โครงการประกวดแข่งขันนวัตกรรม 3R
การประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์เป็นสวนน้ำในบ้านพักอาศัย

รายงานฉบับสมบูรณ์

โดย

ทีมกุ้งแห้ง

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สิงหาคม พ.ศ.2553

628.194
อวง

โครงการประกวดแข่งขันนวัตกรรม 3R
การประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์เป็นสวนน้ำในบ้านพักอาศัย

รายงานฉบับสมบูรณ์

โดย

ทีมกุ้งแห้ง

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สิงหาคม พ.ศ.2553

FILIPINAS (KLC)
KNOWLEDGE CENTRE (KLC)

018768
628.194
อาง

5 มี.ค. 2554

บทคัดย่อ

การศึกษาการประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์เป็นสวนน้ำในบ้านพักอาศัยได้ทำการศึกษาองค์ประกอบและความสามารถของบึงประดิษฐ์ที่ได้ทำการก่อสร้างไว้แล้ว ณ บ้านพักอาศัยแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น เพื่อสร้างเกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยโดยได้ทำการศึกษาระหว่างเดือนเมษายน-กรกฎาคม พ.ศ.2553

ผลการศึกษาพบว่าบึงประดิษฐ์มีความสามารถในการบำบัด BOD, TSS, TC, FC, TKN, TP ได้ร้อยละ77.06, 65.08, 99.98, 90.46 และ 87.13 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ผลคุณภาพน้ำเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบพบว่าการบำบัด BOD, TSS, TC, FC, NH_3-N, NO_3^-, TKN และ TP มีลำดับการเกิดปฏิกิริยาเป็น 1, 2, 1, 1, 2, 2, 2, 2 และ 2 ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่ามีค่าคงที่ในการบำบัดแต่ละพารามิเตอร์ข้างต้นสำหรับบ่อตื้นเท่ากับ 0.486, 0.043, 0.629, 0.523, 0.002, 0.001, 0.223 และ 0.022 ต่อวัน ตามลำดับ และสำหรับบ่อลึกเท่ากับ 0.561, 0.006, 0.756, 0.839, 0.026, 0.059, 0.410 และ 0.133 ต่อวัน ตามลำดับ จากค่าลำดับของการเกิดปฏิกิริยาสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้และใช้แบบจำลองนี้กำหนดเกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยได้คือพื้นที่ที่ต้องการสำหรับบ่อน้ำตื้นเท่ากับ 3 ตร.ม./คน บ่อน้ำลึกเท่ากับ 6 ตร.ม./คน และ พื้นที่รวมของระบบ เท่ากับ 9 ตร.ม./คน

สารบัญ

บทที่ 1บทนำ **1**
1. หลักการและเหตุผล 1
2. วัตถุประสงค์ 1
3. ขอบเขตของการศึกษา 1
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการ **2**
1. ศึกษาสภาพทางกายภาพของระบบ 2
2.การหาประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ 4
3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเกณฑ์การออกแบบ 6
บทที่ 3 ผลการศึกษา **7**
1. องค์ประกอบของสวนน้ำ 7
2. ระบบการไหลของน้ำในระบบ 7
3. การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ 7
4. พื้นที่บำบัดน้ำของสวนน้ำ 7
5. การหาความลึกของสวนน้ำ 11
6. ปริมาตรบ่อ 11
7. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 11
8. การหาลำดับการเกิดปฏิกิริยา 16
9. การหาค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยา 17
10. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 17
11. การสร้างเกณฑ์การออกแบบ 20
บทที่ 4 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา **22**
1. อภิปรายผล 22
2. สรุปผลการศึกษา 22
เอกสารอ้างอิง **25**
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ **ผ-1**
ภาคผนวก ข การเลือกลำดับปฏิกิริยา **ผ-11**
ภาคผนวก ค แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ **ผ-20**
ภาคผนวก ง การหาพื้นที่บ่อด้วยโปรแกรม Auto CAD **ผ-32**
ภาคผนวก จ ผลการวัดความลึกบ่อด้วยไม้วัด **ผ-35**
ภาคผนวก ฉ มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน **ผ-40**

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาของโครงการ 2
ภาพที่ 2 บึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น 2
ภาพที่ 3 การตรึงเส้นอ้างอิงเพื่อใช้วัดพื้นที่ 3
ภาพที่ 4 การคำนวณปริมาตรบ่อต่างๆ 4
ภาพที่ 5 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง 5
ภาพที่ 6 องค์ประกอบของสวนน้ำบ่อต่างๆ 9
ภาพที่ 7 การวางแนวท่อ 10
ภาพที่ 8 อุปกรณ์เครื่องนับรอบการสูบน้ำแบบอัตโนมัติ 10
ภาพที่ 9 การวัดพื้นที่บ่อต่างๆ 11
ภาพที่ 10 การวัดความลึกของบ่อด้วยไม้วัด 11
ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยของพีเอช ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 13
ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 13
ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยของบีโอดี ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 13
ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 14
ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 14
ภาพที่ 16 ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 14
ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 15
ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยของไนเตรต ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 15
ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 15
ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ 15
ภาพที่ 21 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดบีโอดี 18
ภาพที่ 22 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดสารแขวนลอย 19
ภาพที่ 23 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด 19
ภาพที่ 24 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม 19
ภาพที่ 25 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน 20
ภาพที่ 26 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 20

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 วิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ 5
ตารางที่ 2 จำนวนรอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสีย 8
ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ จุดต่างๆ ของระบบ 12
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อต่างๆ 12
ตารางที่ 5 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาในการบำบัดสิ่งสกปรกต่างๆ 16
ตารางที่ 6 ค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยา 17
ตารางที่ 7 ค่าต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 18
ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ต่างๆ จากตรวจวัดจริง 23
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ ลำดับการเกิดปฏิกิริยา ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา และประสิทธิภาพการบำบัด 24

บทที่ 1
บทนำ

1. หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันสภาวะการใช้ทรัพยากรธรรมชาติของมนุษย์มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีการใช้อย่างฟุ่มเฟือย ทำให้เกิดน้ำเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก และนอกจากนี้การขาดแคลนน้ำส่งผลกระทบไปทั่วโลก ทำให้ประชากรประสบปัญหาความเดือดร้อน มีน้ำใช้ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภค

การใช้น้ำในชีวิตประจำวันภายในบ้านพักอาศัยก่อให้เกิดน้ำเสียเช่นเดียวกัน แม้มีปริมาณน้อยและมีความเข้มข้นของภาระสารอินทรีย์ไม่สูงมาก แต่ถ้าหากมีน้ำเสียจากที่พักอาศัยหลายๆ แห่งมารวมกันอยู่ในท่อรวบรวมน้ำเสียและส่งต่อไปยังโรงบำบัดน้ำเสียรวม จะทำให้มีปริมาณน้ำเสียมาก และระบบบำบัดน้ำเสียรวมจะต้องรับภาระในการบำบัดน้ำสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องเสียทั้งเงินและเวลาในบำบัดน้ำเสียให้น้ำมีคุณภาพให้ดีพอที่จะปล่อยคืนสู่ธรรมชาติ แต่ถ้าหากเรานำหลักการการจัดการทรัพยากรน้ำด้วยรูปแบบ 3R (Reduce Reuse Recycle) มาใช้ จะสามารถลดทั้งการใช้น้ำ ลดปริมาณน้ำเสีย ลดทั้งเงินและทรัพยากรที่ต้องเสียไปกลับการบำบัดน้ำ ซึ่งจะทำให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเรานำบึงประดิษฐ์ซึ่งเป็นระบบน้ำเสียที่ประหยัด ใช้พลังงานน้อย สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้รดน้ำต้นไม้แทนน้ำประปาซึ่งเป็นกิจกรรมที่ใช้น้ำในปริมาณมากเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่นในบ้าน มาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแล้วก็จะสามารถส่งเสริมให้เป็นการจัดการทรัพยากรน้ำรูปแบบ 3R มากยิ่งขึ้น และนอกจากสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว บึงประดิษฐ์ยังสามารถตกแต่งให้เป็นสวนน้ำ สำหรับเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจหรือตกแต่งภูมิทัศน์ในที่พักอาศัยให้มีความสวยงาม และยังเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์น้ำได้อีกประการหนึ่ง

โครงการนี้ได้เห็นความสำคัญของการใช้ทรัพยากรน้ำ และการขาดแคลนทรัพยากรน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำเนินชีวิต และจากประโยชน์ของบึงประดิษฐ์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โครงการนี้จึงได้นำประโยชน์และข้อดีของบึงประดิษฐ์ ซึ่งได้ทำการศึกษาระบบบึงประดิษฐ์ที่บำบัดน้ำเสียในที่พักอาศัยที่มีการก่อสร้างไว้แล้ว โดยทำการศึกษาเพิ่มเติมในด้านประสิทธิภาพการบำบัด และจากนั้นจึงสร้างเป็นกระบวนการต้นแบบ ศึกษาความเหมาะสมของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ตลอดจนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการออกแบบบึงประดิษฐ์สำหรับบำบัดน้ำเสียในที่พักอาศัยตามหลักการ 3R อย่างมีประสิทธิผล

2. วัตถุประสงค์

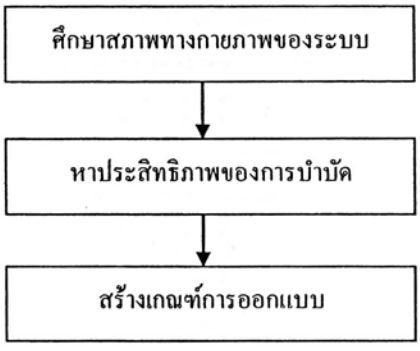
1. เพื่อศึกษาความสามารถในการบำบัดความโสโครกของบึงประดิษฐ์ที่สร้างเป็นสวนน้ำในที่พักอาศัย
2. เพื่อสร้างเกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัย
3. เพื่อหาวิธีการจัดการน้ำให้เป็นประโยชน์ต่อชุมชนตามหลักการ 3R

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. โครงการนี้ได้ทำการศึกษาบึงประดิษฐ์ที่มีการก่อสร้างไว้แล้ว ณ บ้านพักอาศัยแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น
2. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าคงที่ได้ใช้สมการสำหรับถังปฏิกิริยาแบบไหลระนาบเดียว(อุดมคติ)

