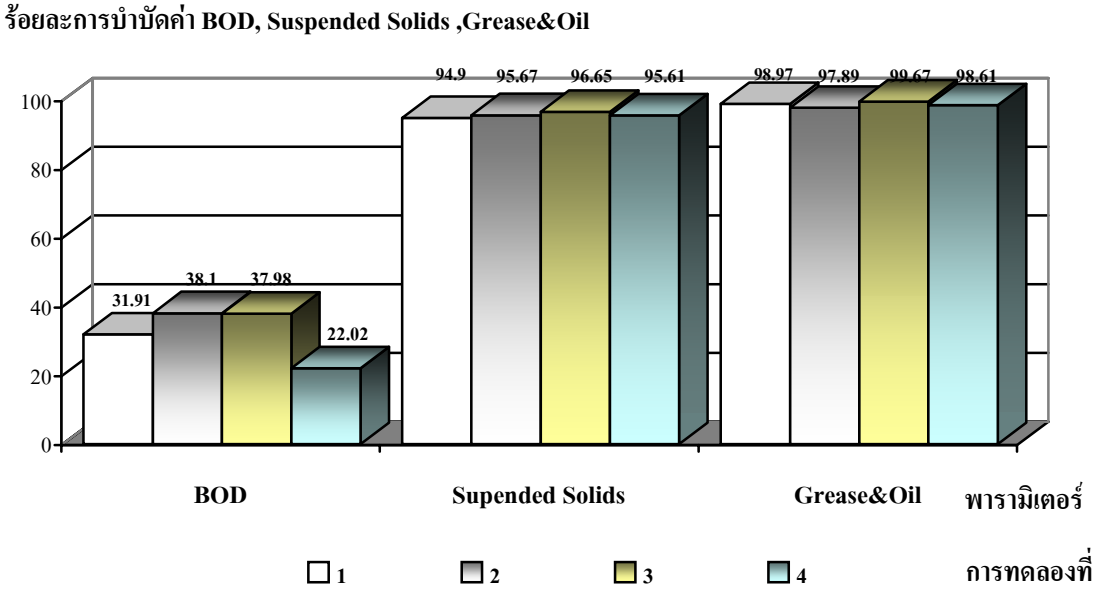
ภาพที่ 4.12 ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.13 ค่าสารแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.14 ค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารลอย และน้ำมันและไขมันของระบบบำบัด ครั้งที่ 3

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11 – 4.15 อาจสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 31.91 94.90 และ 98.97 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 38.1 95.62 และ 97.89 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 37.98 96.65 และ 99.67 ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 22.02 95.61 และ 98.61 ตามลำดับ

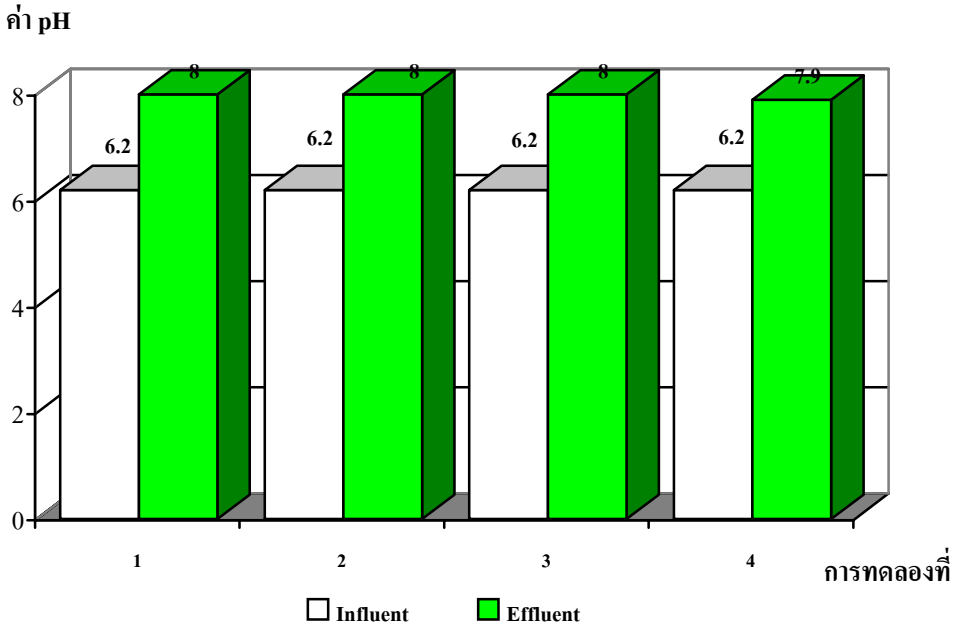
มีค่าน้ำมันและไขมัน ในการทดลองที่ 3 – 4 เท่านั้นที่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนค่าบีโอดี และสารแขวนลอย ที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตอนที่ 4 การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 4

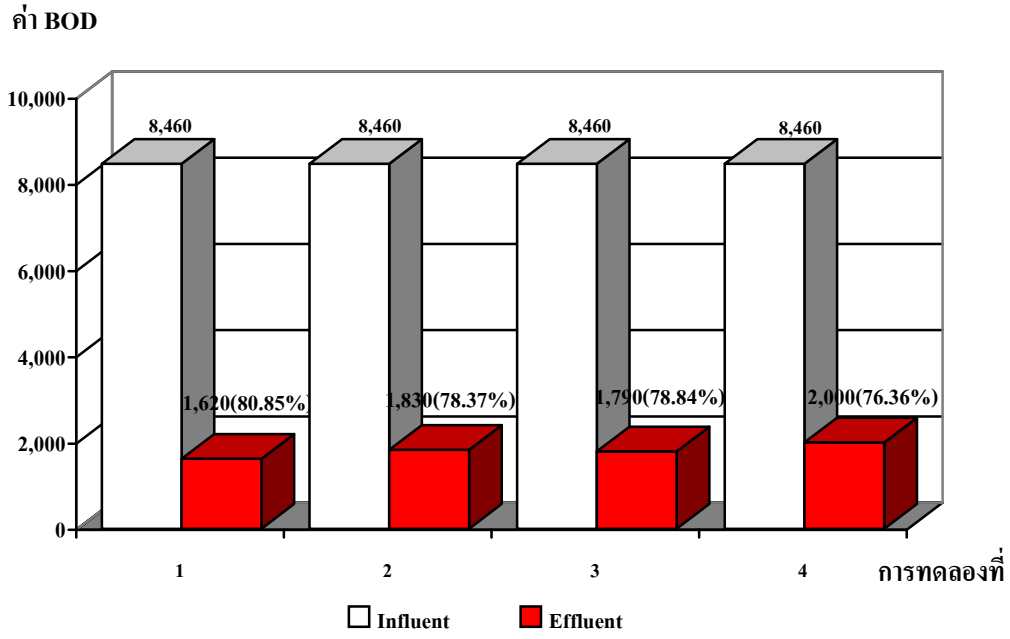
จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ในครั้งที่ 4 ซึ่งทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solid ; SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.16 – 4.20

ตารางที่ 4.4 ค่าความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสีย ก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 4

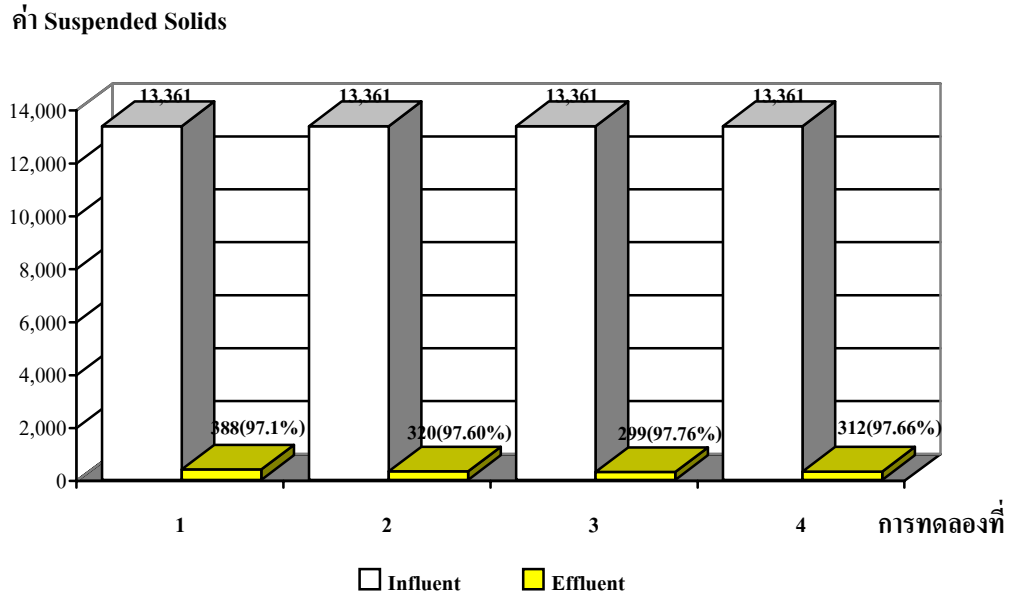
พารามิเตอร์	น้ำเสียก่อนการบำบัด (Influent)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (Effluent)							
		การทดลองที่ / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		การทดลองที่ 1	ร้อยละ	การทดลองที่ 2	ร้อยละ	การทดลองที่ 3	ร้อยละ	การทดลองที่ 4	ร้อยละ
pH	6.2	8.0	-	8.0	-	8.0	-	7.9	-
BOD_5(มก./ล.)	8,460	1,620	80.85	1,830	78.37	1,790	78.84	2,000	76.36
SS(มก./ล.)	13,361	388	97.1	320	97.60	299	97.76	312	97.66
Oil&Grease(มก./ล.)	106.95	57.84	45.92	10.73	89.97	9.56	91.06	13.85	87.05



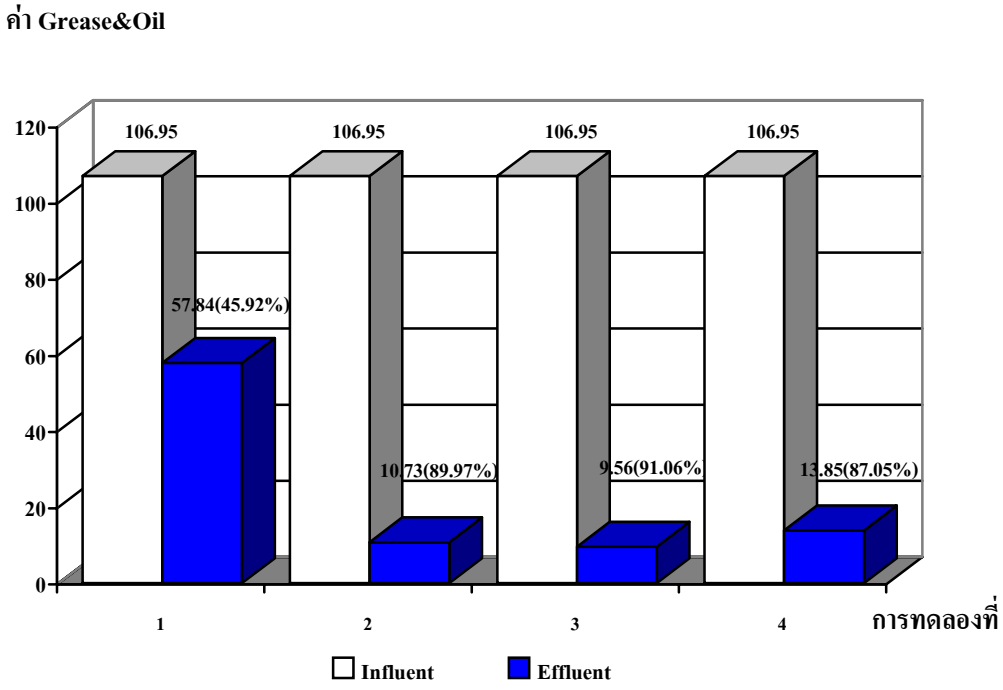
ภาพที่ 4.16 ค่าความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4



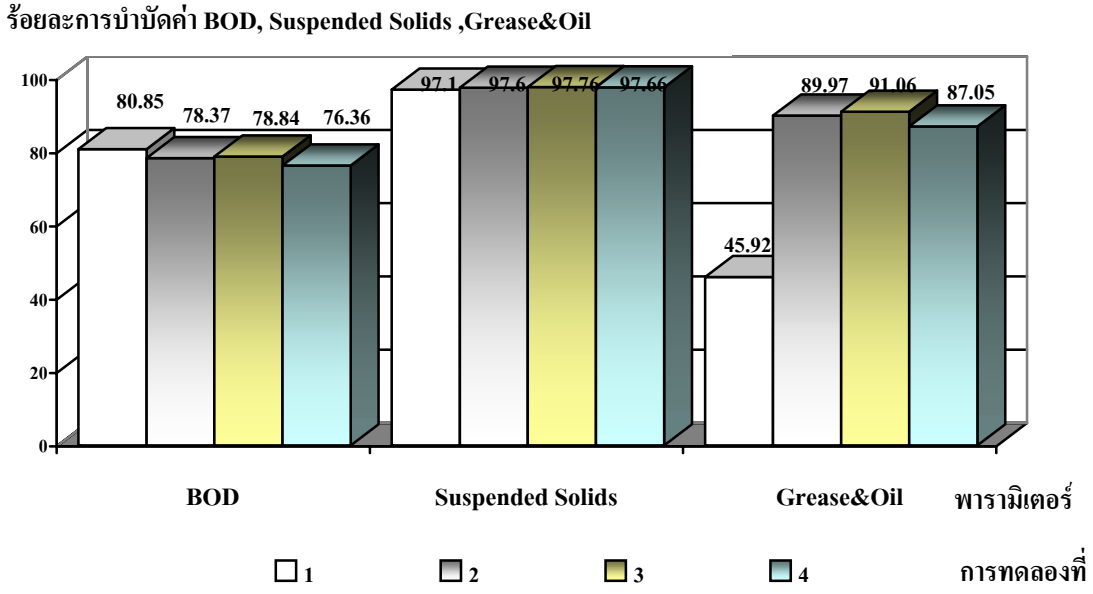
ภาพที่ 4.17 ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4