บทที่ 2
วิธีการดำเนินการ

การศึกษานี้มีวิธีการดำเนินการโดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1.ศึกษาสภาพทางกายภาพของระบบ 2.การหาประสิทธิภาพของการบำบัด และ 3.สร้างเกณฑ์การออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาของโครงการ

1. ศึกษาสภาพทางกายภาพของระบบ

การศึกษาในขั้นนี้ได้ทำการศึกษา ณ สถานที่จริง คือบ้านพักอาศัยแห่งหนึ่งในขอนแก่นที่ได้ทดลองประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์เป็นสวนน้ำแล้ว ดังภาพที่ 2 โดยทำการศึกษา องค์ประกอบของสวนน้ำ ระบบการไหลของน้ำในระบบ การวัดความลึกของสวนน้ำในบ่อต่างๆ และวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 2 บึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น

1.1 การศึกษาองค์ประกอบของสวนน้ำ

การศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ของสวนน้ำได้ทำการศึกษาโดยวิธีการเดินสำรวจและบันทึกภาพถ่ายเพื่อนำข้อมูลต่างๆมาประกอบในการวิเคราะห์หาเกณฑ์การออกแบบต่อไป

1.2 การศึกษาระบบการไหลของน้ำในระบบ

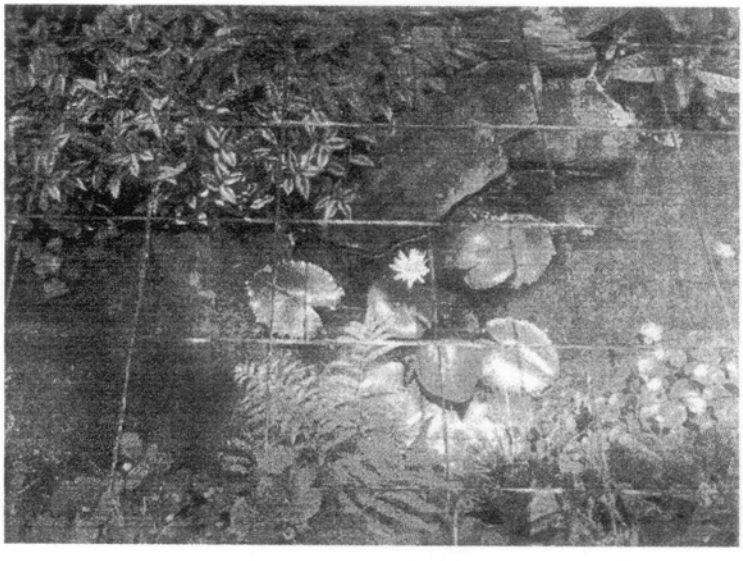
คณะผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาระบบการไหลของน้ำในระบบ โดยสำรวจแนวท่อน้ำต่างๆ ที่ต่อเชื่อมกับสวนน้ำ รวมทั้งเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้ง ณ สถานที่จริง

1.3 การหาพื้นที่บ่อ

เนื่องจากสวนน้ำที่สร้างขึ้นมีลักษณะของบ่อเป็นรูปร่างอิสระ จึงไม่สามารถคำนวณพื้นที่จากสูตรการหาพื้นที่รูปทรงเรขาคณิตทั่วไปได้ ดังนั้นจึงต้องหาพื้นที่สวนน้ำด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่สวนน้ำบ่อต่างๆ โดยใช้เชือกตรึงเป็นเส้นอ้างอิงดังแสดงในภาพที่ 3 และใช้ไม้วัดวัดระยะจากเส้นเชือกอ้างอิงต่างๆ ไปยังขอบบ่อ จากนั้นจึงนำข้อมูลระยะที่ได้ป้อนลงโปรแกรม AutoCad เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ และนำพื้นที่บ่อที่ได้มาเป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาตรบ่อต่อไป

1.4 การวัดความลึก

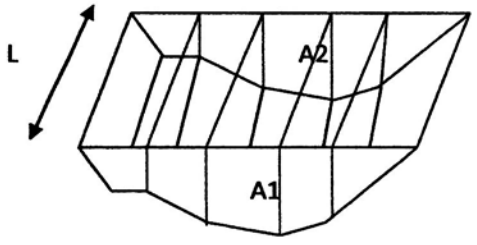
ความลึกของบ่อในสวนน้ำที่ทำการศึกษาได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้แลดูเป็นธรรมชาติ จึงทำให้ความลึกของบ่อไม่เท่ากันตลอดหน้าตัด ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดความลึกของบ่อต่างๆ โดยใช้ไม้วัดวัดความลึกจากผิวน้ำไปยังก้นบ่อ ณ ตำแหน่งอ้างอิงต่างๆที่สร้างไว้ในขั้นตอนที่ 1.3 และนำความลึกที่ได้มาเป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาตรบ่อต่อไป



ภาพที่ 3 การตรึงเส้นอ้างอิงเพื่อใช้วัดพื้นที่

1.5 การคำนวณปริมาตรบ่อ

เนื่องจากบ่อมีรูปทรงอิสระจึงใช้วิธีการแบ่งบ่อออกเป็นส่วนเล็กๆ ตามพื้นที่หน้าตัดของบ่อด้วยความกว้างของเส้นตรึงอ้างอิงในขั้นตอนที่ 1.3 แล้วหาปริมาตรของแต่ละส่วนนี้ จากนั้นจึงนำมารวมกันเป็นค่าปริมาตรของแต่ละบ่อ ดังแสดงในภาพที่ 4 ปริมาตรบ่อที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป



ภาพที่ 4 การคำนวณปริมาตรบ่อต่างๆ

1.6 การวัดอัตราการไหลของน้ำทิ้งที่เข้าระบบ

น้ำเสียจากกิจกรรมการใช้น้ำในบ้านที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปแล้วจะไหลไปรวมกันในบ่อพักน้ำ จากนั้นน้ำทิ้งนี้จะถูกสูบเข้าสู่ระบบโดยเครื่องสูบน้ำซึ่งจะสูบน้ำจากบ่อพักน้ำเป็นรอบๆ ในปริมาตรที่เท่าๆกันตามระดับที่ตั้งไว้ภายในบ่อ ดังนั้นการวัดอัตราการไหลจึงสามารถวัดได้จากการนับจำนวนรอบการสูบน้ำเสียที่เครื่องสูบน้ำทำงานในแต่ละวัน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องนับอัตโนมัติในตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำเพื่อทำการนับรอบการสูบ โดยทำการบันทึกผลในเวลาประมาณ 10.00 น. ของทุกวัน และนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นอัตราการไหลของน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่ระบบต่อไป

2.การหาประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ

2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

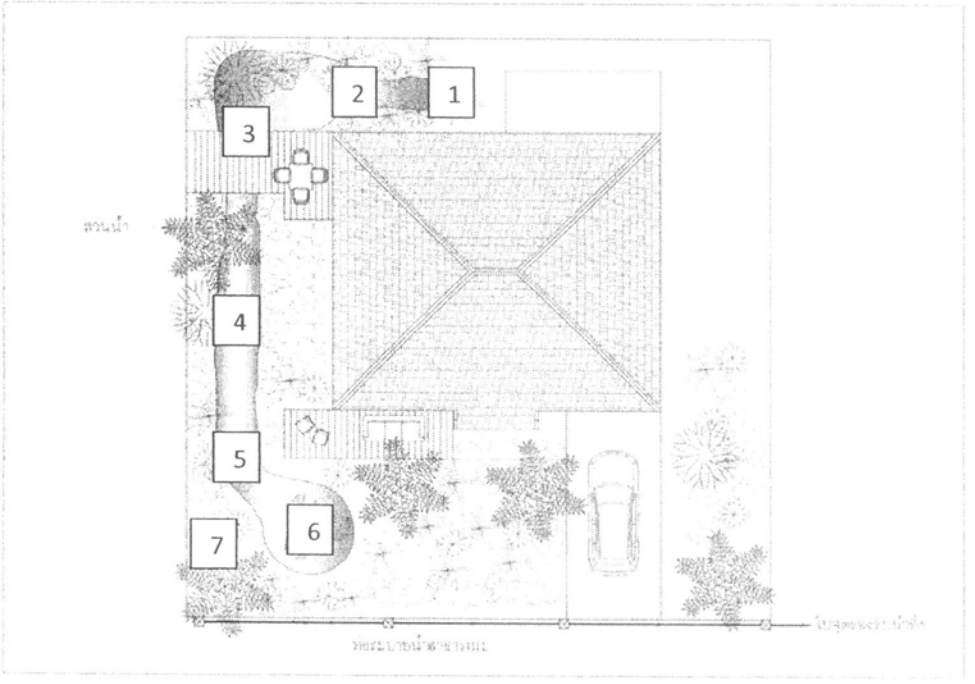
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในระบบ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในแต่ละจุด สำหรับการประเมินความสามารถในการบำบัดของแต่ละบ่อ ได้แก่ น้ำในบ่อพักน้ำเสียซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของระบบ บริเวณทางออกของทุกบ่อซึ่งมีด้วยกัน 5 บ่อ และในบ่อกักน้ำที่ผ่านระบบแล้วซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของระบบ รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 จุด ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยได้ทำการเก็บด้วยวิธีการจ้วงและทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 9 ครั้งในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ. 2553

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในตรวจวัดคุณภาพน้ำในการศึกษานี้ประกอบด้วย ค่าพีเอช (pH) บีโอดี (BOD) ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย(FC) ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TC) ทีเคเอ็น (TKN) ไนเตรต (NO_3^-) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และแอมโมเนียไนโตเจน (NH3-N) โดยได้ทำการตรวจวัดตามวิธีการมาตรฐาน(Standard Methods) ดังแสดงในตารางที่ 1

2.3 ความสามารถในการบำบัด

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการบำบัดของบึงประดิษฐ์โดยการนำผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆในข้อที่ 2.1 มาเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำ ณ จุดเข้าระบบ ซึ่งสามารถสรุปออกมาเป็นร้อยละของความสามารถในการบำบัดของบึงประดิษฐ์แต่ละบ่อได้



ภาพที่ 5 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

ตารางที่ 1 วิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	วิธีการ
pH	pH meter
DO	Azide Modification
BOD	5 day 20 °C Azide Modification
TSS	Dried
TC	Multiple Tube Fermentation Technique
FC	Multiple Tube Fermentation Technique
NH3-N	Distillation titration
NO3-	Brucine method
TKN	Kjeldahl method
TP	Stannous Chloride method

3. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเกณฑ์การออกแบบ

3.1 การหาลำดับการเกิดปฏิกิริยาและค่าคงที่ในการทำลายสิ่งสกปรก

การหาลำดับการเกิดปฏิกิริยาและค่าคงที่ในการทำลายสิ่งสกปรก (k) สามารถหาได้โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของความสกปรกต่างๆ กับเวลาที่น้ำอยู่ในระบบซึ่งต้องอาศัยข้อมูลพื้นที่ความลึกและอัตราการไหลที่หาได้จากหัวข้อ 1.3-1.5 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์แผนภูมิของความสัมพันธ์ที่ได้ เพื่อหาลำดับการเกิดปฏิกิริยาและค่าคงที่ในการทำลายสิ่งสกปรกต่อไป

3.2 การสร้างเกณฑ์การออกแบบ

เกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยสามารถทำได้โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของสมดุลมวลในระบบตามลำดับการเกิดปฏิกิริยาและค่าคงที่ในการทำลายสิ่งสกปรกที่หาได้ในข้อ 3.1 ร่วมกับการกำหนดค่าของปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบด้วยค่าทั่วไปของน้ำเสียชุมชน มาเป็นข้อมูลในการคำนวณเพื่อให้ได้เกณฑ์การออกแบบต่อไป

บทที่ 3
ผลการศึกษา

1. องค์ประกอบของสวนน้ำ

สวนน้ำที่ก่อสร้างขึ้นได้รับการออกแบบให้แบ่งเป็นบ่อต่างๆ จำนวน 5 บ่อ ซึ่งสามารถแบ่งตามความลึกและลักษณะของบ่อได้เป็นบ่อตื้นจำนวน 1 บ่อและบ่อลึกอีก 4 บ่อ นอกจากนี้ยังมีบ่อพักน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบและบ่อกักน้ำที่ผ่านออกจากระบบอีกอย่างละ 1 บ่อ ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยแต่ละบ่อได้ปลูกพืชน้ำที่ต่างๆกันไป คือ บ่อตื้นปลูกพืชน้ำที่มีรากมากและแผ่ในดิน เช่น หญ้าหอม พุทธรักษา ส่วนบ่อลึกปลูกพืชลอยน้ำหรือพืชที่มีรากยาว เช่น จอก บัว นอกจากนี้บริเวณรอบบ่อยังปลูกพืชประดับนานาชนิด ดังแสดงในภาพที่ 6 อีกทั้งยังเลี้ยงปลาสวยงามเพื่อกำจัดลูกน้ำยุงลาย เช่น ปลาหางนกยูง ปลาสอดหางดาบ เป็นต้น

2. ระบบการไหลของน้ำในระบบ

น้ำทิ้งที่ไหลเข้าสู่สวนน้ำเป็นน้ำเสียจากกิจกรรมการใช้น้ำในบ้านที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปแล้ว เดิมน้ำทิ้งนี้ถูกระบายออกสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะซึ่งอยู่หน้าบ้าน จึงต้องมีการปรับปรุงแนวท่อน้ำเสียเดิมของบ้านใหม่ด้วยการเปลี่ยนทิศทางเดิมที่ไหลออกหน้าบ้านให้ไหลย้อนกลับไปทางด้านหลังบ้านซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของสวนน้ำ โดยการวางท่อระบายน้ำเส้นทางใหม่ต่อจากท่อน้ำล้นของถังกรองไร้อากาศให้เดินท่อย้อนกลับด้านหลังบ้าน นอกจากนี้ท่อระบายน้ำจากลานซักล้างซึ่งปกติจะไหลออกสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะโดยตรง ได้ถูกเปลี่ยนให้ไหลเข้าท่อระบายน้ำเส้นทางใหม่ที่สร้างขึ้นเพื่อเข้าสู่บ่อพักน้ำทิ้งซึ่งได้ก่อสร้างให้ติดกับสวนน้ำบ่อน้ำตื้น เพื่อให้สะดวกในการนำน้ำเข้าสู่สวนน้ำ และติดตั้งเครื่องปั๊มน้ำอัตโนมัติเพื่อปั๊มน้ำจากบ่อพักน้ำเข้าสู่สวนน้ำ น้ำที่ออกจากสวนน้ำจะไหลผ่านท่อเข้าสู่บ่อกักน้ำซึ่งติดตั้งเครื่องสูบน้ำและท่อสำหรับหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ดังแสดงในภาพที่ 7

3. การวัดอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ

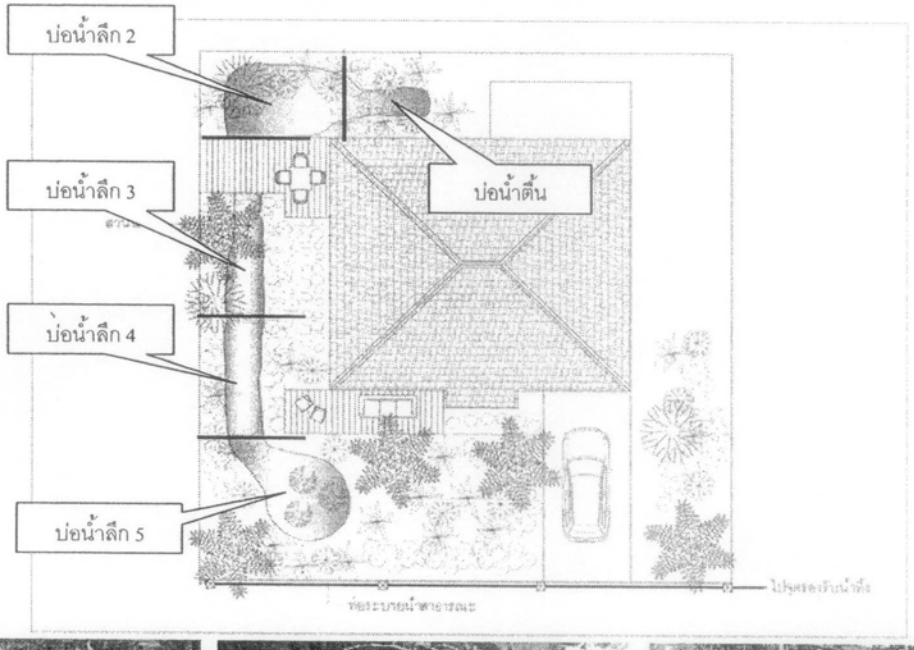
โครงการนี้ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องนับรอบการสูบน้ำแบบอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าเครื่องนับจำนวนรอบสามารถนับจำนวนรอบที่เครื่องสูบน้ำเสียทำงานในแต่ละวันได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และพบว่าจากการวัดระดับน้ำในบ่อพักน้ำเสียระหว่างก่อนสูบและหลังสูบเครื่องสูบน้ำนี้สามารถสูบน้ำเสียได้ 0.02 ลบ.ม.ต่อครั้ง ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่สูบได้ในแต่ละวันดังตารางที่ 2 ซึ่งมีอัตราการสูบน้ำเสียเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.32 ลบ.ม.ต่อวัน

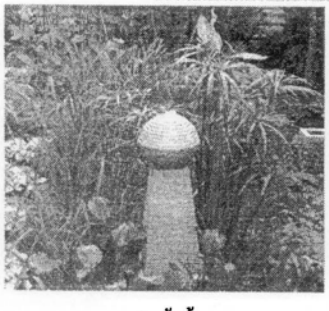
4. พื้นที่บำบัดน้ำของสวนน้ำ

จากการหาพื้นที่บ่อต่างๆ ด้วยวิธีวัดระยะจากเส้นอ้างอิงไปยังขอบบ่อดังแสดงในภาพที่ 9 และนำข้อมูลที่ได้ไปบันทึกและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม AutoCad ดังแสดงในภาคผนวก ง พบว่าบ่อน้ำตื้น บ่อน้ำลึก 2 ถึง 5 มีพื้นที่เท่ากับ 2.55 ตร.ม., 4.19 ตร.ม., 2.24 ตร.ม., 3.46 ตร.ม., และ 7.04 ตร.ม. ตามลำดับ ดังนั้นสวนน้ำแห่งนี้มีพื้นที่รวมในการบำบัดทั้งหมดเท่ากับ 19.48 ตร.ม.