ภาพที่ 4.18 ค่าสารแขวนลอยของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4



ภาพที่ 4.19 ค่าน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 4



ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัด ครั้งที่ 4

จากตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.16 – 4.20 อาจสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ลงได้ร้อยละ 80.85 97.1 และ 45.92 ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 78.37 97.60 และ 89.97 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 78.84 97.76 และ 91.06 ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ลงได้ร้อยละ 76.36 97.66 และ 87.05 ตามลำดับ

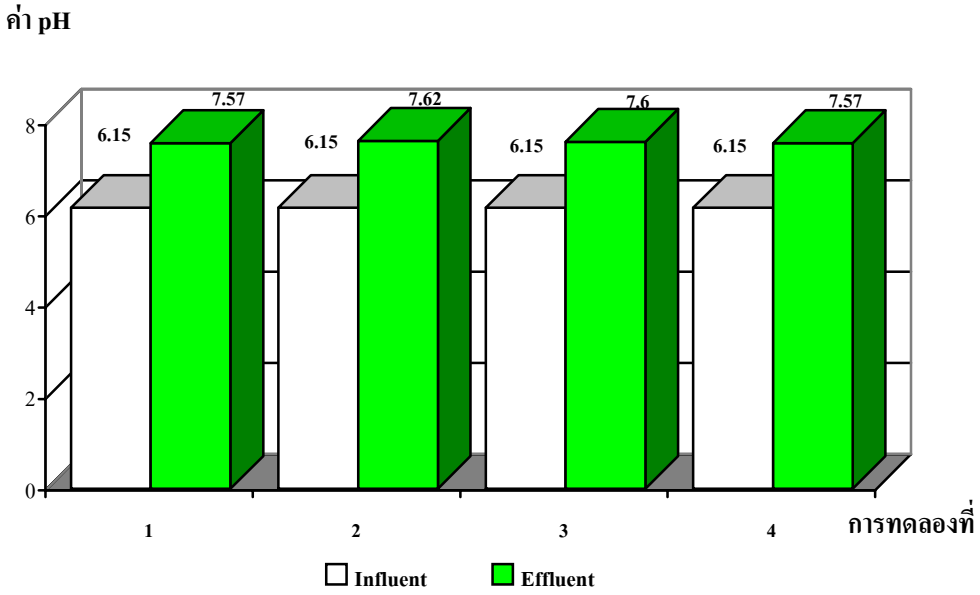
แต่ค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 การทดลองยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตอนที่ 5 การบำบัดน้ำเสียเฉลี่ยครั้งที่ 1 – 4

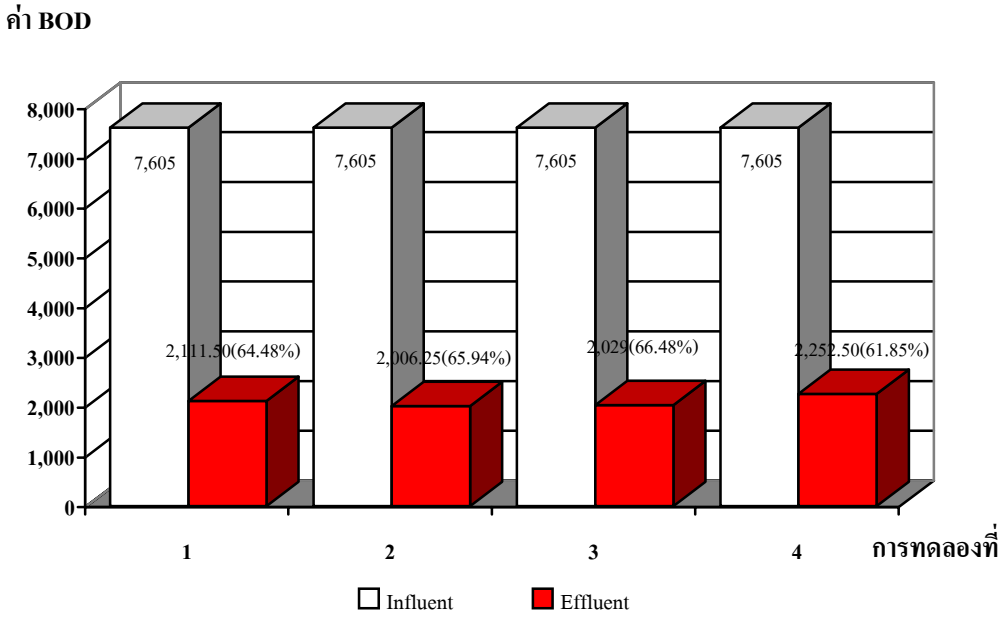
จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ซึ่งทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในพารามิเตอร์ 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความเป็นกรด - ด่าง (pH) บีโอดี (BOD) สารแขวนลอย (Suspended Solid ; SS) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ได้ผลดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.21 – 4.25

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด- ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสียก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัด ครั้งที่ 1 – 4

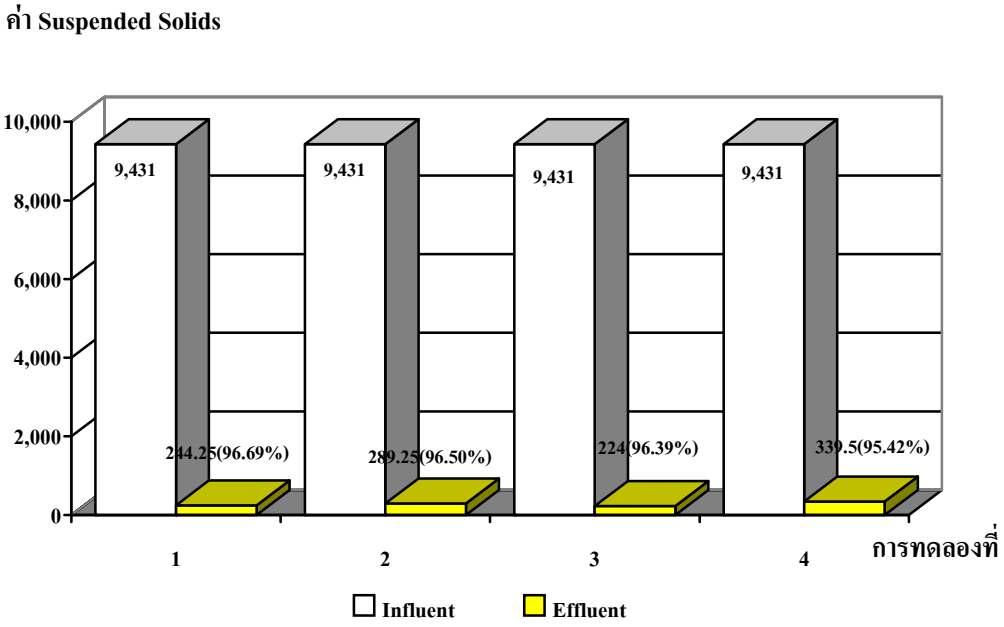
พารามิเตอร์	น้ำเสียก่อนการบำบัด (Influent)	น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 (Effluent)							
		การทดลองที่ / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		การทดลองที่ 1	ร้อยละ	การทดลองที่ 2	ร้อยละ	การทดลองที่ 3	ร้อยละ	การทดลองที่ 4	ร้อยละ
pH	6.15	7.575	-	7.6	-	7.625	-	7.575	-
BOD_5(มก./ล.)	7,605	2,111	64.48	2,000	65.94	2,029	66.48	2,226	61.85
SS(มก./ล.)	9,431.75	244.25	96.69	289.25	96.50	244	96.39	340	95.42
Oil&Grease(มก./ล.)	183.25	48.41	63.54	50.95	61.01	38.43	71.66	52.9	65.19



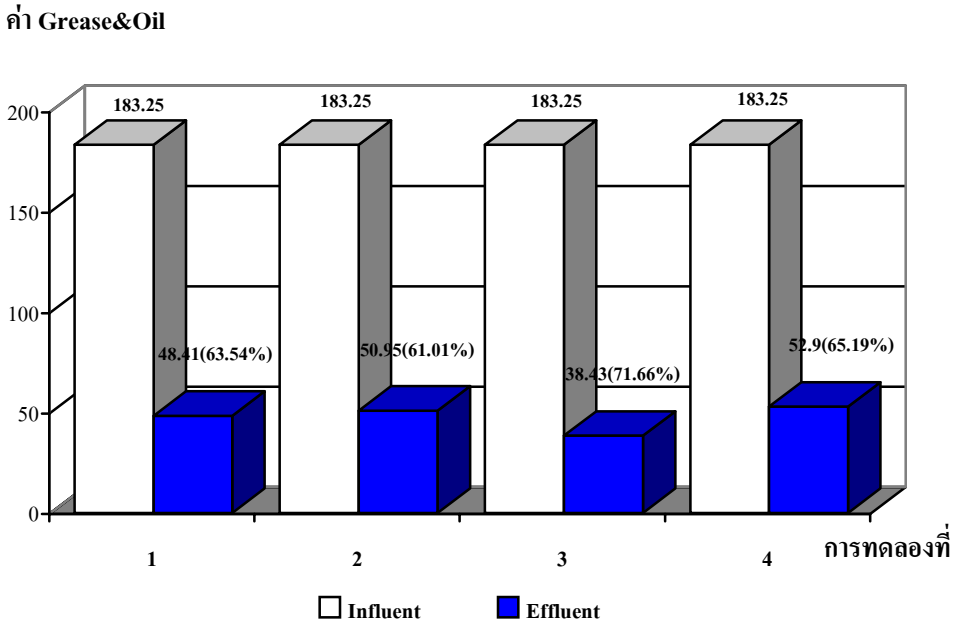
ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด- ด่างในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4



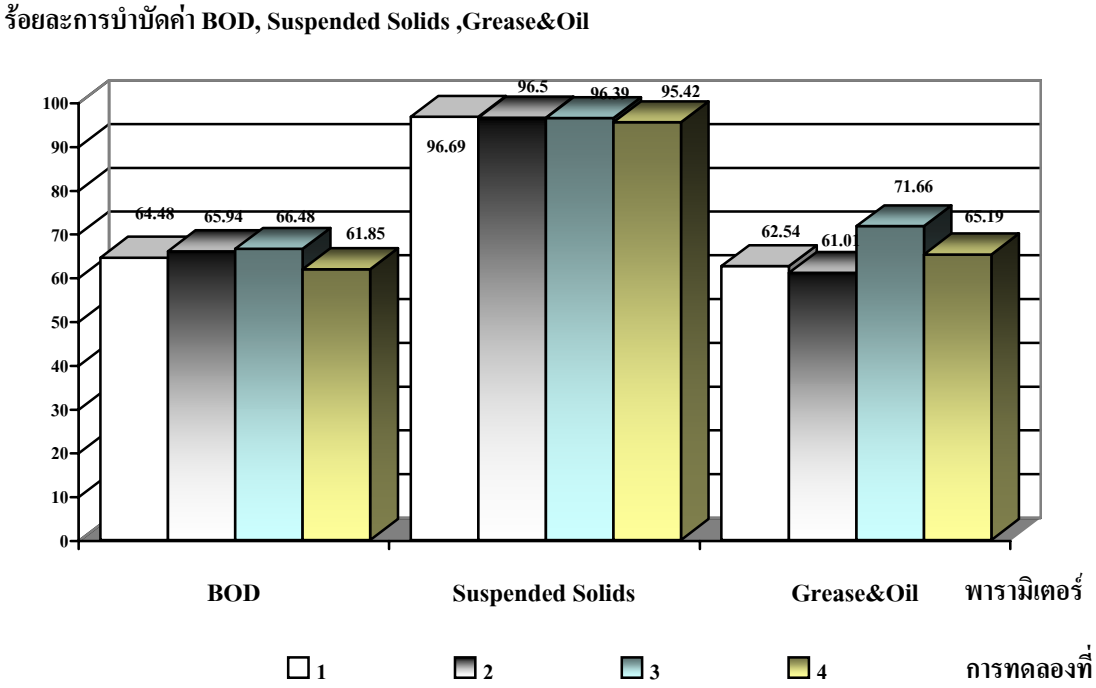
ภาพที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยของบีโอดีในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4



ภาพที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยของสารแขวนลอยในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4



ภาพที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยของน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ครั้งที่ 1-4



ภาพที่ 4.25 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัด ครั้งที่ 1-4

จากตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.21 – 4.25 อาจสรุปได้ว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.3304) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 64.48 (S.D.=23.94) 96.69 (S.D.=1.54) และ 63.54 (S.D.=24.25) ตามลำดับ

การทดลองที่ 2 ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.2944)เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 65.94 (S.D.=21.49) 96.50 (S.D.=0.92) และ 61.02 (S.D.=40.2) ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.2986) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 66.48 (S.D.=20.80) 95.38 (S.D.=2.46) และ 71.66 (S.D.=28.43) ตามลำดับ

การทดลองที่ 4 ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.2500)เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 61.85 (S.D.=28.02) 95.42 (S.D.=2.22) และ 65.2 (S.D.=32.31) ตามลำดับ

แต่ค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ยังสูงกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