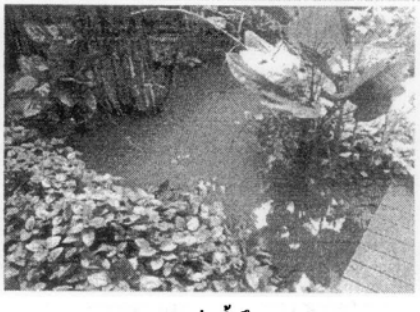
ตารางที่ 2 จำนวนรอบการทำงานของเครื่องสูบน้ำเสีย

วันที่	จำนวนรอบ	อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)	วันที่	จำนวนรอบ	อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)
13 พ.ค.53	7	0.14	10 มิ.ย.53	14	0.28
14 พ.ค.53	9	0.18	11 มิ.ย.53	15	0.30
15 พ.ค.53	8	0.16	12 มิ.ย.53	12	0.24
16 พ.ค.53	18	0.36	13 มิ.ย.53	12	0.24
17 พ.ค.53	9	0.18	14 มิ.ย.53	30	0.60
18 พ.ค.53	9	0.18	15 มิ.ย.53	13	0.26
19 พ.ค.53	8	0.16	16 มิ.ย.53	13	0.26
20 พ.ค.53	9	0.18	17 มิ.ย.53	14	0.28
21 พ.ค.53	8	0.16	18 มิ.ย.53	11	0.22
22 พ.ค.53	5	0.10	19 มิ.ย.53	7	0.14
23 พ.ค.53	7	0.14	20 มิ.ย.53	29	0.58
24 พ.ค.53	5	0.10	21 มิ.ย.53	26	0.52
25 พ.ค.53	6	0.12	22 มิ.ย.53	14	0.28
26 พ.ค.53	6	0.12	23 มิ.ย.53	8	0.16
27 พ.ค.53	14	0.28	24 มิ.ย.53	9	0.18
28 พ.ค.53	7	0.14	25 มิ.ย.53	6	0.12
29 พ.ค.53	18	0.36	26 มิ.ย.53	6	0.12
30 พ.ค.53	16	0.32	27 มิ.ย.53	4	0.08
31 พ.ค.53	16	0.32	28 มิ.ย.53	5	0.10
1 มิ.ย.53	8	0.16	29 มิ.ย.53	16	0.32
2 มิ.ย.53	4	0.08	30 มิ.ย.53	31	0.62
3 มิ.ย.53	6	0.12	1 ก.ค.53	12	0.24
4 มิ.ย.53	51	1.01	2 ก.ค.53	46	0.92
5 มิ.ย.53	54	1.07	3 ก.ค.53	26	0.52
6 มิ.ย.53	17	0.34	4 ก.ค.53	22	0.44
7 มิ.ย.53	34	0.68	5 ก.ค.53	63	1.25
8 มิ.ย.53	22	0.44	6 ก.ค.53	23	0.46
9 มิ.ย.53	10	0.20	7 ก.ค.53	13	0.26

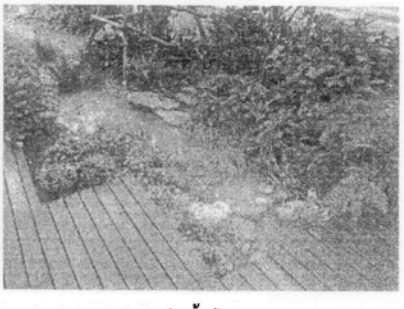




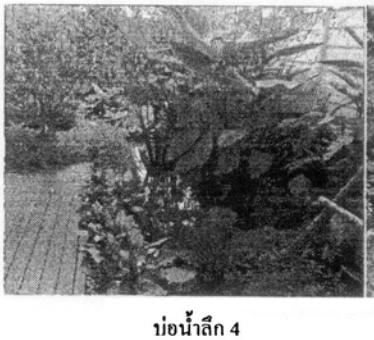
บ่อน้ำตื้น 1



บ่อน้ำลึก 2



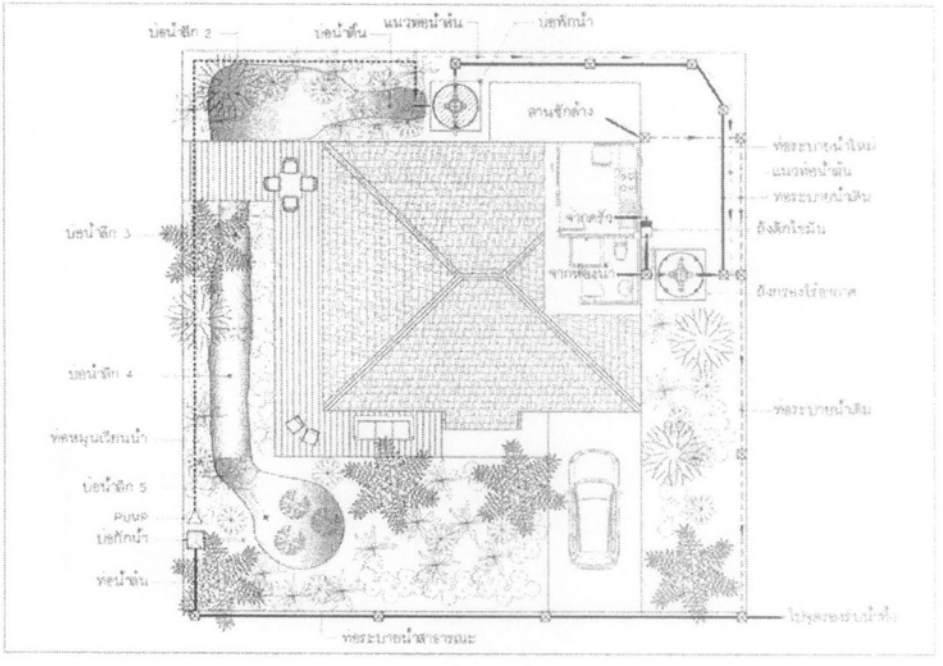
บ่อน้ำลึก 3



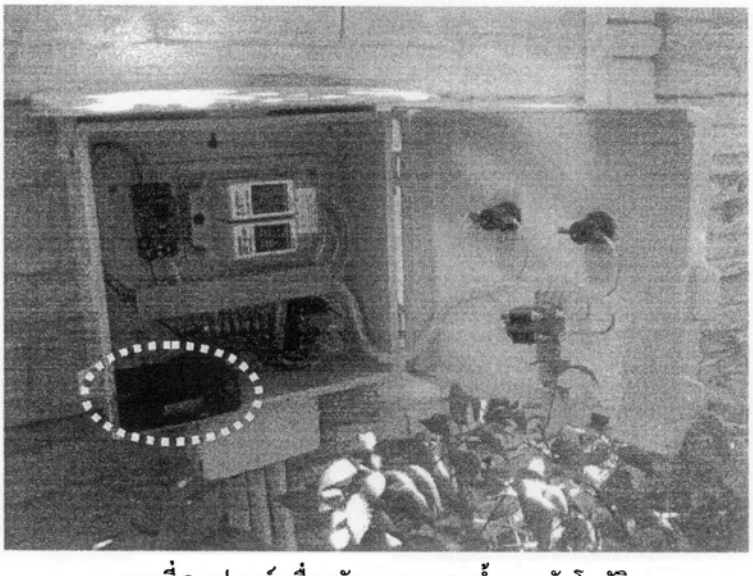
บ่อน้ำลึก 4

บ่อน้ำลึก 5

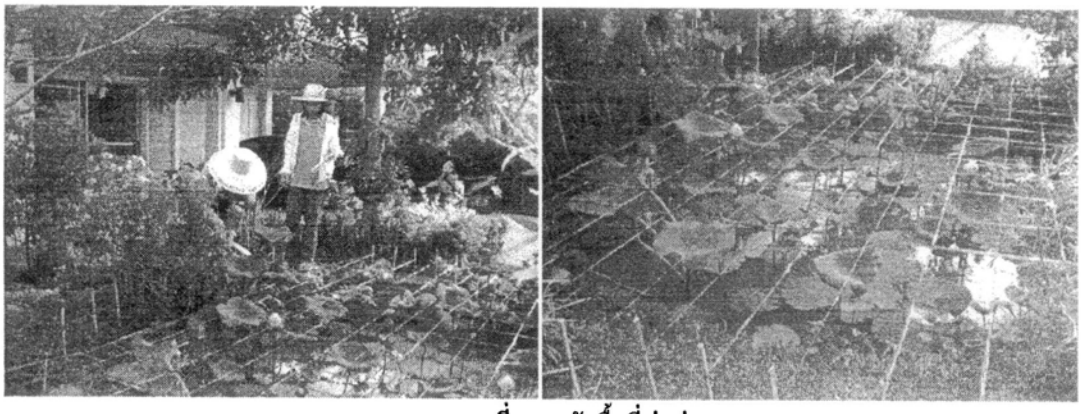
ภาพที่ 6 องค์ประกอบของสวนน้ำบ่อต่างๆ



ภาพที่ 7 การวางแนวท่อ



ภาพที่ 8 อุปกรณ์เครื่องนับรอบการสูบน้ำแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 9 การวัดพื้นที่บ่อต่างๆ

5. การหาความลึกของสวนน้ำ

ความลึกของระดับน้ำในบ่อในสวนน้ำที่ทำการวัดด้วยไม้วัดดังแสดงในภาพที่ 10 สามารถแสดงความลึก ณ จุดต่างๆ ของบ่อดังแสดงในภาคผนวก ฉ และสามารถหาความลึกเฉลี่ยของบ่อน้ำตื้น บ่อน้ำลึก 2 ถึง 5 ได้เท่ากับ 12.27, 15.90, 13.33, 13.41 และ 20.97 ซม. ตามลำดับ

ภาพที่ 10 การวัดความลึกของบ่อด้วยไม้วัด

6. ปริมาตรบ่อ

ได้ทำการคำนวณปริมาตรบ่อโดยใช้ข้อมูลพื้นที่และความลึกจากหัวข้อที่ 2 และหัวข้อที่ 3 พบว่าบ่อน้ำตื้น บ่อน้ำลึกที่ 2 ถึง 5 มีปริมาตรบ่อเท่ากับ 0.290, 0.573, 0.267, 0.456 และ 1.369 ลบ.ม. ตามลำดับ

7. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสิ้น 7 จุดได้แก่ น้ำในบ่อพักน้ำเสีย บริเวณทางออกของทุกบ่อซึ่งมีด้วยกัน 5 บ่อ และในบ่อกักน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 5 จำนวน 9 ครั้งระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม พ.ศ.2553 โดยได้ทำตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำต่างๆ พบว่า ณ ตำแหน่งต่างๆของระบบน้ำมีคุณภาพแตกต่างกันดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำ ณ จุดต่างๆระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล(Confidence level) ร้อยละ 98 ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 11-20 และมีประสิทธิภาพการบำบัดของ

บ่อต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนี้ได้นำมาเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิเคราะห์ผลต่อไป