6.1 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เมื่อใช้ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่างกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1– 4.5 และภาพที่ 4.1–4.25 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของการใช้จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยใช้จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน ในการทดลองที่ 1 และใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการทดลองที่ 2 – 4 นำมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ดังตารางที่ 4.6 - 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด - ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2

การทดลอง	N	X	S.D.
pH			
การทดลองที่ 1	4	7.575	.3304
การทดลองที่ 2	4	7.600	.2944
การทดลองที่ 3	4	7.625	.2986
การทดลองที่ 4	4	7.575	.2500

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเป็นกรด- ด่างของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2

พารามิเตอร์	S.S	df	M.S.	F	p-value
pH					
ระหว่างกลุ่ม	.007	3	.002	.026	.994
ภายในกลุ่ม	1.043	12	.087		

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามการทดลอง (ปริมาณ) พบว่า การปรับค่าความเป็นกรด- ด่างมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 7.575- 7.625 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.2500 - 0.3304 โดยทั้ง 4 การทดลอง มีค่าความเป็นกรด - ด่างใกล้เคียงกัน

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถปรับค่าความเป็นกรด - ด่างได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value =0.994)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2

การทดลอง	N	X	S.D.
BOD			
การทดลองที่ 1	4	64.4800	23.93749
การทดลองที่ 2	4	65.9350	21.49214
การทดลองที่ 3	4	66.4800	20.80450
การทดลองที่ 4	4	61.8450	28.01567
SS			
การทดลองที่ 1	4	96.6925	1.54345
การทดลองที่ 2	4	96.5025	.91972
การทดลองที่ 3	4	96.3875	2.46273
การทดลองที่ 4	4	95.4225	2.22313
Grease&Oil			
การทดลองที่ 1	4	63.5375	24.24717
การทดลองที่ 2	4	61.0175	40.16696
การทดลองที่ 3	4	71.6575	28.42941
การทดลองที่ 4	4	65.1925	32.30805

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2

พารามิเตอร์	S.S	df	M.S.	F	p-value
BOD					
ระหว่างกลุ่ม	51.569	3	17.190	.031	.992
ภายในกลุ่ม	6757.863	12	563.155		
SS					
ระหว่างกลุ่ม	3.853	3	1.284	.361	.782
ภายในกลุ่ม	42.706	12	3.559		
Grease&Oil					
ระหว่างกลุ่ม	247.460	3	82.487	.081	.969
ภายในกลุ่ม	12160.054	12	1013.338		

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก จำแนกตามการทดลอง (ปริมาณ) พบว่า ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดค่าบีโอดี อยู่ระหว่าง 61.85 – 66.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 20.8 – 28.02 โดยทั้ง 4 การทดลอง มีค่าบีโอดีใกล้เคียงกัน

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value =0.992)

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดค่าสารแขวนลอย อยู่ระหว่าง 95.42 – 96.69 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.92 – 2.5 โดยทั้ง 4 การทดลอง มีค่าสารแขวนลอยใกล้เคียงกัน

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าสารแขวนลอยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value =0.782)

ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดค่า น้ำมันและไขมัน อยู่ระหว่าง 61 – 65.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 24.2 – 40.2 โดยทั้ง 4 การทดลอง มีค่าน้ำมันและไขมัน ใกล้เคียงกัน

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าน้ำมันและไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value =0.969)

6.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เมื่อใช้ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่/ครั้งที่	N	X	S.D.
การทดลองที่ 1			
ครั้งที่ 1	2	6.65	.78
ครั้งที่ 2	2	6.70	.85
ครั้งที่ 3	2	6.70	.85
ครั้งที่ 4	2	6.70	.85
การทดลองที่ 2			
ครั้งที่ 1	2	6.90	.99
ครั้งที่ 2	2	6.85	.92
ครั้งที่ 3	2	6.85	.92
ครั้งที่ 4	2	6.90	.99
การทดลองที่ 3			
ครั้งที่ 1	2	6.70	.85
ครั้งที่ 2	2	6.80	.99
ครั้งที่ 3	2	6.90	1.13
ครั้งที่ 4	2	7.05	1.34
การทดลองที่ 4			
ครั้งที่ 1	2	7.10	1.27
ครั้งที่ 2	2	7.10	1.27
ครั้งที่ 3	2	7.10	1.27
ครั้งที่ 4	2	7.05	1.20

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
การทดลองที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	.004	3	.001	.002	1.000
ภายในกลุ่ม	2.77	4	.691		
การทดลองที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	.005	3	.002	.002	1.000
ภายในกลุ่ม	3.65	4	.912		
การทดลองที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	.134	3	.045	.037	.989
ภายในกลุ่ม	4.79	4	1.20		
การทดลองที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	.004	3	.001	.001	1.000
ภายในกลุ่ม	6.31	4	1.58		

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันในแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถปรับค่าความเป็นกรด - ด่างได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการปรับค่าความเป็นกรด- ด่าง ของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่ / ระยะเวลา	**ครั้งที่ 4 (6.700)**	**ครั้งที่ 3 (6.700)**	**ครั้งที่ 2 (6.700)**	**ครั้งที่ 1 (6.650)**
การทดลองที่ 1				
ครั้งที่ 4 (6.700)	0.00			
ครั้งที่ 3 (6.700)	.00	0.00		
ครั้งที่ 2 (6.700)	.00	.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (6.650)	-.05	-.05	-.05	0.00
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 4 (6.900)**	**ครั้งที่ 3 (6.850)**	**ครั้งที่ 2 (6.850)**	**ครั้งที่ 1 (6.900)**
ครั้งที่ 4 (6.900)	0.00			
ครั้งที่ 3 (6.850)	-.05	0.00		
ครั้งที่ 2 (6.850)	-.05	.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (6.900)	.00	.05	.05	0.00
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 4 (7.050)**	**ครั้งที่ 3 (6.900)**	**ครั้งที่ 2 (6.800)**	**ครั้งที่ 1 (6.700)**
ครั้งที่ 4 (7.050)	0.00			
ครั้งที่ 3 (6.900)	-.15	0.00		
ครั้งที่ 2 (6.800)	-.25	-.10	0.00	
ครั้งที่ 1 (6.700)	-.35	-.20	-.10	0.00
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 4 (7.050)**	**ครั้งที่ 3 (7.100)**	**ครั้งที่ 2 (7.100)**	**ครั้งที่ 1 (7.100)**
ครั้งที่ 4 (7.050)	0.00			
ครั้งที่ 3 (7.100)	.05	0.00		
ครั้งที่ 2 (7.100)	.05	.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (7.100)	.05	.00	.00	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.10 - 4.12 พบว่าประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี ที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกัน ในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่/ครั้งที่	N	X	S.D.
การทดลองที่ 1			
ครั้งที่ 1	2	2610.00	1626.35
ครั้งที่ 2	2	7832.50	8015.10
ครั้งที่ 3	2	3950.00	1060.66
ครั้งที่ 4	2	5040.00	4836.61
การทดลองที่ 2			
ครั้งที่ 1	2	2620.00	1612.20
ครั้งที่ 2	2	7652.50	8269.61
ครั้งที่ 3	2	3805.00	1265.72
ครั้งที่ 4	2	5145.00	4688.12
การทดลองที่ 3			
ครั้งที่ 1	2	2548.00	1714.03
ครั้งที่ 2	2	7787.50	8078.70
ครั้งที่ 3	2	3807.50	1262.19
ครั้งที่ 4	2	5125.00	4716.40
การทดลองที่ 4			
ครั้งที่ 1	2	2565.00	1689.99
ครั้งที่ 2	2	7737.50	8149.41
ครั้งที่ 3	2	4182.50	731.86
ครั้งที่ 4	2	5230.00	4567.91

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี ที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
การทดลองที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	29517484.38	3	9839161.46	.431	.743
ภายในกลุ่ม	91403912.50	4	22850978.13		
การทดลองที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	27996159.38	3	9332053.13	.395	.764
ภายในกลุ่ม	94566212.50	4	23641553.13		
การทดลองที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	30172371.00	3	10057457.00	.437	.739
ภายในกลุ่ม	92040763.00	4	23010190.75		
การทดลองที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	28248062.50	3	9416020.83	.415	.752
ภายในกลุ่ม	90670275.00	4	22667568.75		

จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันในแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดค่าบีโอดีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.15 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดบีโอดี ของน้ำเสีย ตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่ / ระยะเวลา	**ครั้งที่ 4 (5040)**	**ครั้งที่ 3 (3950)**	**ครั้งที่ 2 (7832.5)**	**ครั้งที่ 1 (2610)**
การทดลองที่ 1				
ครั้งที่ 4 (5040)	0.00			
ครั้งที่ 3 (3950)	-1090.00	0.00		
ครั้งที่ 2 (7832.5)	2792.50	3882.50	0.00	
ครั้งที่ 1 (2610)	-2430.00	-1340.00	-5222.50	0.00
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 4 (5145)**	**ครั้งที่ 3 (3805)**	**ครั้งที่ 2 (7652.5)**	**ครั้งที่ 1 (2620)**
ครั้งที่ 4 (5145)	0.00			
ครั้งที่ 3 (3805)	-1340.00	0.00		
ครั้งที่ 2 (7652.5)	2507.50	3847.50	0.00	
ครั้งที่ 1 (2620)	-2525.00	-1185.00	-5032.50	0.00
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 4 (5125)**	**ครั้งที่ 3 (3807.5)**	**ครั้งที่ 2 (7787.5)**	**ครั้งที่ 1 (2548)**
ครั้งที่ 4 (5125)	0.00			
ครั้งที่ 3 (3807.5)	-1317.50	0.00		
ครั้งที่ 2 (7787.5)	2662.50	3980.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (2548)	-2577.00	-1259.50	-5239.50	0.00
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 4 (5230)**	**ครั้งที่ 3 (4182.5)**	**ครั้งที่ 2 (7737.5)**	**ครั้งที่ 1 (2565)**
ครั้งที่ 4 (5230)	0.00			
ครั้งที่ 3 (4182.5)	-1047.50	0.00		
ครั้งที่ 2 (7737.5)	2507.50	3555.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (2565)	-2665.00	-1617.50	-5172.50	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.13 - 4.15 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกัน ในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่/ครั้งที่	N	X	S.D.
การทดลองที่ 1			
ครั้งที่ 1	2	869.50	1140.56
ครั้งที่ 2	2	8722.00	11986.87
ครั้งที่ 3	2	2886.00	3685.44
ครั้งที่ 4	2	6874.50	9173.30
การทดลองที่ 2			
ครั้งที่ 1	2	873.00	1135.61
ครั้งที่ 2	2	8863.50	11786.76
ครั้งที่ 3	2	2865.00	3715.139
ครั้งที่ 4	2	6840.50	9221.38
การทดลองที่ 3			
ครั้งที่ 1	2	898.00	1100.26
ครั้งที่ 2	2	8745.50	11953.64
ครั้งที่ 3	2	2838.00	3753.32
ครั้งที่ 4	2	6830.00	9236.23
การทดลองที่ 4			
ครั้งที่ 1	2	902.00	1094.60
ครั้งที่ 2	2	8937.50	11682.11
ครั้งที่ 3	2	2866.50	3713.02
ครั้งที่ 4	2	6836.50	9227.04

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอย ที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
การทดลองที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	77584169.00	3	25861389.67	.426	.745
ภายในกลุ่ม	242717873.00	4	60679468.25		
การทดลองที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	79653171.00	3	26551057.00	.444	.734
ภายในกลุ่ม	239053497.00	4	59763374.25		
การทดลองที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	77519620.38	3	25839873.46	.424	.746
ภายในกลุ่ม	243495434.50	4	60873858.63		
การทดลองที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	80339476.38	3	26779825.46	.453	.729
ภายในกลุ่ม	236594573.50	4	59148643.8		

จากตารางที่ 4.16 และ 4.17 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันในแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดสารแขวนลอย ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.18 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดสารแขวนลอยของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่ / ระยะเวลา	**ครั้งที่ 4 (6874.5)**	**ครั้งที่ 3 (2886)**	**ครั้งที่ 2 (8722)**	**ครั้งที่ 1 (869.5)**
การทดลองที่ 1				
ครั้งที่ 4 (6874.5)	0.00			
ครั้งที่ 3 (2886)	-3988.50	0.00		
ครั้งที่ 2 (8722)	1847.50	5836.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (869.5)	-6005.00	-2016.50	-7852.50	0.00
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 4 (6840.5)**	**ครั้งที่ 3 (2865)**	**ครั้งที่ 2 (8863.5)**	**ครั้งที่ 1 (873)**
ครั้งที่ 4 (6840.5)	0.00			
ครั้งที่ 3 (2865)	-3975.50	0.00		
ครั้งที่ 2 (8863.5)	2023.00	5998.50	0.00	
ครั้งที่ 1 (873)	-5967.50	-1992.00	-7990.50	0.00
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 4 (6830)**	**ครั้งที่ 3 (2838)**	**ครั้งที่ 2 (8745.5)**	**ครั้งที่ 1 (898)**
ครั้งที่ 4 (6830)	0.00			
ครั้งที่ 3 (2838)	-3992.00	0.00		
ครั้งที่ 2 (8745.5)	1915.50	5907.50	0.00	
ครั้งที่ 1 (898)	-5932.00	-1940.00	-7847.50	0.00
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 4 (6836.5)**	**ครั้งที่ 3 (2866.5)**	**ครั้งที่ 2 (8937.5)**	**ครั้งที่ 1 (902)**
ครั้งที่ 4 (6836.5)	0.00			
ครั้งที่ 3 (2866.5)	-3970.00	0.00		
ครั้งที่ 2 (8937.5)	2101.00	6071.00	0.00	
ครั้งที่ 1 (902)	-5934.50	-1964.50	-8035.50	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.16 - 4.18 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอย ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่/ครั้งที่	N	X	S.D.
การทดลองที่ 1			
ครั้งที่ 1	2	14.83	7.03
ครั้งที่ 2	2	211.32	125.24
ครั้งที่ 3	2	154.77	214.39
ครั้งที่ 4	2	82.40	34.73
การทดลองที่ 2			
ครั้งที่ 1	2	18.55	1.77
ครั้งที่ 2	2	234.61	92.31
ครั้งที่ 3	2	156.41	212.07
ครั้งที่ 4	2	58.84	68.04
การทดลองที่ 3			
ครั้งที่ 1	2	15.88	5.54
ครั้งที่ 2	2	215.53	119.29
ครั้งที่ 3	2	153.69	215.91
ครั้งที่ 4	2	58.26	68.87
การทดลองที่ 4			
ครั้งที่ 1	2	16.30	4.95
ครั้งที่ 2	2	240.34	84.21
ครั้งที่ 3	2	155.31	213.62
ครั้งที่ 4	2	60.40	65.83

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียต่างกันในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
การทดลองที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	43908.26	3	14636.09	.931	.504
ภายในกลุ่ม	62901.36	4	15725.34		
การทดลองที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	56919.25	3	18973.08	1.306	.388
ภายในกลุ่ม	58126.95	4	14531.74		
การทดลองที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	49157.41	3	16385.80	.999	.479
ภายในกลุ่ม	65619.24	4	16404.81		
การทดลองที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	60036.27	3	20012.09	1.402	.365
ภายในกลุ่ม	57084.75	4	14271.19		

จากตารางที่ 4.19 และ 4.20 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันในแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดน้ำมันและไขมันได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.21 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในแต่ละการทดลอง

การทดลองที่ / ระยะเวลา	**ครั้งที่ 4 (82.40)**	**ครั้งที่ 3 (154.77)**	**ครั้งที่ 2 (211.33)**	**ครั้งที่ 1 (14.83)**
การทดลองที่ 1				
ครั้งที่ 4 (82.40)	0.00			
ครั้งที่ 3 (154.77)	72.37	0.00		
ครั้งที่ 2 (211.33)	128.93	56.56	0.00	
ครั้งที่ 1 (14.83)	-67.57	-139.94	-196.50	0.00
การทดลองที่ 2	**ครั้งที่ 4 (58.84)**	**ครั้งที่ 3 (156.41)**	**ครั้งที่ 2 (234.61)**	**ครั้งที่ 1 (18.55)**
ครั้งที่ 4 (58.84)	0.00			
ครั้งที่ 3 (156.41)	97.57	0.00		
ครั้งที่ 2 (234.61)	175.77	78.20	0.00	
ครั้งที่ 1 (18.55)	-40.30	-137.86	-216.06	0.00
การทดลองที่ 3	**ครั้งที่ 4 (58.26)**	**ครั้งที่ 3 (153.69)**	**ครั้งที่ 2 (215.53)**	**ครั้งที่ 1 (15.88)**
ครั้งที่ 4 (58.26)	0.00			
ครั้งที่ 3 (153.69)	95.44	0.00		
ครั้งที่ 2 (215.53)	157.28	61.84	0.00	
ครั้งที่ 1 (15.88)	-42.38	-137.81	-199.65	0.00
การทดลองที่ 4	**ครั้งที่ 4 (60.40)**	**ครั้งที่ 3 (155.31)**	**ครั้งที่ 2 (240.34)**	**ครั้งที่ 1 (16.30)**
ครั้งที่ 4 (60.40)	0.00			
ครั้งที่ 3 (155.31)	94.91	0.00		
ครั้งที่ 2 (240.34)	179.94	85.03	0.00	
ครั้งที่ 1 (16.30)	-44.10	-139.01	-224.04	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.19 - 4.21 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เมื่อใช้ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละการทดลอง

ตารางที่ 4.22 ประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด- ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	N	X	S.D.
ครั้งที่ 1			
การทดลองที่ 1	2	6.65	.78
การทดลองที่ 2	2	6.70	.85
การทดลองที่ 3	2	6.70	.85
การทดลองที่ 4	2	6.70	.85
ครั้งที่ 2			
การทดลองที่ 1	2	6.90	.99
การทดลองที่ 2	2	6.85	.92
การทดลองที่ 3	2	6.85	.92
การทดลองที่ 4	2	6.90	.99
ครั้งที่ 2			
การทดลองที่ 1	2	6.70	.85
การทดลองที่ 2	2	6.80	.99
การทดลองที่ 3	2	6.90	1.13
การทดลองที่ 4	2	7.05	1.34
ครั้งที่ 4			
การทดลองที่ 1	2	7.10	1.27
การทดลองที่ 2	2	7.10	1.27
การทดลองที่ 3	2	7.10	1.27
การทดลองที่ 4	2	7.05	1.20

ตารางที่ 4.23 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
ครั้งที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	.004	3	.001	.002	1.000
ภายในกลุ่ม	2.77	4	.69		
ครั้งที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	.005	3	.002	.002	1.000
ภายในกลุ่ม	3.65	4	.91		
ครั้งที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	.134	3	.045	.037	.989
ภายในกลุ่ม	4.79	4	1.20		
ครั้งที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	.004	3	.001	.001	1.000
ภายในกลุ่ม	6.31	4	1.58		

จากตารางที่ 4.22 และ 4.23 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถปรับค่าความเป็นกรด- ด่างได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.24 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการปรับค่าความเป็นกรด- ด่าง ของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	การทดลองที่ 4 (6.70)	การทดลองที่ 3 (6.70)	การทดลองที่ 2 (6.70)	การทดลองที่ 1 (6.65)
ครั้งที่ 1				
การทดลองที่ 4 (6.70)	0.00			
การทดลองที่ 3 (6.70)	.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (6.70)	.00	.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (6.65)	-.05	-.05	-.05	0.00
ครั้งที่ 2	การทดลองที่ 4 (6.900)	การทดลองที่ 3 (6.850)	การทดลองที่ 2 (6.850)	การทดลองที่ 1 (6.900)
การทดลองที่ 4 (6.90)	0.00			
การทดลองที่ 3 (6.85)	-.05	0.00		
การทดลองที่ 2 (6.85)	-.05	.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (6.90)	.00	.05	.05	0.00
ครั้งที่ 3	การทดลองที่ 4 (7.050)	การทดลองที่ 3 (6.900)	การทดลองที่ 2 (6.800)	การทดลองที่ 1 (6.700)
การทดลองที่ 4 (7.05)	0.00			
การทดลองที่ 3 (6.90)	-.15	0.00		
การทดลองที่ 2 (6.80)	-.25	-.10	0.00	
การทดลองที่ 1 (6.70)	-.35	-.20	-.10	0.00
ครั้งที่ 4	การทดลองที่ 4 (7.050)	การทดลองที่ 3 (7.100)	การทดลองที่ 2 (7.100)	การทดลองที่ 1 (7.100)
การทดลองที่ 4 (7.05)	0.00			
การทดลองที่ 3 (7.10)	.05	0.00		
การทดลองที่ 2 (7.10)	.05	.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (7.10)	.05	.00	.00	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.22 - 4.24 พบว่าประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรด- ด่างของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	N	X	S.D.
ครั้งที่ 1			
การทดลองที่ 1	2	2610.00	1626.35
การทดลองที่ 2	2	2620.00	1612.20
การทดลองที่ 3	2	2548.00	1714.03
การทดลองที่ 4	2	2565.00	1689.99
ครั้งที่ 2			
การทดลองที่ 1	2	7832.50	8015.06
การทดลองที่ 2	2	7652.50	8269.61
การทดลองที่ 3	2	7787.50	8078.70
การทดลองที่ 4	2	7737.50	8149.41
ครั้งที่ 3			
การทดลองที่ 1	2	3950.00	1060.66
การทดลองที่ 2	2	3805.00	1265.72
การทดลองที่ 3	2	3807.50	1262.19
การทดลองที่ 4	2	4182.50	731.86
ครั้งที่ 4			
การทดลองที่ 1	2	5040.00	4836.61
การทดลองที่ 2	2	5145.00	4688.12
การทดลองที่ 3	2	5125.00	4716.40
การทดลองที่ 4	2	5230.00	4567.91

ตารางที่ 4.26 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
ครั้งที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	7233.50	3	2411.17	.001	1.000
ภายในกลุ่ม	11038138.00	4	2759534.50		
ครั้งที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	35700.00	3	11900.00	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	264305750.00	4	66076437.50		
ครั้งที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	189262.50	3	63087.50	.052	.982
ภายในกลุ่ม	4855775.00	4	1213943.75		
ครั้งที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	36500.00	3	12166.67	.001	1.000
ภายในกลุ่ม	88481500.00	4	22120375.00		

จากตารางที่ 4.25 และ 4.26 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดบีโอดีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.27 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดบีโอดี ของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	การทดลองที่ 4 (2565)	การทดลองที่ 3 (2548)	การทดลองที่ 2 (2620)	การทดลองที่ 1 (2610)
ครั้งที่ 1				
การทดลองที่ 4 (2565)	0.00			
การทดลองที่ 3 (2548)	-17.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (2620)	55.00	72.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (2610)	45.00	62.00	-10.00	0.00
ครั้งที่ 2	การทดลองที่ 4 (7737.5)	การทดลองที่ 3 (7787.5)	การทดลองที่ 2 (7652.5)	การทดลองที่ 1 (7832.5)
การทดลองที่ 4 (7737.5)	0.00			
การทดลองที่ 3 (7787.5)	50.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (7652.5)	-85.00	-135.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (7832.5)	95.00	45.00	180.00	0.00
ครั้งที่ 3	การทดลองที่ 4 (4182.5)	การทดลองที่ 3 (3807.5)	การทดลองที่ 2 (3805)	การทดลองที่ 1 (3950)
การทดลองที่ 4 (4182.5)	0.00			
การทดลองที่ 3 (3807.5)	-375.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (3805)	-377.50	-2.50	0.00	
การทดลองที่ 1 (3950)	-232.50	142.50	145.00	0.00
ครั้งที่ 4	การทดลองที่ 4 (5230)	การทดลองที่ 3 (5125)	การทดลองที่ 2 (5145)	การทดลองที่ 1 (5040)
การทดลองที่ 4 (5230)	0.00			
การทดลองที่ 3 (5125)	-105.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (5145)	-85.00	20.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (5040)	-190.00	-85.00	-105.00	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.25 - 4.27 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.28 ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	N	X	S.D.
ครั้งที่ 1			
การทดลองที่ 1	2	869.50	1140.56
การทดลองที่ 2	2	873.00	1135.61
การทดลองที่ 3	2	898.00	1100.26
การทดลองที่ 4	2	902.00	1094.60
ครั้งที่ 2			
การทดลองที่ 1	2	8722.00	11986.87
การทดลองที่ 2	2	8863.50	11786.76
การทดลองที่ 3	2	8745.50	11953.64
การทดลองที่ 4	2	8937.50	11682.11
ครั้งที่ 3			
การทดลองที่ 1	2	2886.00	3685.44
การทดลองที่ 2	2	2865.00	3715.14
การทดลองที่ 3	2	2838.00	3753.32
การทดลองที่ 4	2	2866.50	3713.02
ครั้งที่ 4			
การทดลองที่ 1	2	6874.50	9173.30
การทดลองที่ 2	2	6840.50	9221.38
การทดลองที่ 3	2	6830.00	9236.23
การทดลองที่ 4	2	6836.50	9227.04

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
ครั้งที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	1681.38	3	560.46	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	4999222.50	4	1249805.63		
ครั้งที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	61639.38	3	20546.46	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	561974165.50	4	140493541.38		
ครั้งที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	2334.38	3	778.13	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	55258662.50	4	13814665.63		
ครั้งที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	2374.38	3	791.46	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	339629327.50	4	84907331.88		

จากตารางที่ 4.28 และ 4.29 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดสารแขวนลอย ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.30 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดสารแขวนลอยของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	การทดลองที่ 4 (902)	การทดลองที่ 3 (898)	การทดลองที่ 2 (873)	การทดลองที่ 1 (869.5)
ครั้งที่ 1				
การทดลองที่ 4 (902)	0.00			
การทดลองที่ 3 (898)	-4.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (873)	-29.00	-25.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (869.5)	-32.50	-28.50	-3.50	0.00
ครั้งที่ 2	การทดลองที่ 4 (8937.5)	การทดลองที่ 3 (8745.5)	การทดลองที่ 2 (8863.5)	การทดลองที่ 1 (8722)
การทดลองที่ 4 (8937.5)	0.00			
การทดลองที่ 3 (8745.5)	-192.00	0.00		
การทดลองที่ 2 (8863.5)	-74.00	118.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (8722)	-215.50	-23.50	-141.50	0.00
ครั้งที่ 3	การทดลองที่ 4 (2866.5)	การทดลองที่ 3 (2838)	การทดลองที่ 2 (2865)	การทดลองที่ 1 (2886)
การทดลองที่ 4 (2866.5)	0.00			
การทดลองที่ 3 (2838)	-28.50	0.00		
การทดลองที่ 2 (2865)	-1.50	27.00	0.00	
การทดลองที่ 1 (2886)	19.50	48.00	21.00	0.00
ครั้งที่ 4	การทดลองที่ 4 (6836.5)	การทดลองที่ 3 (6830)	การทดลองที่ 2 (6840.5)	การทดลองที่ 1 (6874.5)
การทดลองที่ 4 (6836.5)	0.00			
การทดลองที่ 3 (6830)	-6.50	0.00		
การทดลองที่ 2 (6840.5)	4.00	10.50	0.00	
การทดลองที่ 1 (6874.5)	38.00	44.50	34.00	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.28 - 4.30 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอย ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.31 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	N	X	S.D.
ครั้งที่ 1			
การทดลองที่ 1	2	14.83	7.03
การทดลองที่ 2	2	18.55	1.77
การทดลองที่ 3	2	15.88	5.54
การทดลองที่ 4	2	16.30	4.95
ครั้งที่ 2			
การทดลองที่ 1	2	211.33	125.24
การทดลองที่ 2	2	234.61	92.31
การทดลองที่ 3	2	215.53	119.29
การทดลองที่ 4	2	240.34	84.21
ครั้งที่ 3			
การทดลองที่ 1	2	154.77	214.39
การทดลองที่ 2	2	156.41	212.07
การทดลองที่ 3	2	153.69	215.91
การทดลองที่ 4	2	155.31	213.62
ครั้งที่ 4			
การทดลองที่ 1	2	82.40	34.73
การทดลองที่ 2	2	58.84	68.04
การทดลองที่ 3	2	58.26	68.87
การทดลองที่ 4	2	60.40	65.83