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ณ จุดต่างๆ ของระบบ

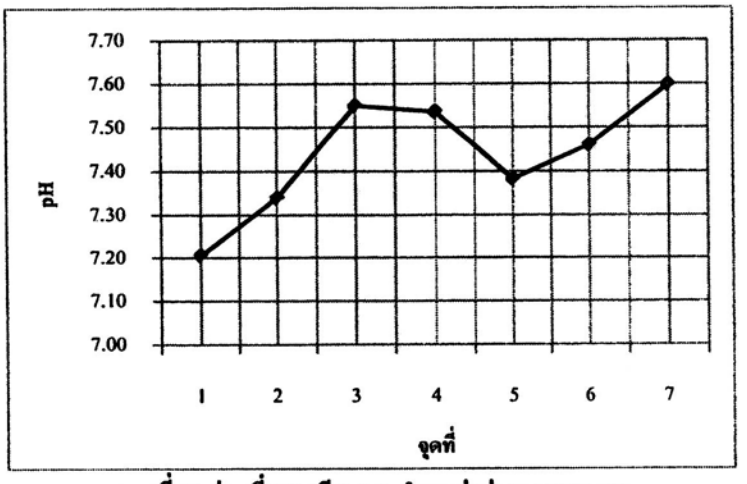
ดัชนี	หน่วย	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7
pH	-	7.21	7.34	7.55	7.54	7.38	7.46	7.60
DO	mg/l	0.00	0.19	1.66	2.05	2.83	3.98	0.98
BOD	mg/l	31.43	20.19	8.91	4.58	4.89	9.09	7.21
TSS	mg/l	25.20	12.67	13.71	10.13	9.57	38.40	8.80
TC	MPN/100 ml	9,450,000	5,326,250	64,500	9,000	23,220	9,428	1,490
FC	MPN/100 ml	5,742,857	3,563,750	61,250	3,100	7,535	3,150	441
NH_3-N	mg/l	45.59	43.06	23.59	9.72	3.96	1.93	3.40
NO_3-	mg/l	0.20	0.19	0.39	0.61	0.60	0.54	0.64
TKN	mg/l	58.71	52.08	29.60	12.53	6.32	4.20	5.60
TP	mg/l	5.75	5.16	3.47	1.81	0.97	0.76	0.74

หมายเหตุ

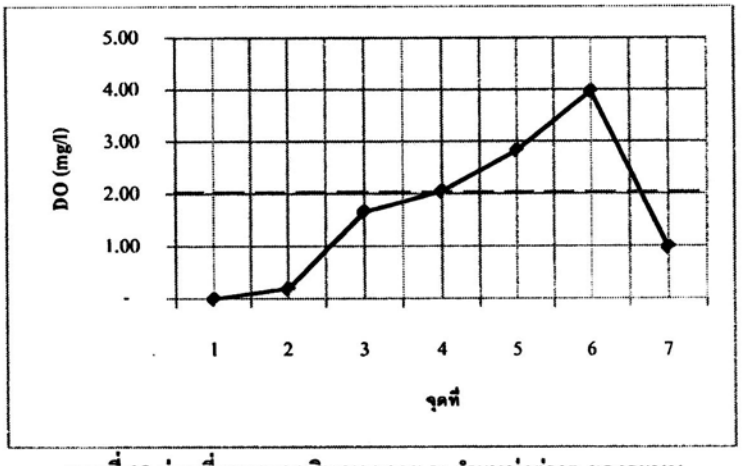
จุดที่ 1 คือ บ่อพักน้ำเสีย จุดที่ 2 คือ บริเวณทางออกของบ่อน้ำตื้น จุดที่ 3 คือ บริเวณทางออกของบ่อ 2 จุดที่ 4 คือ บริเวณทางออกของบ่อ 3 จุดที่ 5 คือ บริเวณทางออกของบ่อ 4 จุดที่ 6 คือ บริเวณทางออกของบ่อ 5 จุดที่ 7 คือ บ่อกักน้ำ

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดของบ่อต่างๆ

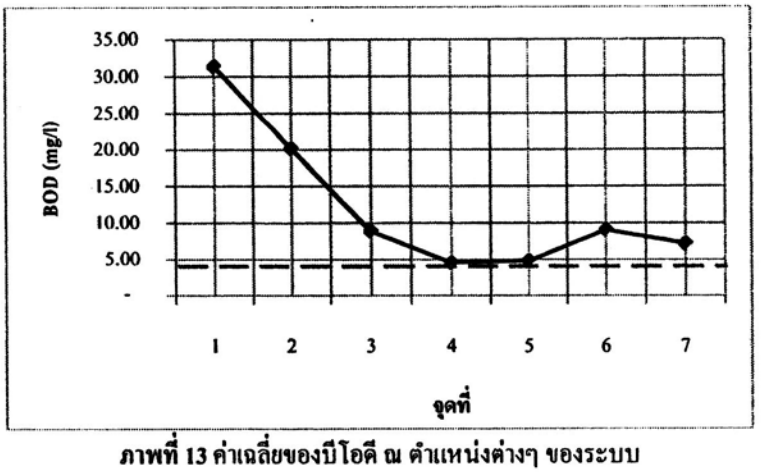
	บ่อน้ำตื้น (ร้อยละ)	บ่อน้ำลึก 2 (ร้อยละ)	บ่อน้ำลึก 3 (ร้อยละ)	บ่อน้ำลึก 4 (ร้อยละ)	บ่อน้ำลึก 5 (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพรวม (ร้อยละ)
BOD	35.76	55.87	48.60	-6.77	-85.89	77.06
TSS	49.72	-8.21	26.11	5.53	-301.25	65.08
TC	43.64	98.79	86.05	-158.00	59.40	99.98
FC	37.94	98.28	94.94	-143.06	58.20	99.99
NH_3-N	5.55	45.22	58.80	59.26	51.26	92.54
NO_3-	5.00	-105.26	-56.41	1.64	10.00	-220.00
TKN	11.29	43.16	57.67	49.56	33.54	90.46
TP	10.26	32.75	47.84	46.41	21.65	87.13



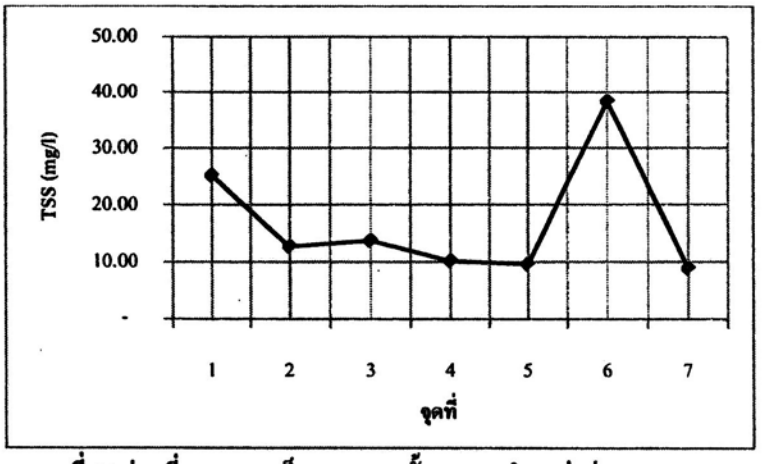
ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยของพีเอช ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



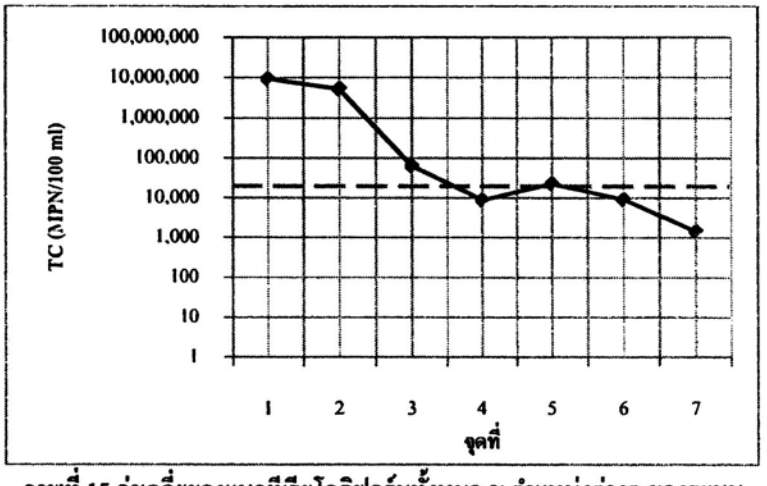
ภาพที่ 12 ค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



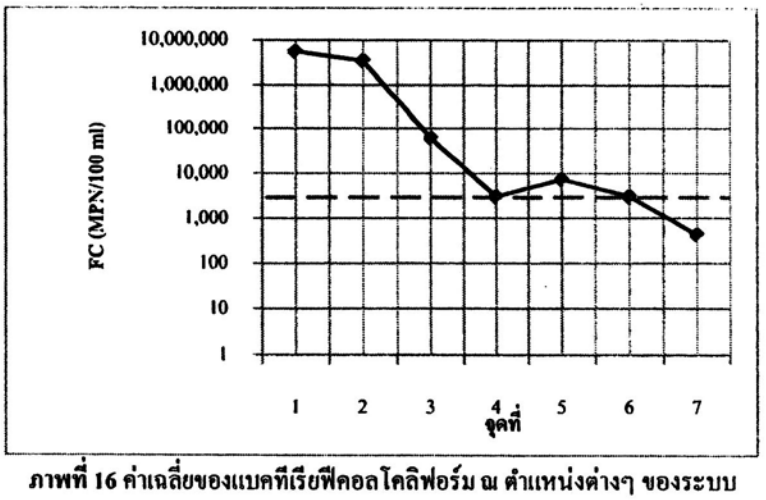
ภาพที่ 13 ค่าเฉลี่ยของบีโอดี ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



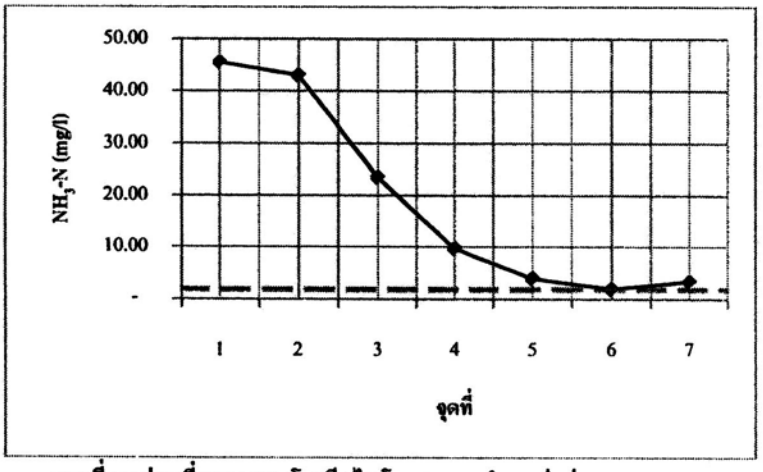
ภาพที่ 14 ค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