ตารางที่ 4.32 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่	S.S	df	M.S.	F	p-value
ครั้งที่ 1					
ระหว่างกลุ่ม	14.70	3	4.90	.182	.904
ภายในกลุ่ม	107.79	4	26.95		
ครั้งที่ 2					
ระหว่างกลุ่ม	1206.60	3	402.20	.035	.990
ภายในกลุ่ม	45526.69	4	11381.67		
ครั้งที่ 3					
ระหว่างกลุ่ม	7.66	3	2.554	.000	1.000
ภายในกลุ่ม	183186.58	4	45796.64		
ครั้งที่ 4					
ระหว่างกลุ่ม	814.37	3	271.47	.073	.971
ภายในกลุ่ม	14911.25	4	3727.81		

จากตารางที่ 4.31 และ 4.32 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม จำแนกตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกัน พบว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกโดยจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถบำบัดน้ำมันและไขมันได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (p-value มากกว่า 0.05)

ตารางที่ 4.33 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำมันและไขมันของน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง

ครั้งที่ / การทดลองที่	การทดลองที่ 4 (16.30)	การทดลองที่ 3 (15.88)	การทดลองที่ 2 (18.55)	การทดลองที่ 1 (14.83)
ครั้งที่ 1				
การทดลองที่ 4 (16.30)	0.00			
การทดลองที่ 3 (15.88)	-.42	0.00		
การทดลองที่ 2 (18.55)	2.25	2.67	0.00	
การทดลองที่ 1 (14.83)	-1.47	-1.05	-3.72	0.00
ครั้งที่ 2	การทดลองที่ 4 (240.34)	การทดลองที่ 3 (215.53)	การทดลองที่ 2 (234.61)	การทดลองที่ 1 (211.33)
การทดลองที่ 4 (240.34)	0.00			
การทดลองที่ 3 (215.53)	-24.81	0.00		
การทดลองที่ 2 (234.61)	-5.73	19.08	0.00	
การทดลองที่ 1 (211.33)	-29.01	-4.21	-23.28	0.00
ครั้งที่ 3	การทดลองที่ 4 (155.31)	การทดลองที่ 3 (153.69)	การทดลองที่ 2 (156.41)	การทดลองที่ 1 (154.77)
การทดลองที่ 4 (155.31)	0.00			
การทดลองที่ 3 (153.69)	-1.62	0.00		
การทดลองที่ 2 (156.41)	1.10	2.72	0.00	
การทดลองที่ 1 (154.77)	-.54	1.08	-1.64	0.00
ครั้งที่ 4	การทดลองที่ 4 (60.40)	การทดลองที่ 3 (58.26)	การทดลองที่ 2 (58.84)	การทดลองที่ 1 (82.40)
การทดลองที่ 4 (60.40)	0.00			
การทดลองที่ 3 (58.26)	-2.15	0.00		
การทดลองที่ 2 (58.84)	-1.56	.59	0.00	
การทดลองที่ 1 (82.40)	21.10	24.14	23.56	0.00

หมายเหตุ :- * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

จากตารางที่ 4.31 - 4.33 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ของระบบบำบัดน้ำเสียในการทดลองที่ 1 – 4 โดยจุลินทรีย์อีเอ็มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6.4 การศึกษาต้นทุนเมื่อใช้ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ที่ต่างกัน

จากการเตรียมการทดลองทั้ง 4 การทดลอง ปริมาณจุลินทรีย์ที่ใช้ตลอดการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 3 พฤศจิกายน – 1 ธันวาคม 2547 ตามอัตราส่วนของแต่ละการทดลอง จำแนกระยะเวลาเป็นรายสัปดาห์ โดยการทดลองที่ 1 มีหน่วยวัดเป็นกรัม และการทดลองที่ 2 – 4 มีหน่วยวัดเป็นมิลลิลิตร สรุปได้ดังตารางที่ 4.34

ค่าใช้จ่ายในการเตรียมจุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในแบบจำลองระบบเอเอส มีดังนี้

- จุลินทรีย์ผงชนิดเฉียบพลัน	ราคากิโลกรัมละ	180	บาท
- หัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็ม	ราคาลิตรละ	68	บาท
- กากน้ำตาล	ราคากิโลกรัมละ	20	บาท
- น้ำสะอาด	ราคาแกลลอนละ (20 ลิตร)	12	บาท
- จุลินทรีย์อีเอ็มขยาย	ราคามิลลิลิตรละ	0.00454	บาท

และค่าใช้จ่ายในการใช้จุลินทรีย์สำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในแบบจำลองระบบเอเอส โดยจำแนกเปรียบเทียบในแต่ละการทดลอง สรุปได้ดังตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.34 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียในแบบจำลองระบบเอเอส

ระยะเวลา	การทดลองที่ 1 (กรัม)	การทดลองที่ 2 (มิลลิลิตร)	การทดลองที่ 3 (มิลลิลิตร)	การทดลองที่ 4 (มิลลิลิตร)
สัปดาห์ที่ 1 (3 – 10 พ.ย.47)	10	10	6.7	5
สัปดาห์ที่ 2 (11 – 17 พ.ย.47)	15	15	10.05	7.5
สัปดาห์ที่ 3 (18 – 24 พ.ย.47)	13	13	8.71	6.5
สัปดาห์ที่ 4 (25 – 1 ธ.ค.47)	12	12	8.04	6
รวม	**50**	**50**	**33.5**	**27**

ตารางที่ 4.35 การเปรียบเทียบต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียระหว่างการใช้จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันและจุลินทรีย์อีเอ็มในแบบจำลองระบบเอเอส

ปัจจัยที่พิจารณา	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 4
1.ต้นทุนในการบำบัด (บาท)	9*	0.227 **	0.152 **	0.1227**
2.จำนวนเท่าที่มากกว่าการทดลองที่ 1(เท่า)	-	40.9	60	75
3.เปอร์เซ็นต์ที่มากกว่าการทดลองที่ 1 (%)	-	97.6	98.3	98.7

หมายเหตุ * จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน ** จุลินทรีย์อีเอ็มขยายชนิดน้ำ

จากตารางที่ 4.34 – 4.35 พบว่าการทดลองที่ 1 ใช้จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน จำนวน 50 กรัม ราคาต้นทุน 9 บาท ส่วนการทดลองที่ 2 – 4 ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม จำนวน 50 มิลลิลิตร 33.5 มิลลิลิตร และ 27 มิลลิลิตร คิดเป็นต้นทุน 0.227 บาท 0.152 บาท และ 0.1227 บาท ตามลำดับ และพบว่า จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันที่ใช้ในการทดลองที่ 1 มีต้นทุนแพงกว่า จุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้ในการทดลองที่ 2 3 และ 4 เท่ากับ 40.9 เท่า หรือร้อยละ 97.6 60 เท่า หรือร้อยละ 98.3 และ 75 เท่า หรือร้อยละ 98.7 ตามลำดับ

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เรื่อง " การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก " โดยสรุปผลดังนี้

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

1.1.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี สารแขวนลอย น้ำมันและไขมันโดยจุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในถังเติมอากาศของระบบเอเอส (Activated Sludge)

2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด บีโอดี สารแขวนลอย น้ำมันและไขมัน โดยจุลินทรีย์อีเอ็ม ตามปริมาณ และระยะเวลาการบำบัด ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ในถังเติมอากาศของระบบเอเอส

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากร คือ น้ำเสียทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 1 โรงงาน

1.2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำเสียที่เก็บจากบ่อผสมรวม ของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยนำน้ำเสียในบ่อผสมรวม มาทดลองในระบบจำลอง โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ก่อนเข้าสู่การบำบัดน้ำเสียของระบบจำลองส่ง

ตรวจวิเคราะห์คุณภาพ จำนวน 16 ตัวอย่าง และน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 แล้วโดยไม่มีการเติมคลอรีนก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จำนวน 16 ตัวอย่าง

1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญดังนี้ คือ ระบบรวบรวมน้ำเสีย (Collection System) และ ระบบบำบัดน้ำเสีย (Treatment System)

2) จุลินทรีย์อีเอ็ม และเครื่องมือที่ใช้ในภาคสนาม

3) เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ เพื่อการตรวจวิเคราะห์หาค่าทางเคมี

1.4 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1) เลือกโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เพื่อขอตัวอย่างน้ำเสีย

2) สร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสีย

3) ศึกษากระบวนการผลิตแหล่งที่มาของน้ำเสีย

4) ศึกษาปริมาณและลักษณะน้ำเสีย ตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น

4) ตรวจวิเคราะห์หาค่าทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด – ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน

1.5 วิธีการวิเคราะห์

การตรวจวิเคราะห์หาค่าทางเคมีของน้ำ ปฏิบัติตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater 20 th Edition 1998

1.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวัด การตรวจวิเคราะห์ การทดลองในแบบฟอร์มบันทึกผล ข้อมูลการผลิต

1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.7.1 ใช้สถิติเชิงพรรณนา โดยเสนอค่าเป็น ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย

1.7.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแต่ละการลดลอง โดยใช้สถิติ One – Way ANOVA : Scheffe (Significance Level 0.05, Confidence Intervals are 95 %)

1.8 ผลการวิจัย

การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 1 พบว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 61.2 96.2 และ 50.2 การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 60.64 95.82 และ 12.68 การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 64.47 92.84 และ 39.6 การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 63.6 92.36 และ 35.4 ตามลำดับ

การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 2 พบว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ ดังนี้ การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 83.96 98.57 และ 59.06 การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 86.63 96.72 และ 43.53 การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 84.63 98.3 และ 56.3 การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 85.4 96.06 และ 39.71 ตามลำดับ

การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 3 พบว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ ดังนี้ การทดลองที่ 1 ลดค่า บีโอดีสารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 31.91 94.90 และ 98.97 การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 38.1 95.62 และ 97.89 การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 37.98 96.65 และ 99.67 การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 22.02 95.61 และ 98.61 ตามลำดับ

การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 4 พบว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่า บีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ลงได้ ดังนี้ การทดลองที่ 1 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 80.85 97.1 และ 45.92 การทดลองที่ 2 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 78.37 97.60 และ 89.97 การทดลองที่ 3 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 78.84 97.76 และ 91.06 การทดลองที่ 4 ลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และ

น้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 76.36 97.66 และ 87.05 ตามลำดับ

การบำบัดน้ำเสียครั้งที่ 1-4 พบว่า การทดลองที่ 1 – 4 มีการปรับค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ ดังนี้

การทดลองที่ 1 ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.3304) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 64.48 (S.D.=23.94) 96.69(S.D.=1.54) และ 63.54 (S.D.=24.25) การทดลองที่ 2 ปรับค่าความเป็นกรด- ด่าง (S.D.=0.2944) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 65.94 (S.D.=21.49) 96.50 (S.D.=0.92) และ 61.02 (S.D.=40.2) การทดลองที่ 3 ปรับค่าความเป็นกรด- ด่าง (S.D.=0.2986) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 66.48 (S.D.=20.80) 95.38 (S.D.=2.46) และ 71.66 (S.D.=28.43) การทดลองที่ 4 ปรับค่า ความเป็นกรด - ด่าง (S.D.=0.2500) เฉลี่ยได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และลดค่าบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 61.85 (S.D.=28.02) 95.42 (S.D.=2.22) และ 65.2 (S.D.=32.31) ตามลำดับ

2. อภิปรายผล

สมมติฐานข้อที่ 1 ที่กล่าวว่าจุลินทรีย์อีเอ็มใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบเอเอสได้

จากผลการทดลองการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอส เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ทั้ง 3 การทดลอง (การทดลองที่ 2 – 4) สรุปได้ว่าจุลินทรีย์อีเอ็มใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบเอเอสได้ และ การทดลองที่ 1 ที่ใช้จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลัน ซึ่งทางโรงงานใช้ก็สามารถใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานได้เช่นเดียวกัน จึงเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า จุลินทรีย์อีเอ็มใช้บำบัดน้ำเสียประเภทสารอินทรีย์ได้ โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Srituma (48) ที่ได้ศึกษาทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกร จังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์ธรรมชาติอีเอ็มสามารถกำจัดบีโอดี ได้ร้อยละ 36.0 สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 68.8 และสอดคล้องกับการทดลองของ สมชัย จันทร์สว่าง และคณะ (48) ที่ได้ทดลองใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยการเลี้ยงขยายจุลินทรีย์อีเอ็มแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi – continuous mass

culture) และผสมในน้ำล้างคอกและน้ำดื่มของสุกร ผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ธรรมชาติ อีเอ็มสามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากคอกสุกรที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง สามารถลดค่าบีโอดีลงได้ถึงร้อยละ 91 และก็สอดคล้องกับการทดลองของ อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ และคณะ(47) ที่ได้ศึกษาความสามารถของจุลินทรีย์อีเอ็มในการเป็นสารยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ ผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์อีเอ็มที่เพาะขยาย และสารละลายกากน้ำตาลหมักมีฤทธิ์เป็นสารยับยั้ง แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์อีเอ็ม มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ความสามารถการยับยั้งนี้ได้จากกรด ซึ่งเกิดจากการหมักกากน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ในจุลินทรีย์อีเอ็ม สามารถสร้างกรดได้เป็นปริมาณมากระดับหนึ่ง และไปยับยั้งการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ *Proteus vulgaris* ได้

สมมติฐานข้อที่ 2 ที่กล่าวว่าปริมาณที่ต่างกันของจุลินทรีย์อีเอ็มมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบเอเอส

จากตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด - ด่างเฉลี่ย ตามตารางที่ 4.6-4.7 และภาคผนวก ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการปรับค่า ความเป็นกรด- ด่าง ทุกการทดลอง มีประสิทธิภาพในการปรับค่าความเป็นกรด- ด่าง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อปริมาณของจุลินทรีย์ต่างกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าบีโอดีเฉลี่ย ตามตารางที่ 4.8-4.9 และภาคผนวก ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่าบีโอดี ทุกการทดลอง มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อปริมาณของจุลินทรีย์ต่างกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าสารแขวนลอยเฉลี่ย ตามตารางที่ 4.10-4.11 และภาคผนวก ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า สารแขวนลอย ทุกการทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าสารแขวนลอย ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อปริมาณของจุลินทรีย์ต่างกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าน้ำมันและไขมันเฉลี่ย ตามตารางที่ 4.12-4.13 และภาคผนวก ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดค่า น้ำมันและไขมัน ทุกการทดลองมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า น้ำมันและไขมัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อปริมาณของจุลินทรีย์ต่างกัน สรุปว่าปริมาณที่ต่างกันของจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบเอเอส ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณของจุลินทรีย์ต่างกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียไม่ต่างกันเสมอไป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ นวรัตน์ ใจศิล (49) ที่ได้ศึกษาการลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์

อีเอ็ม 250 มล. 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถลดปริมาณมูลฝอยได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.5 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. นั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการลดปริมาณมูลฝอยนั้น กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 250 มล. 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถวัดปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นได้ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม 0.5 มล. และกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม

สมมติฐานข้อที่ 3 ที่กล่าวว่า ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันของจุลินทรีย์อีเอ็มมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบเอเอส

จากตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอย และ น้ำมันและไขมัน ตามตารางที่ 4.10-4.12, 4.13-4.15, 4.16-4.18 และ 4.19-4.21 ตามลำดับ ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง และ การบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และ น้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันในแต่ละการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเป็นกรด - ด่าง บีโอดี สารแขวนลอยและน้ำมันและไขมัน ตามตารางที่ 4.22-4.24, 4.25-4.27, 4.28-4.30 และ 4.31-4.33 ตามลำดับ ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์อีเอ็มในการปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง และ การบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และ น้ำมันและไขมัน ในน้ำเสียตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเดียวกันในระหว่างแต่ละการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปว่า ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ต่างกันของจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอกในบ่อเติมอากาศของระบบซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่อระยะเวลาในการบำบัดต่างกัน ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจะต่างกัน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ระยะเวลาในการเก็บกัก (Hydraulic Retention Time) และการกวนในถังเติมอากาศ อายุของตะกอน (Sludge Age) อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microbe Ratio; F/M) ปริมาณจุลินทรีย์ (Micorbialmass) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนี้

ระยะเวลาในการเก็บกักที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศ จะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่าง ๆ หากมีระยะต่ำเกินไปสารที่ย่อยยาก ๆ จะถูก

ย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าบีโอดี เหลืออยู่ในน้ำเสียมาก สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนขั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปจะทำให้ตะกอนเร่งตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้ตะกอนเร่งขาดออกซิเจนและเน่าได้

การกวน ภายในถังเติมอากาศจะต้องมีการกวนอย่างทั่วถึง เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อมิให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่าง ๆ รวมทั้งจะได้จับตัวกันเป็นฟล็อคที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะต้องป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารสูง การกวนที่สมบูรณ์ในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ จะต้องมีค่า MLSS และค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำสม่ำเสมอกันทั่วถึง

อายุของตะกอน จะเกี่ยวข้องโดยตรงต่อประสิทธิภาพของระบบ ถ้าอายุของตะกอนสั้นประสิทธิภาพการบำบัดจะต่ำ แต่ตรงกันข้าม ถ้าอายุของตะกอนสูงอาจก่อปัญหาน้ำที่บำบัดแล้วจะมีความขุ่นได้

อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ เป็นการแสดงว่า ระบบอยู่ในสภาวะมีอาหารมากน้อยเพียงไร ซึ่งอัตราส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพของระบบและค่าบีโอดี ในน้ำเสียที่บำบัดแล้ว

ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานในการดำรงชีวิตจากการย่อยสลาย แล้วจะเกิดเป็นตะกอน (Sludge) และน้ำส่วนใส ซึ่งตะกอนจะมีทั้งเซลล์ของแบคทีเรียที่ตาย และสารประกอบต่าง ๆ และน้ำส่วนใส จะมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง

ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการเอเอส ดังนั้น หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้ามคือ มีอาหารน้อย จนทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้รวดเร็ว แต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็ก ๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตะกอนขุ่น

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่น ๆ พบว่าคุณภาพน้ำทิ้งยังไม่ได้มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) มีเพียงค่าน้ำมันและไขมัน ในการบำบัดน้ำ

เสียครั้งที่ 3 ของการทดลองที่ 3 และการทดลองที่ 4 ที่มีค่าได้ตามมาตรฐาน คือ 1.02 มก./ล.และ 4.25 มก./ล. ซึ่งไม่เกิน 5.0 มก./ล. ส่วนค่าความเป็นกรด – ด่างของทุกการทดลองและทุกครั้งของแต่ละการทดลองเท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม

เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับการศึกษา ของ สมศักดิ์ นุกูลอุดมพาณิชย์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม : กรณีศึกษาบ่อพักน้ำเสียโรงพยาบาลคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียก่อนฉีดพ่นสาร จุลินทรีย์อีเอ็ม มีค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 8.0 สารละลายมีค่าเท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 71.5 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีมีค่าเท่ากับ 54.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 43.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของคุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียหลังฉีดพ่นสารจุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่ามีค่าความเป็นกรด- ด่างเท่ากับ 8.0 สารละลายมีค่าเท่ากับ 580 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 63 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีมีค่าเท่ากับ 61 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 38.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิผลของรูปแบบการแก้ปัญหาน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม พบว่าจุลินทรีย์อีเอ็มมีประสิทธิผลในการลดปริมาณสารแขวนลอยร้อยละ 11.89 ลดปริมาณน้ำมันและไขมันร้อยละ 10.88 และสุดท้าย จุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีประสิทธิผลในการลดความเป็นกรด – ด่าง และค่าบีโอดี ส่วนการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 การทดลองสามารถปรับค่าความเป็นกรด – ด่างได้ตามมาตรฐาน (5.5 – 9.0) สามารถกำจัดบีโอดีได้ร้อยละ 64.48 65.94 66.48 และ 61.85 ตามลำดับ สามารถกำจัดสารแขวนลอยได้ร้อยละ 96.69 96.50 96.39 และ 95.42 ตามลำดับ และสามารถกำจัดน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 63.54 61.01 71.66 และ 65.19 ตามลำดับ

พบว่าปริมาณและลักษณะการใช้ของจุลินทรีย์อีเอ็ม ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย การใช้ตัวอย่างน้ำเสีย และวิธีการและขั้นตอนการบำบัดที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์อีเอ็มต่างกันด้วย

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 จากผลการศึกษาวิจัย

สำหรับการเลือกใช้จุลินทรีย์อีเอ็ม โดยการเปรียบเทียบต้นทุนในการบำบัด และ

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตารางที่ 4.34 – 4.35 เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 การทดลอง พบว่า การทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ผงชนิดเฉียบพลันที่ทางโรงงานใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีต้นทุนสูงกว่า การทดลองที่ 2 - 4 ที่ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มขยายในการบำบัด ซึ่งประสิทธิภาพการปรับค่าความเป็นกรดด่าง และการบำบัดบีโอดี สารแขวนลอย และน้ำมันและไขมัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ จุลินทรีย์ผงชนิดเฉียบพลันที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ใช้ต้นทุนสูงกว่า จุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้ในการทดลองที่ 2 40.9 เท่า หรือร้อยละ 97.6 สูงกว่า จุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้ในการทดลองที่ 3 60 เท่า หรือร้อยละ 98.3 สูงกว่า จุลินทรีย์อีเอ็มที่ใช้ในการทดลองที่ 4 75 เท่า หรือร้อยละ 98.7

ผู้วิจัยได้แนะนำให้ทางโรงงานที่ใช้เป็นสถานที่ดำเนินการวิจัย นำจุลินทรีย์อีเอ็มขยายชนิดน้ำไปประยุกต์ใช้ในระบบเอเอสระบบจริง จากการสังเกตพบว่า ลักษณะ สี และกลิ่นของน้ำที่ผ่านการบำบัดเมื่อเปรียบเทียบ กับจุลินทรีย์ผงชนิดฉียบพลันที่ทางโรงงานใช้อยู่ก่อนหน้านั้นให้ผลใกล้เคียงกัน สามารถนำน้ำไปรดสนามหญ้าของบ้านพัก รอบ ๆ บริเวณโรงงานได้ แต่ทั้งนี้ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานยังต้องปรับปรุงการดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย และเพิ่มเติม บ่อเก็บกัก (Equalizing Tank) เนื่องจากน้ำที่ผ่านระบบบำบัดส่วนใหญ่มีอุณหภูมิไม่คงที่ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของจุลินทรีย์อีเอ็มโดยตรง

สรุปว่า ควรใช้จุลินทรีย์อีเอ็มขยายที่ใช้ในการทดลองที่ 4 ซึ่งใช้อัตราส่วนจุลินทรีย์อีเอ็มขยายต่อปริมาณน้ำเสีย 1 : 20,000 และการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก โดยใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสสามารถบำบัดน้ำเสียได้ โดยมีความง่าย สะดวก และประหยัด สำหรับเจ้าหน้าที่ดูแลระบบบำบัดหรือเจ้าของสถานประกอบการ เหมาะสมกับการที่จะใช้ทดแทน จุลินทรีย์ผงแบบเฉียบพลันที่มีต้นทุนสูงกว่ามาก

3.2 เพื่อการศึกษาวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ชัดเจน และเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสีย ควรศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาระยะเวลาการเติมอากาศ ระยะเวลาการย่อยสลายของจุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศ และศึกษาเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น เช่น Sand Filter ในการบำบัดขั้น สูง หรือการเพิ่มระบบดักไขมันก่อนเข้าสู่การบำบัดขั้นที่ 2 รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบวิธีการ และลักษณะการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2547*) ระบบบำบัดน้ำเสีย : ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Sustem)* ค้นคืนวันที่ 17 มีนาคม 2547 จาก http://www.pcd.go.th/WaterQuality/WasteWT/Activated.htm

กัลยา วานิชย์บัญชา (2545) *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล* พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพมหานคร ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ

คณิต ม่วงนิล บรรณาธิการ (2546) "EM คืออะไร ?" *เกษตรคิวเซ นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่* กรุงเทพมหานคร ก.พล 12, 56 (มิถุนายน) : 6-9

_____ . (2546) "สิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิต : ร.พ.เลิดสิน" *เกษตรคิวเซ นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่* กรุงเทพมหานคร ก.พล 12, 56 (มิถุนายน) : 75-80

_____ . (2545) "จุลินทรีย์กับการเกษตร" *เกษตรคิวเซ นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่* กรุงเทพมหานคร ก.พล 11, 42 (เมษายน) : 33

_____ . (2545) "เทคนิคการบำบัดน้ำเสีย" *เกษตรคิวเซ นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่* กรุงเทพมหานคร ก.พล 11, 42 (เมษายน) : 85-88

จงจินต์ ผลประเสริฐ (2544) "การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ" ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม* หน่วยที่ 7 หน้า 53 – 131 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ไตรภพ อินทุใส และคณะ (2546) *เทคนิคการบำบัดน้ำเสีย (2100-1009)* กรุงเทพมหานคร ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

เทรูโอะ ฮิงะ (2545) "เทคโนโลยี EM จะเปลี่ยนศตวรรษที่ 21" *อนาคตที่เกิดใหม่* แปล และเรียบเรียงโดย ภาวุฒิ คุณวัฒนภักดี กรุงเทพมหานคร สยามออฟเซท จำกัด

_____ . (2537) "กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพจะช่วยโลกได้" *เกษตรคิวเซ* แปลโดย คาซูฮิโกะ วาคุกามิ 2(8) : 4 – 6 อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) "การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)" วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

_____ . (2536) "การปฏิวัติอันยิ่งใหญ่เพื่อช่วยเหลือโลก" แปลจาก *Chikyuu Wo Sukuu Daihenkaku* Japan : Sunmark Publishing โดย ภาวุฒิ คุณวัฒนภักดี พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร ก.พล

เทรูโอะ ฮิงะ (2536) “ความเป็นมาของเกษตรธรรมชาติคิวเซ” *เกษตรคิวเซ* 2(5) : 30 – 31 อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ธงชัย คัมภีร์ มาลินี สมัยกุล สุเทพ ญาดี จงกลนี สุนทรสีมะ และพูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องเชื้อแอคติโนมัยสีทในสาร EM” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 12 – 31 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ธวัชชัย วรพงศธร (2536) “ การวิจัยแบบทดลอง ” ใน *หลักการวิจัยทั่วไป พร้อมตัวอย่างทางสาธารณสุขศาสตร์* หน้า 324 – 406 กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นภา โล่ห์ทอง สุรางค์ สุธิราวุธ และสุเทพ ญาดี (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษา Lactic acid bacteria” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 10 – 15 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์. อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นภาวรรณ นพรัตนราภรณ์ และ กฤตวรรณ วงศ์ศิริเดช (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาแบคทีเรียสังเคราะห์แสงใน EM” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 20 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นฤดล บุญ – หลง (2532) “อุตสาหกรรมกุนเชียง” ใน *รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลา ผลิตภัณฑ์ทางทะเล พ.ศ.2532* หน้า 45-46 ห้องสมุดกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ค้นคืนวันที่ 29 มีนาคม 2547 จาก http://library.dip.go.th/elib-bin/opacexe.exe?op=dsp&wa=E39F416&bid=…

นฤดล บุญ – หลง (2532) “อุตสาหกรรมหมูยอ” ใน *รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากเนื้อปลา ผลิตภัณฑ์ทางทะเล พ.ศ.2532* หน้า 51-52 ห้องสมุดกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
จาก http://library.dip.go.th/elib-bin/opacexe.exe?op=dsp&wa=E38F408&bid=…

นิรุติ คูณผล (2539) *ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย* พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยธรรมาศาสตร์

บรรหาญ แตงฉ่ำ และสมพร ชุนห์ลือชานนท์ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องผลของซุปเปอร์ EM. ต่อการเจริญเติบโตของบักเตรีอิสระที่สามารถตรึงไนโตรเจน” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 113 – 115 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บริษัทอินเตอร์เนชั่นแนล ควอลิตี้ แอสชัวลันซ์ แลบบอราตอรี่ จำกัด (2541) “คู่มือการดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) โรงพยาบาลชุมชน” *ตามโครงการสัญญาเลขที่ นส.สบช.1-05/2539 เสนอต่อสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข* กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร

ปรากรม วุฒิพงษ์ (2539) *คู่มือการตรวจวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ* นนทบุรี กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

ประนอม ชำนาญ (2543) “ ปริมาณ ลักษณะ การเก็บตัวอย่าง และการตรวจวิเคราะห์น้ำเสีย ” ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม* หน่วยที่ 4 หน้า 179 – 229 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ประเสริฐ ตบนียางกูร (2544) “กฎหมายและองค์กรของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม” ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการจัดการคุณภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม* หน่วยที่ 12 หน้า 75-107 นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช บัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ ชุลี ชัยศรีสุข ภาสนันท์ ดอกไม้ และ สุทธิศักดิ์ จาดเจริญ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องชนิดและปริมาณของเชื้อราในสาร EM” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 35 – 39 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (2538) *โครงการฝึกอบรมการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย* พฤษภาคม 2538 พิมพ์ครั้งที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาวดี ภักดี มนัส ลอศิริกุล เกษสุดา เดชภิมล และคณะ (2533) “รายงานผลการวิจัยโครงการวิจัยเกษตรธรรมชาติ” บทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการจัดการ ดิน น้ำ พืช และสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาวนา ลิกขนานนท์ และสมศักดิ์ วังใน (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องการทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยใช้ EM (โบกาฉิ)” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 86 – 88 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพหมานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542) *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 1* กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

_____ . (2542) *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่มที่ 2* กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รัช รุจิรวรรธน์ (2546) “การใช้ EM กับสิ่งแวดล้อม :เทคนิคเกษตรธรรมชาติคิวเซและสิ่งแวดล้อม” *เกษตรคิวเซ* (ฉบับพิเศษ) : 55 – 63

_____ . (2545) “การสร้างบ่อบำบัดน้ำเสีย” *เกษตรคิวเซ นิตยสารเกษตรธรรมชาติแนวใหม่* 11, 44 (มิถุนายน) : 55-57

วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ (2539) *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี* พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาวิทยาศาสตร์สุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา (2543) *การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเพื่อ การเกษตรและสิ่งแวดล้อมวันนี้* พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพมหานคร ธีรสารการพิมพ์

ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา (2538) *การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มจากธรรมชาติเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในวันนี้* พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร ธีรสารการพิมพ์

สมพร ชุนห์ลือชานนท์ บรรหาญ แตงฉ่ำ และจิรายุทธ ตันวีนุกุล (2538) "รายงานการวิจัยเรื่องผลของสาร EM ต่อการเจริญเติบโตและการตรึงไนโตเจนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน" ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 116 – 122 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) "การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)" วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สมชัย จันทร์สว่าง ชลศักดิ์ สินรัชตานนท์ เกียรติไกร อายุวัฒน์ และปราโมทย์ ศิริโรจน์ (2537) "ผลการวิจัยการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร" *บทความเสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สาขาสัตว์ ครั้งที่ 32* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมชัย จันทร์สว่าง ปิยะ เปียะฟูโต๊ะ และอรทัย ไตรวุฒานนท์ (2538) "ผลของจุลินทรีย์ EM ต่อลักษณะการเจริญเติบโต การให้ไข่และลักษณะของของเสียในการเลี้ยงนกกระทาญี่ปุ่น" *เกษตรคิวเซ* 3(12) : 21-28

สมศักดิ์ นุกูลอุดมพาณิชย์ และคณะ (2543) "การบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) : กรณีศึกษาบ่อพักน้ำเสียโรงพยาบาลคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย" *วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม* 4, 3 (เมษายน - มิถุนายน) : 3-13

สมศักดิ์ วังใน และภาวนา ลิกขนานนท์ (2538) "รายงานการวิจัยเรื่อง การใช้ EM เป็นปุ๋ย" ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม หน้า 83 – 85 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) "การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้*จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)" วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สาทร สิริวงศ์ และขวัญชัย สมบัติศิริ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของ EM ในการป้องกันกำจัดแมลงศัตรูผักคะน้า” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 57 – 60 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สารสิน อยุยานนท์ และคณะ (2538) *รายงานการวิจัยเรื่องประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย : กรณีศึกษา ณ ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น* ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อม เขต 6 กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

สาวิตรี ลิ่มทอง พัชรี ฐิตะสัจจา และพูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาเชื้อยีสต์ใน EM” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 40 เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุวิชาน มนแพวงศานนท์ (2545) *วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS for Windows.* กรุงเทพมหานคร ซีเอ็ดยูเคชั่น

เสนีย์ กาญจนวงศ์ (2543) *วิศวกรรมน้ำเสีย* เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำนักบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2546) *คู่มือการพิมพ์วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธราช ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2546* นนทบุรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อรุบล โชติพงศ์ (2537) “ บทบาทของแบคทีเรียในด้านสิ่งแวดล้อม ” *จุลสารสภาวะแวดล้อม* 13(4) : 28 – 35 นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อรุณวรรณ หวังกอบเกียรติ อำพิน กันธิยะ และอมรา จันทนโอ (2538) “รายงานการวิจัยเรื่องผลของ EM ต่อการยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์” ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของ การใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม* หน้า 170 – 174

เย็นใจ วสุวัต (ผู้รวบรวม) กรุงเทพมหานคร อักษรสยามการพิมพ์ อ้างถึงใน นวรัตน์ ใจศิล (2539) “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชนด้วยการใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM)” วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น

American Public Health Association (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20th Edition Washington, D.C.

Arthur, R.M. (1982). *New Concepts and Practices in Activated Sludge Process Control* Ann Arbur Science.

Gray, N. F. (1989). *Biology of Waste Water Treatment* New York : Oxford University.

Higa. T. and Wididana. G. N. (1989). “The Concept and Theories of Effective Microorganisms.” In Parr. J. F.,Hornick, S.B. and Whitman, C. E. eds. *Proceedings of the First International Conference onKyusei Nature Farming.* Khon Kaen University : Sekai Kyusei Kyo Thai Kyokai, Thailand. : 118 – 124.

Higa, T.; Parr, J. (1994). *Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment.* International Nature Farming Research Center Atami, Japan.

Junkins, R.,Deeny, K.,Eckhoff,T.(1993). *The Activated Sludge Process : Fundamentals of Operation.* Ann Arbur Science.

Kitazato Environmental Science Center. (1994). *What is EM? & Case Study.*

Srituma, Songsak. (1995). *Application of EM and Environmental Health Activities for Treatment of Pig Farm Waste in Chachoen Sao Province.* Department of Health. Ministry of Public Health.

USEPA. (1978). *Operational Control Procedures for the Activated Sludge Process. Part I-Observation. Part II-Control Test.*, PB-286800.

Wididana, G. N. (1990) “Inducing disease suppressive soil through effective microorganisms (EM).” Master of Philosphy Thesis, Department of Agriculture, University of the Ryukyus. Okiawa, Japan.

Wididana, G.N. and Higa, T. (1997). “Model of Integrated Farming System with Effective Microorganisms (EM) Technology in Bali Island.” In *Presented at 5th International Kyusei Nature Farming Conference*. October 22 – 26, 1997. Bangkok, Thailand.

Wididana, G.N. and Higa, T. (1999). “Integrated Recycle System of Organic Urban Waste with EM Technology.” In *Presented at 6th International Kyusei Nature Farming Conference.* October 28 – 31, 1999. Pretoria, South Africa.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก- 1 : ผลการทดลองแยกตามการทดลอง : การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

การทดลองที่	สัปดาห์ที่	Influent				Effluent			
		pH	BOD	SS	G&O	pH	BOD	SS	G&O
1	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.2	1,460	63	9.86
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	2,165	246	122.77
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,200	280	3.17
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,620	388	57.84
2	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,480	70	17.29
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	1,805	529	169.33
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.6	2,910	238	6.45
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,830	320	10.73
3	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,336	120	11.96
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	2,075	293	131.18
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.7	2,915	184	1.02
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,790	299	9.56
4	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,370	128	12.8
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	1,975	677	180.79
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,665	241	4.25
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	7.9	2,000	312	13.85

ตารางที่ ก – 2 ผลการทดลองเฉลี่ย 1-4 สัปดาห์และประสิทธิภาพการบำบัด : การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

การทดลองที่	สัปดาห์ที่	Influent				Effluent			
		pH	BOD	SS	G&O	pH	BOD	SS	G&O
1	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.2	1,460	63	9.86
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	2,165	246	122.77
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,200	280	3.17
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,620	388	57.84
ค่าเฉลี่ย 4 สัปดาห์		**6.15**	**7,605**	**9,431.75**	**183.25**	**7.6**	**2,111.25**	**244.25**	**48.41**
					Inf – Eff1	**-**	**5,493.75**	**9,187.5**	**134.84**
				ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)		**-**	**72.24**	**97.41**	**73.68**
2	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,480	70	17.29
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	1,805	529	169.33
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.6	2,910	238	6.45
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,830	320	10.73
ค่าเฉลี่ย 4 สัปดาห์		**6.15**	**7,605**	**9,431.75**	**183.25**	**7.6**	**2,006.25**	**289.25**	**50.95**
					Inf – Eff1	**-**	**5,598.75**	**9,142.5**	**132.3**
				ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)		**-**	**73.62**	**96.93**	**72.2**

ตารางที่ ก – 2(ต่อ) ผลการทดลองเฉลี่ย 1-4 สัปดาห์และประสิทธิภาพการบำบัด : การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

การทดลองที่	สัปดาห์ที่	Influent				Effluent			
		pH	BOD	SS	G&O	pH	BOD	SS	G&O
3	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,336	120	11.96
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	2,075	293	131.18
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.7	2,915	184	1.02
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,790	299	9.56
ค่าเฉลี่ย 4 สัปดาห์		**6.15**	**7,605**	**9,431.75**	**183.25**	**7.6**	**2,029**	**224**	**38.43**
					Inf – Eff1	**-**	**5,576**	**9,207.75**	**144.82**
					ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	**-**	**73.32**	**97.63**	**79.03**
4	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,370	128	12.8
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	1,975	677	180.79
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,665	241	4.25
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	7.9	2,000	312	13.85
ค่าเฉลี่ย 4 สัปดาห์		**6.15**	**7,605**	**9,431.75**	**183.25**	**7.6**	**2,252.5**	**339.5**	**52.9**
					Inf – Eff1	**-**	**5,352.5**	**9,092.25**	**130.35**
					ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	**-**	**70.38**	**96.40**	**71.13**

ตารางที่ ก – 3 ผลการทดลองแยกรายสัปดาห์ : การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