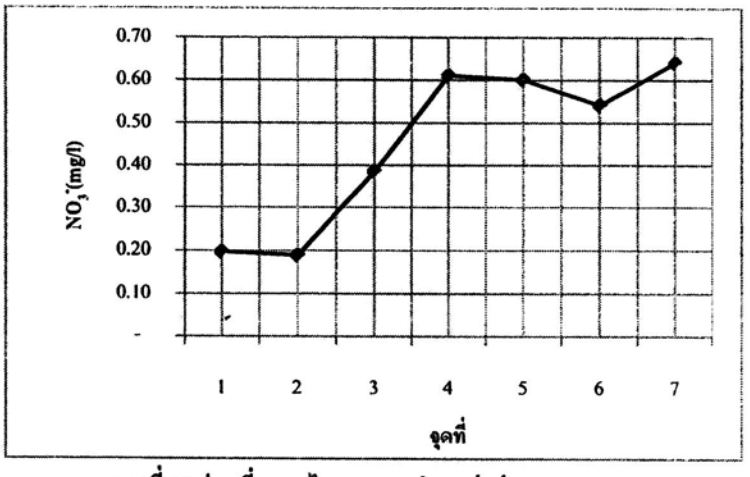
ภาพที่ 15 ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



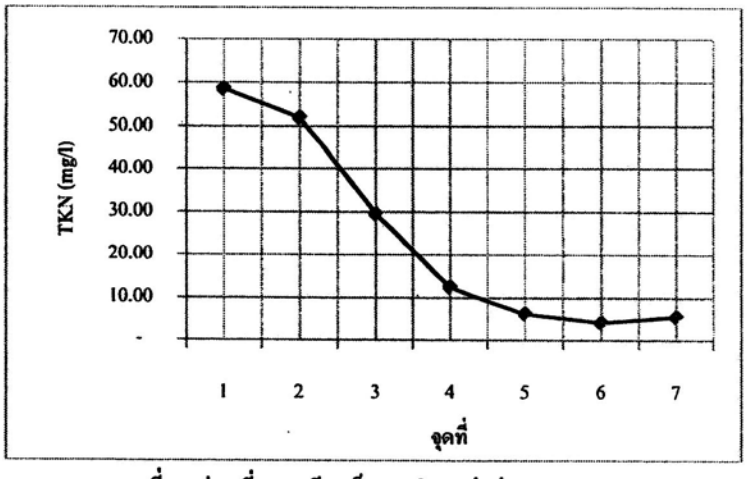
ภาพที่ 16 ค่าเฉลี่ยของแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



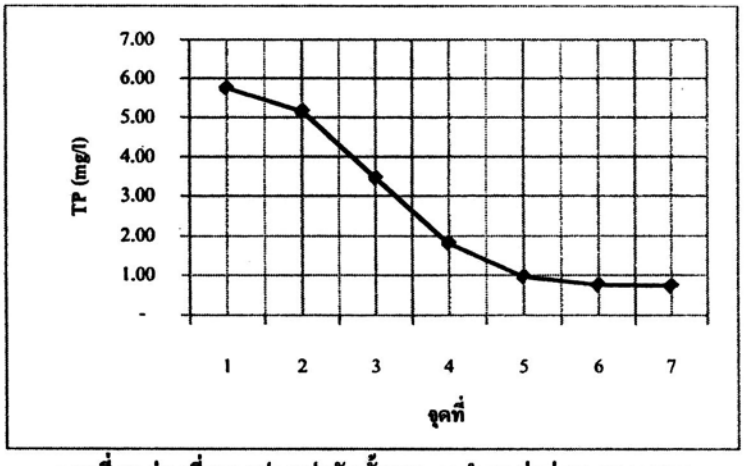
ภาพที่ 17 ค่าเฉลี่ยของแอมโมเนียไนโตรเจน ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



ภาพที่ 18 ค่าเฉลี่ยของไนเตรต ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



ภาพที่ 19 ค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็น ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ



ภาพที่ 20 ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสทั้งหมด ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ

8. การหาลำดับการเกิดปฏิกิริยา

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในหัวข้อที่ 7 ได้ทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาลำดับการเกิดปฏิกิริยาในการบำบัดสิ่งสกปรกต่างๆ พบว่าการบำบัด บีโอดี ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด แบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรต ทีเคเอ็น และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีลำดับการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับขั้นตอนการหาลำดับการเกิดปฏิกิริยาแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาในการบำบัดสิ่งสกปรกต่างๆ

พารามิเตอร์	ลำดับการเกิดปฏิกิริยา
บีโอดี	1
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	2
แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด	1
แบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม	1
แอมโมเนียไนโตรเจน	2
ไนเตรต	2
ทีเคเอ็น	2
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	2

9. การหาค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยา

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาหาค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยาหรือค่า k ของพารามิเตอร์ต่างๆ แบ่งเป็น 2 ค่าตามลักษณะของบ่อ คือ ค่าคงที่สำหรับบ่อน้ำตื้น และค่าคงที่สำหรับบ่อน้ำลึก ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้สามารถคำนวณค่าคงที่ได้จากสมการปฏิกิริยาการไหลแบบระนาบเดียว(Plug Flow)โดยใช้สมการที่ 1 สำหรับการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ 1 และใช้สมการที่ 2 สำหรับการเกิดปฏิกิริยาลำดับที่ 2 (Tchobanoglous & Schroeder, 1985) ค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยาที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 6

$$k = \frac{1}{t}\ln\frac{C_0}{C} \qquad \text{...(สมการที่ 1)}$$

$$k = \frac{1}{t}\left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}\right) \qquad \text{...(สมการที่ 2)}$$

ตารางที่ 6 ค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยา

พารามิเตอร์	ลำดับการเกิดปฏิกิริยา	k สำหรับบ่อตื้น	k สำหรับบ่อลึก
บีโอดี	1	0.486	0.561
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	2	0.043	0.006
แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด	1	0.629	0.756
แบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม	1	0.523	0.839
ทีเคเอ็น	2	0.002	0.026
แอมโมเนียไนโตรเจน	2	0.001	0.059
ไนเตรต	2	0.223	-0.410
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	2	0.022	0.133

10. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์พื้นที่การบำบัดที่ต้องการนั้น สามารถดำเนินการได้โดยการกำหนดค่าต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของสมการตามลำดับการเกิดปฏิกิริยาของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยค่าที่กำหนดขึ้นนี้ได้คำนึงถึงหลักการการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่และใช้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการ ได้แก่

1.ค่าความเข้มข้นสูงสุดของพารามิเตอร์ และประสิทธิภาพการบำบัดได้มาจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตามหัวข้อที่ 7

2. ค่า k ได้มาจากการหาค่าคงที่ของการทำปฏิกิริยาตามหัวข้อที่ 9

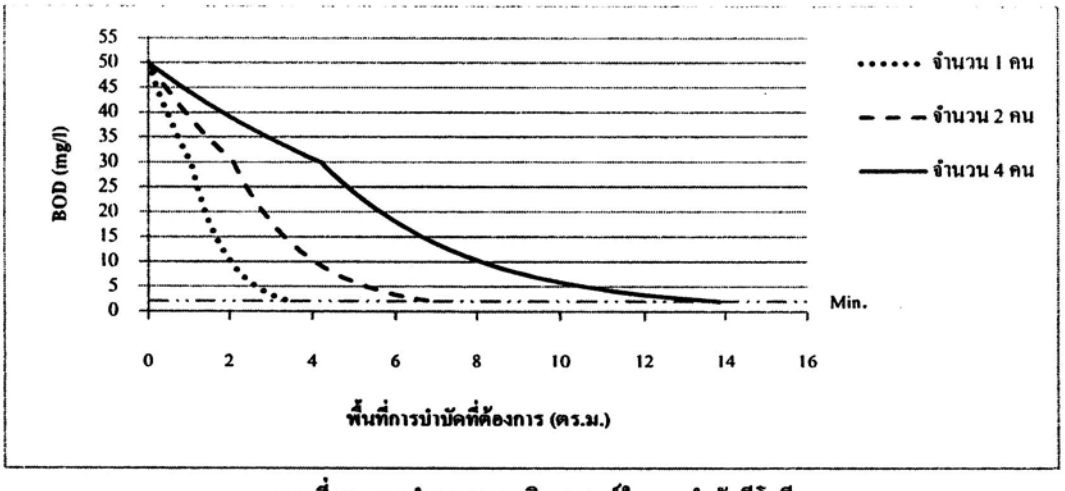
3. อัตราการไหลได้มาจากการวัดอัตราการไหลตามหัวข้อที่ 3

4.ใช้ค่าแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นตัวแทนความสกปรกทั้งหมดของไนโตรเจนเนื่องจากการตรวจวัดความสกปรกของน้ำที่ปนเปื้อนไนโตรเจนนิยมใช้ค่าแอมโมเนียไนโตรเจน

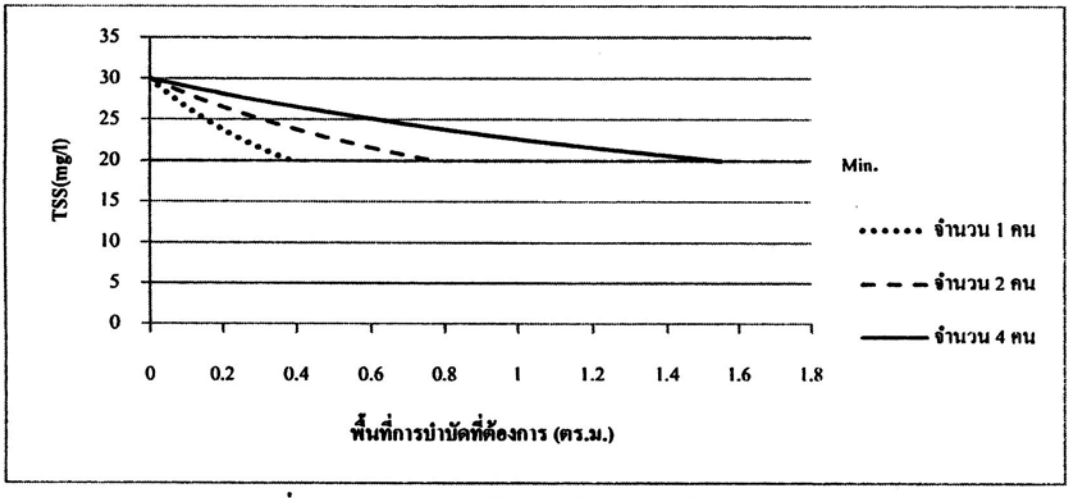
ซึ่งสามารถสรุปค่าคงที่ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังแสดงในตารางที่ 7 และสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 1 และ 2 สามารถหาค่าพื้นที่การบำบัดที่ต้องการได้ดังแสดงในภาพที่ 21 ถึง 21 โดยรายละเอียดการสร้างแบบจำลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 7 ค่าต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

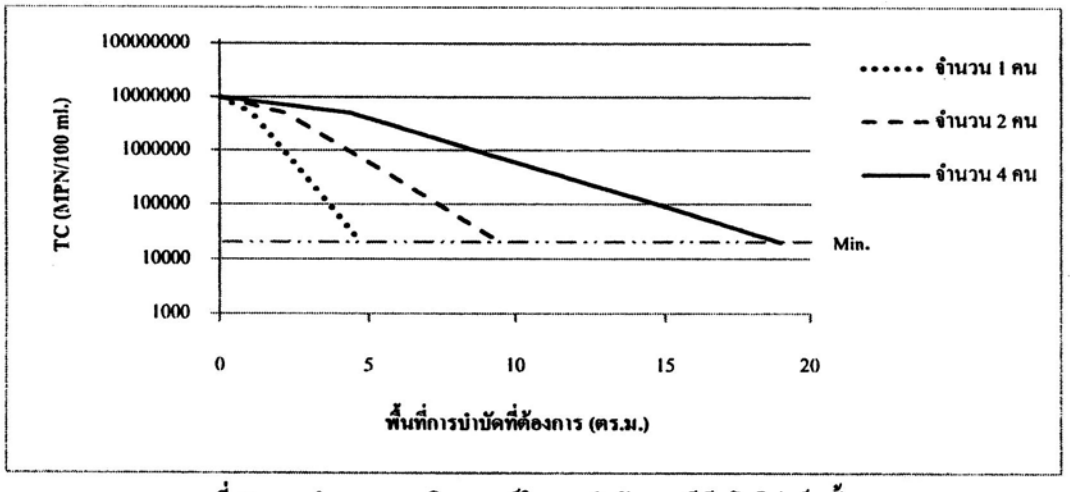
พารามิเตอร์	ค่า k สำหรับบ่อตื้น	ค่า k สำหรับบ่อลึก	อัตราการไหลน้ำเสีย (ลบ.ม./คน/วัน)	ประสิทธิภาพของบ่อน้ำตื้น	ความเข้มข้นสูงสุด	ความเข้มข้นที่ต้องการ	หน่วยความเข้มข้น
บีโอดี	0.486	0.561	0.10	40%	50	4	mg/l
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	0.043	0.006	0.10	50%	30	20	mg/l
แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด	0.629	0.756	0.10	50%	$10x10^6$	20000	MPN/100 ml.
แบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม	0.523	0.839	0.10	40%	$6x\ 10^6$	4000	MPN/100 ml.
แอมโมเนียไนโตรเจน	0.001	0.059	0.10	15%	50	2	mg/l
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	0.022	0.133	0.10	10%	6	0.5	mg/l



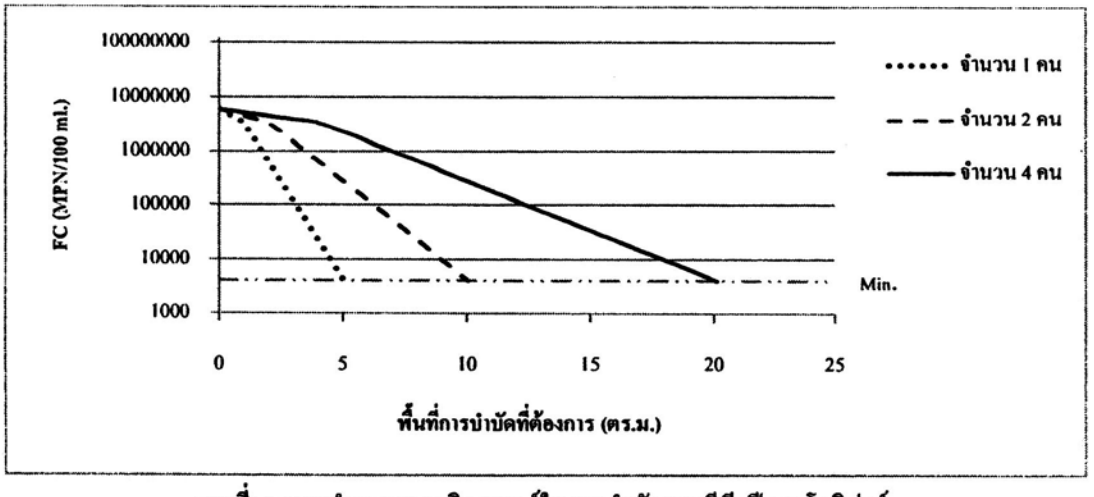
ภาพที่ 21 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดบีโอดี



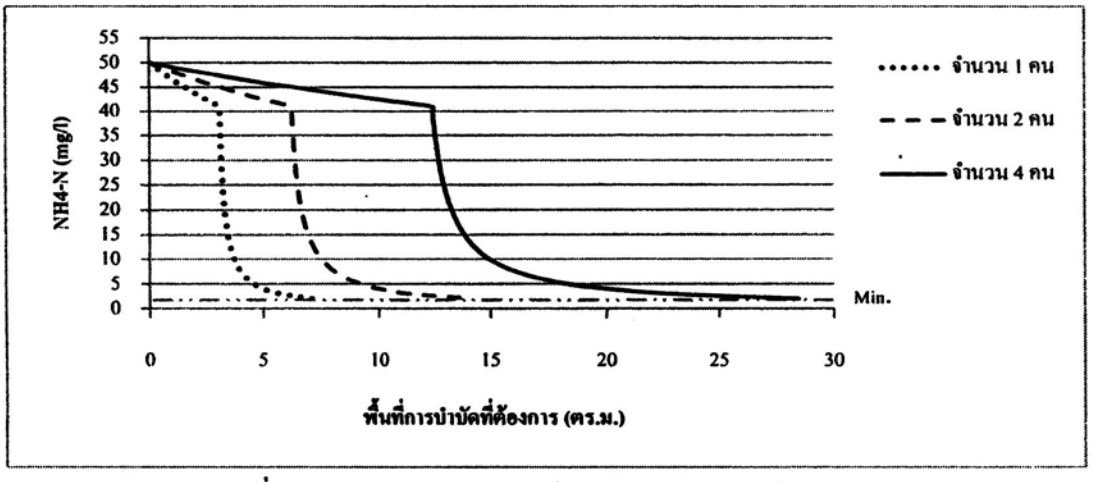
ภาพที่ 22 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดสารแขวนลอย



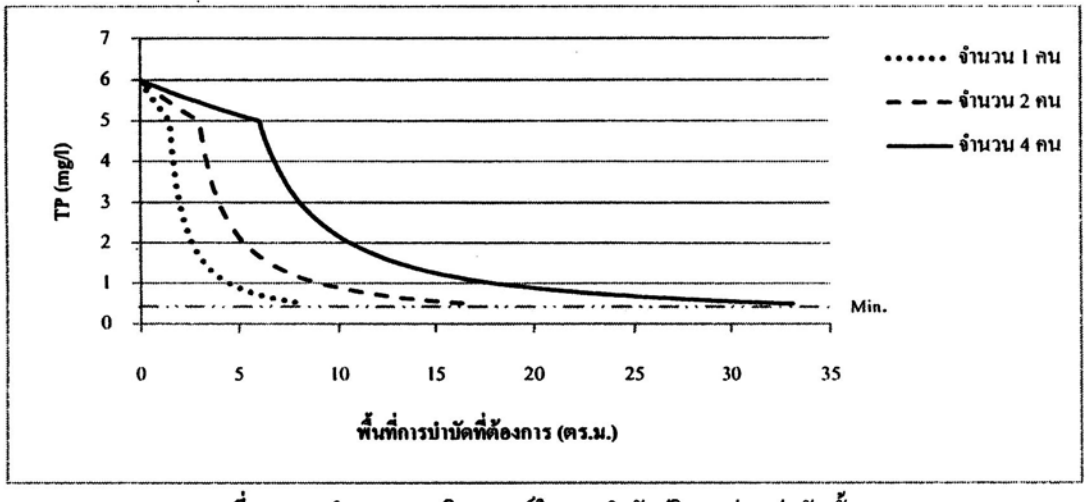
ภาพที่ 23 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด



ภาพที่ 24 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม



ภาพที่ 25 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน



ภาพที่ 26 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบำบัดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

11. การสร้างเกณฑ์การออกแบบ

การศึกษานี้ได้สร้างเกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยโดยมีแนวคิดให้เป็นเกณฑ์การออกแบบที่เข้าใจง่าย บุคคลทั่วไปสามารถนำไปใช้ออกแบบเองได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้วิศวกรสิ่งแวดล้อมเป็นผู้ออกแบบ ซึ่งการสร้างเกณฑ์ดังกล่าวสามารถสร้างได้โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 10 โดยพื้นที่การบำบัดที่ต้องการต่อผู้อยู่อาศัยในบ้าน 1 คนได้แสดงผลไว้ดังตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนต้องการพื้นที่บ่อตื้นมากที่สุดคือ 3.11 ตร.ม./คน และการบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมดต้องการพื้นที่บ่อลึกมากที่สุดคือ 6.76 ตร.ม./คน ดังนั้นพื้นที่การบำบัดรวมที่ต้องการในการสร้างบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยคือ 9.87 ตร.ม./คน แต่เนื่องจากค่าตัวเลขที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตเป็นตัวเลขไม่ลงตัวจำได้ยาก จึงกำหนดเกณฑ์การออกแบบใหม่เพื่อให้เป็นตัวเลขที่จำง่ายเหมาะแก่การนำไปใช้งานคือ พื้นที่ที่ต้องการสำหรับบ่อตื้นคือ 3 ตร.ม./คน พื้นที่ที่ต้องการสำหรับบ่อลึกคือ 6 ตร.ม./คน และพื้นที่ที่ต้องการทั้งหมดคือ 9 ตร.ม./คน ดังแสดงในสมการที่ 3 ถึง 6

$$A = A_1 + A_2 \quad \text{...(สมการที่ 3)}$$

โดย

$$A_1 = 3n \quad \text{...(สมการที่ 4)}$$

$$A_2 = 6n \quad \text{...(สมการที่ 5)}$$

$$A = 9n \quad \text{...(สมการที่ 6)}$$

เมื่อ n คือ จำนวนผู้อาศัยในบ้าน

A คือ พื้นที่ทั้งหมดของระบบที่ต้องการ (ตร.ม.)