สัปดาห์ที่	การทดลองที่	Influent				Effluent				ผลต่าง / ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)							
		pH	BOD	SS	G&O	pH	BOD	SS	G&O	pH	ร้อยละ	BOD	ร้อยละ	SS	ร้อยละ	G&O	ร้อยละ
1	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.2	1,460	63	9.86	1.1	-	2,300	61.2	1,613	96.2	9.94	50.2
	2	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,480	70	17.29	1.2	-	2,280	60.64	1,606	95.82	2.51	12.68
	3	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,336	120	11.96	1.2	-	2,424	64.47	1,556	92.84	7.84	39.6
	4	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,370	128	12.8	1.2	-	2,390	63.6	1,548	92.36	7	35.4
2	1	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	2,165	246	122.77	1.4	-	11,335	83.96	16,952	98.57	177.11	59.06
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	1,805	529	169.33	1.3	-	11,695	86.63	16,669	96.92	130.55	43.53
	3	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	2,075	293	131.18	1.3	-	11,425	84.63	16,905	98.3	168.7	56.3
	4	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	1,975	677	180.79	1.4	-	11,525	85.4	16,521	96.06	119.09	39.71
3	1	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,200	280	3.17	1.4	-	1,500	31.91	5,212	94.90	303.19	98.97
	2	6.1	4,700	5,492	306.36	7.6	2,910	238	6.45	1.5	-	1,790	38.1	5,254	95.67	299.91	97.89
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.7	2,915	184	1.02	1.6	-	1,785	37.98	5,308	96.65	305.04	99.67
	4	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,665	241	4.25	1.4	-	1,035	22.02	5,251	95.61	302.11	98.61
4	1	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,620	388	57.84	1.8	-	6,848	80.85	12,973	97.1	49.11	45.92
	2	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,830	320	10.73	1.8	-	6,630	78.37	13,041	97.60	96.22	89.97
	3	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,790	299	9.56	1.8	-	6,670	78.84	13,062	97.76	97.39	91.06
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	7.9	2,000	312	13.85	1.7	-	6,460	76.36	13,049	97.66	93.1	87.05

ตารางที่ ก- 1 : ผลการทดลองแยกตามการทดลอง : การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

การทดลองที่	สัปดาห์ที่	Influent				Effluent			
		pH	BOD	SS	G&O	pH	BOD	SS	G&O
1	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.2	1,460	63	9.86
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	2,165	246	122.77
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,200	280	3.17
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,620	388	57.84
2	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,480	70	17.29
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	1,805	529	169.33
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.6	2,910	238	6.45
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,830	320	10.73
3	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,336	120	11.96
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.5	2,075	293	131.18
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.7	2,915	184	1.02
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	8.0	1,790	299	9.56
4	1	6.1	3,760	1,676	19.8	7.3	1,370	128	12.8
	2	6.2	13,500	17,198	299.88	7.6	1,975	677	180.79
	3	6.1	4,700	5,492	306.36	7.5	3,665	241	4.25
	4	6.2	8,460	13,361	106.95	7.9	2,000	312	13.85

ภาคผนวก ข

One – Way ANOVA

Print Out 1

ตารางที่ ข – 1 : Descriptives (pH)

	การทดลอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
pH หลังการบำบัด	การทดลองที่ 1	4	7.575	.3304	.1652	7.049	8.101	7.2	8.0
	การทดลองที่ 2	4	7.600	.2944	.1472	7.132	8.068	7.3	8.0
	การทดลองที่ 3	4	7.625	.2986	.1493	7.150	8.100	7.3	8.0
	การทดลองที่ 4	4	7.575	.2500	.1250	7.177	7.973	7.3	7.9
	Total	16	7.594	.2645	.0661	7.453	7.735	7.2	8.0

ตารางที่ ข – 2 : Test of Homogeneity of Variances (pH)

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
pH หลังการบำบัด	.077	3	12	.971

ตารางที่ ข – 3 : ANOVA (pH)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH หลังการบำบัด	Between Groups	.007	3	.002	.026	.994
	Within Groups	1.043	12	.087		
	Total	1.049	15			

ตารางที่ ข – 4 : Post Hoc Tests : Multiple Comparisons (pH)

Scheffe

Dependent Variable	(I) การทดลองที่	(J) การทดลองที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
pH หลังการบำบัด	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	-.025	.2084	1.000	-.699	.649
		การทดลองที่ 3	-.050	.2084	.996	-.724	.624
		การทดลองที่ 4	.000	.2084	1.000	-.674	.674
	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 1	.025	.2084	1.000	-.649	.699
		การทดลองที่ 3	-.025	.2084	1.000	-.699	.649
		การทดลองที่ 4	.025	.2084	1.000	-.649	.699
	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	.050	.2084	.996	-.624	.724
		การทดลองที่ 2	.025	.2084	1.000	-.649	.699
		การทดลองที่ 4	.050	.2084	.996	-.624	.724
	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 1	.000	.2084	1.000	-.674	.674
		การทดลองที่ 2	-.025	.2084	1.000	-.699	.649
		การทดลองที่ 3	-.050	.2084	.996	-.724	.624

ตารางที่ ข – 5 : Homogeneous Subsets (pH หลังการบำบัด)

Scheffe

การทดลองที่	N	Subset for alpha = .05
		1
การทดลองที่ 4	4	7.575
การทดลองที่ 1	4	7.575
การทดลองที่ 2	4	7.600
การทดลองที่ 3	4	7.625
Sig.		.996

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ ข – 6 : Descriptives (BOD)

	การทดลอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	4	64.4800	23.93749	11.96875	26.3901	102.5699	31.91	83.96
	การทดลองที่ 2	4	65.9350	21.49214	10.74607	31.7362	100.1338	38.10	86.63
	การทดลองที่ 3	4	66.4800	20.80450	10.40225	33.3754	99.5846	37.98	84.63
	การทดลองที่ 4	4	61.8450	28.01567	14.00784	17.2658	106.4242	22.02	85.40
	Total	16	64.6850	21.30639	5.32660	53.3316	76.0384	22.02	86.63

ตารางที่ ข – 7 : Test of Homogeneity of Variances (BOD)

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	.102	3	12	.957

ตารางที่ ข – 8 : ANOVA (BOD)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	Between Groups	51.569	3	17.190	.031	.992
	Within Groups	6757.863	12	563.155		
	Total	6809.432	15			

ตารางที่ ข – 9 : Post Hoc Tests : Multiple Comparisons (BOD)

Scheffe

Dependent Variable	(I) การทดลองที่	(J) การทดลองที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	-1.4550	16.78028	1.000	-55.7539	52.8439
		การทดลองที่ 3	-2.0000	16.78028	1.000	-56.2989	52.2989
		การทดลองที่ 4	2.6350	16.78028	.999	-51.6639	56.9339
	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 1	1.4550	16.78028	1.000	-52.8439	55.7539
		การทดลองที่ 3	-.5450	16.78028	1.000	-54.8439	53.7539
		การทดลองที่ 4	4.0900	16.78028	.996	-50.2089	58.3889
	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	2.0000	16.78028	1.000	-52.2989	56.2989
		การทดลองที่ 2	.5450	16.78028	1.000	-53.7539	54.8439
		การทดลองที่ 4	4.6350	16.78028	.994	-49.6639	58.9339
	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 1	-2.6350	16.78028	.999	-56.9339	51.6639
		การทดลองที่ 2	-4.0900	16.78028	.996	-58.3889	50.2089
		การทดลองที่ 3	-4.6350	16.78028	.994	-58.9339	49.6639

ตารางที่ ข – 10 : Homogeneous Subsets (ประสิทธิภาพการบำบัด BOD)

Scheffe

การทดลองที่	N	Subset for alpha = .05
		1
การทดลองที่ 4	4	61.8450
การทดลองที่ 1	4	64.4800
การทดลองที่ 2	4	65.9350
การทดลองที่ 3	4	66.4800
Sig.		.994

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ ข – 11 : Descriptives (Suspended Solids :SS)

	การทดลอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	4	96.6925	1.54345	.77172	94.2365	99.1485	94.90	98.57
	การทดลองที่ 2	4	96.5025	.91972	.45986	95.0390	97.9660	95.67	97.60
	การทดลองที่ 3	4	96.3875	2.46273	1.23136	92.4688	100.3062	92.84	98.30
	การทดลองที่ 4	4	95.4225	2.22313	1.11156	91.8850	98.9600	92.36	97.66
	Total	16	96.2513	1.76180	.44045	95.3125	97.1900	92.36	98.57

ตารางที่ ข – 12 : Test of Homogeneity of Variances (Suspended Solids :SS)

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	.722	3	12	.558

ตารางที่ ข – 13 : ANOVA (Suspended Solids :SS)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	Between Groups	3.853	3	1.284	.361	.782
	Within Groups	42.706	12	3.559		
	Total	46.559	15			

ตารางที่ ข – 14 : Post Hoc Tests : Multiple Comparisons (Suspended Solids :SS)

Scheffe

Dependent Variable	(I) การทดลองที่	(J) การทดลองที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	.1900	1.33395	.999	-4.1265	4.5065
		การทดลองที่ 3	.3050	1.33395	.997	-4.0115	4.6215
		การทดลองที่ 4	1.2700	1.33395	.823	-3.0465	5.5865
	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 1	-.1900	1.33395	.999	-4.5065	4.1265
		การทดลองที่ 3	.1150	1.33395	1.000	-4.2015	4.4315
		การทดลองที่ 4	1.0800	1.33395	.882	-3.2365	5.3965
	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	-.3050	1.33395	.997	-4.6215	4.0115
		การทดลองที่ 2	-.1150	1.33395	1.000	-4.4315	4.2015
		การทดลองที่ 4	.9650	1.33395	.912	-3.3515	5.2815
	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 1	-1.2700	1.33395	.823	-5.5865	3.0465
		การทดลองที่ 2	-1.0800	1.33395	.882	-5.3965	3.2365
		การทดลองที่ 3	-.9650	1.33395	.912	-5.2815	3.3515

ตารางที่ ข – 15 : Homogeneous Subsets (ประสิทธิภาพการบำบัด Suspended Solids :SS)

Scheffe

การทดลองที่	N	Subset for alpha = .05
		1
การทดลองที่ 2	4	61.0175
การทดลองที่ 1	4	63.5375
การทดลองที่ 4	4	65.1925
การทดลองที่ 3	4	71.6575
Sig.		.973

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ ข – 16 : Descriptives (Grease&Oil)

	การทดลอง	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	4	63.5375	24.24717	12.12358	24.9548	102.1202	45.92	98.97
	การทดลองที่ 2	4	61.0175	40.16696	20.08348	-2.8971	124.9321	12.68	97.89
	การทดลองที่ 3	4	71.6575	28.42941	14.21470	26.4200	116.8950	39.60	99.67
	การทดลองที่ 4	4	65.1925	32.30805	16.15403	13.7832	116.6018	35.40	98.61
	Total	16	65.3512	28.76052	7.19013	50.0258	80.6767	12.68	99.67

ตารางที่ ข – 17 : Test of Homogeneity of Variances (Grease&Oil)

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	1.556	3	12	.251

ตารางที่ ข – 18 : ANOVA (Grease&Oil)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ประสิทธิภาพการบำบัด	Between Groups	247.460	3	82.487	.081	.969
	Within Groups	12160.054	12	1013.338		
	Total	12407.514	15			

ตารางที่ ข – 19 : Post Hoc Tests : Multiple Comparisons (Grease&Oil)

Scheffe

Dependent Variable	(I) การทดลองที่	(J) การทดลองที่	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ประสิทธิภาพการบำบัด	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	2.5400	89.65271	1.000	-287.5649	292.6449
		การทดลองที่ 3	2.5200	22.50931	1.000	-70.3173	75.3573
		การทดลองที่ 4	-8.1200	22.50931	.987	-80.9573	64.7173
	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 1	-1.6550	22.50931	1.000	-74.4923	71.1823
		การทดลองที่ 3	-2.5200	22.50931	1.000	-75.3573	70.3173
		การทดลองที่ 4	-10.6400	22.50931	.973	-83.4773	62.1973
	การทดลองที่ 3	การทดลองที่ 1	-4.1750	22.50931	.998	-77.0123	68.6623
		การทดลองที่ 2	8.1200	22.50931	.987	-64.7173	80.9573
		การทดลองที่ 4	10.6400	22.50931	.973	-62.1973	83.4773
	การทดลองที่ 4	การทดลองที่ 1	6.4650	22.50931	.994	-66.3723	79.3023
		การทดลองที่ 2	1.6550	22.50931	1.000	-71.1823	74.4923
		การทดลองที่ 3	4.1750	22.50931	.998	-68.6623	77.0123
			-6.4650	22.50931	.994	-79.3023	66.3723

ตารางที่ ข – 20 : Homogeneous Subsets (ประสิทธิภาพการบำบัด Grease&Oil)

Scheffe

การทดลองที่	N	Subset for alpha = .05
		1
การทดลองที่ 2	4	61.0175
การทดลองที่ 1	4	63.5375
การทดลองที่ 4	4	65.1925
การทดลองที่ 3	4	71.6575
Sig.		.973

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ภาคผนวก ค

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

- ความเป็นกรด – ด่าง (pH) 5.5 – 9.0
- สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน 50 มก./ล.
- บีโอดี (BOD 5 days , at 20 ^{0}C) ไม่เกิน 60 มก./ล.
- น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่เกิน 5.0 มก./ล.

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ดังนี้

- ความเป็นกรด – ด่าง (pH) 5.5 – 9.0
- สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน 50 มก./ล.
- บีโอดี (BOD 5 days , at 20 ^{0}C) ไม่เกิน 20 มก./ล.
- น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่เกิน 5.0 มก./ล.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพงศ์พิษณุ บุญดา
วัน เดือน ปีเกิด	8 ธันวาคม 2514
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
ประวัติการศึกษา	สาธารณสุขศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช พ.ศ 2540
สถานที่ทำงาน	โรงพยาบาลชาติตระการ อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก
ตำแหน่ง	นักวิชาการสาธารณสุข