A_1 คือ พื้นที่ของบ่อดินที่ต้องการ (ตร.ม.)

A_2 คือ พื้นที่ของบ่อลึกที่ต้องการ (ตร.ม.)

ตารางที่ 8 พื้นที่การบำบัดที่ต้องการต่อผู้อยู่อาศัยในบ้าน 1 คนของพารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	พื้นที่ที่ต้องการต่อคนสำหรับบ่อน้ำดื้น (ตร.ม.)	พื้นที่ที่ต้องการต่อคนสำหรับบ่อน้ำลึก (ตร.ม.)
บีโอดี	1.05	2.41
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด	0.39	-
แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด	1.10	3.65
แบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์ม	0.98	4.05
แอมโมเนียไนโตรเจน	3.11	4.02
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	1.52	6.76

บทที่ 4
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

1. อภิปรายผล

1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบทที่ 3 พบว่าคุณภาพของน้ำในบ่อที่ 3 และ 4 อยู่ในเกณฑ์ที่ดี น้ำค่อนข้างใส แต่น้ำในบ่อที่ 5 ซึ่งเป็นบ่อน้ำลึกสุดท้าย และบ่อกักน้ำที่ผ่านระบบแล้วกลับมีคุณภาพที่ด้อยลง เนื่องจากมีค่าบีโอดี สารแขวนลอยทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และปริมาณแบคทีเรียฟีคอลโคลิฟอร์มที่สูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลอันเนื่องมาจากบ่อน้ำลึกสุดท้ายมีขนาดใหญ่และลึกที่สุด ทำให้มีปลาและปูอาศัยอยู่เป็นจำนวนค่อนข้างมาก จึงเป็นเหตุทำให้กวนน้ำให้ขุ่นขึ้น และในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของน้ำไม่ได้ทำการกรองน้ำก่อนการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามพบว่าระบบมีความสามารถบำบัดบีโอดีได้ 77.06 %

ส่วนค่าความเข้มข้นของปริมาณไนเตรตในบ่อท้ายๆของระบบพบว่าสูงขึ้นกว่าบ่อแรกๆ มีสาเหตุเนื่องมาจากแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีปริมาณมากจากการปนเปื้อนที่เกิดจากการใช้ในครัวเรือนในช่วงแรก ๆ ของระบบจะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนค่าเป็นไนเตรตจึงทำให้ไนเตรตมีค่าสูงขึ้นในช่วงท้ายๆ

1.2 พื้นที่การบำบัดของบึงประดิษฐ์ที่ทำศึกษา

จากเกณฑ์การออกแบบที่สร้างขึ้น บ่อน้ำตื้นมีความต้องการพื้นที่ในการบำบัด 3 ตร.ม./คน และบ่อน้ำลึกมีความต้องการพื้นที่ในการบำบัด 6 ตร.ม./คน หากนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับพื้นที่ของบึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษาจริง พบว่าบ้านพักแห่งนี้มีผู้อยู่อาศัย 2 คน ดังนั้นจึงต้องการพื้นที่บ่อตื้นและบ่อลึกเท่ากับ 6 และ 12 ตร.ม. ตามลำดับ แต่บึงประดิษฐ์ที่ทำการศึกษานี้มีพื้นที่บ่อน้ำตื้นและบ่อน้ำลึก 2.5 และ 17.3 ตร.ม. ซึ่งบ่อน้ำตื้นมีพื้นที่การบำบัดน้อยเกินไปและอาจจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำลงในบางช่วงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีปริมาณน้ำเสียมากกว่าปกติ

1.3 การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่จำเป็นจะต้องทราบถึงคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมและปลอดภัยในการใช้น้ำ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในหัวข้อที่ 7 พบว่าคุณภาพน้ำ ณ จุดที่ 7 หรือบ่อกักน้ำสำหรับการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าน้ำมีสภาพเป็นกลาง แต่มีค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพที่เกินกว่ามาตรฐานน้ำผิวดิน ประเภทที่ 3 คือ บีโอดี ออกซิเจนละลาย และแอมโมเนียไนโตรเจน แต่เนื่องจากมีค่าที่เกินกว่ามาตรฐานไม่มากนักจึงสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้ในกิจกรรมบางประเภทที่ไม่ต้องการใช้น้ำที่สะอาดมากนักเช่น การรดน้ำต้นไม้ หรือการล้างพื้นถนน เป็นต้น (สำหรับมาตรฐานน้ำผิวดินแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)

2. สรุปผลการศึกษา

โครงการประกวดแข่งขันนวัตกรรม 3R เรื่องการประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์เป็นสวนน้ำในบ้านพักอาศัยได้ทำการสำรวจสภาพพื้นที่สวนน้ำ แนวท่อและเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งเพื่อผันน้ำทิ้งเข้าสวนน้ำ ซึ่งพบว่าสวนน้ำได้รับการออกแบบให้แบ่งเป็นบ่อต่างๆ จำนวน 5 บ่อ สามารถแบ่งตามความลึกได้เป็นบ่อตื้นเพื่อปลูกพืชน้ำจำนวน 1 บ่อและบ่อลึกอีก 4 บ่อ โดยมีการปรับปรุงแนวท่อให้ผันน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถังกรองไร้อากาศสำเร็จรูปแล้วเข้าสู่สวนน้ำและมีการปลูกพืชต่างๆกันไปในแต่ละบ่อ

อีกทั้งได้ทำการสำรวจรังวัดพื้นที่ของสวนน้ำ วัดความลึกของบ่อ วัดอัตราการไหลเฉลี่ย วิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่ามีค่าดังแสดงในตารางที่ 9

เมื่อวิเคราะห์ผลคุณภาพน้ำโดยเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบพบว่าลำดับของการทำปฏิกิริยาค่าคงที่ในการทำปฏิกิริยา และประสิทธิภาพการบำบัดในการบำบัดเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 10 ดังนั้นจึงสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสร้างเกณฑ์การออกแบบสำหรับสร้างสวนน้ำเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ในที่พักอาศัยได้ดังนี้

1. พื้นที่ที่ต้องการสำหรับบ่อน้ำตื้น เท่ากับ 3 ตร.ม./คน
2. พื้นที่ที่ต้องการสำหรับบ่อน้ำลึก เท่ากับ 6 ตร.ม./คน
3. พื้นที่รวมของระบบ เท่ากับ 9 ตร.ม./คน

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ต่างๆ จากตรวจวัดจริง

พารามิเตอร์	หน่วย	บ่อเก็บน้ำเสีย	บ่อน้ำตื้น	บ่อน้ำลึก 2	บ่อน้ำลึก 3	บ่อน้ำลึก 4	บ่อน้ำลึก 5	บ่อกักน้ำ
พื้นที่	ตร.ม.	-	2.55	4.19	2.24	3.46	7.04	-
ความลึกเฉลี่ย	ซม.	-	12.27	15.90	13.33	13.41	20.97	-
ปริมาตร	ลบ.ม.	-	0.290	0.530	0.267	0.456	1.396	-
อัตราการไหลเฉลี่ย	ลบ.ม./วัน	0.32						
pH	-	7.21	7.34	7.55	7.54	7.38	7.46	7.60
DO	mg/l	0.00	0.19	1.66	2.05	2.83	3.98	0.98
BOD	mg/l	31.43	20.19	8.91	4.58	4.89	9.09	7.21
TSS	mg/l	25.20	12.67	13.71	10.13	9.57	38.40	8.80
TC	MPN/100 ml.	9,450,000	5,326,250	64,500	9,000	23,220	9,428	1,490
FC	MPN/100 ml.	5,742,857	3,563,750	61,250	3,100	7,535	3150	441
NH_3-N	mg/l	45.59	43.06	23.59	9.72	3.96	1.93	3.40
NO_3-	mg/l	0.20	0.19	0.39	0.61	0.60	0.54	0.64
TKN	mg/l	58.71	52.08	29.60	12.53	6.32	4.20	5.60
TP	mg/l	5.75	5.16	3.47	1.81	0.97	0.76	0.74

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ ลำดับการเกิดปฏิกิริยา ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา และประสิทธิภาพการบำบัด

	pH	DO	BOD	TSS	TC	FC	NH_3-N	NO_3-	TKN	TP
ลำดับการเกิดปฏิกิริยา	-	-	1	2	1	1	2	2	2	2
ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาสำหรับบ่อตื้น	-	-	0.486	0.043	0.629	0.523	0.002	0.001	0.223	0.022
ค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาสำหรับบ่อลึก	-	-	0.561	0.006	0.756	0.839	0.026	0.059	0.410	0.133
ประสิทธิภาพการบำบัดบ่อน้ำตื้น	-	-	35.76	49.72	43.72	37.94	5.55	5.00	11.29	10.26
ประสิทธิภาพการบำบัดบ่อน้ำลึก 2	-	-	55.87	-8.21	98.79	98.28	45.22	-105.26	43.16	32.75
ประสิทธิภาพการบำบัดบ่อน้ำลึก 3	-	-	48.60	26.11	86.05	94.94	58.80	-56.41	57.67	47.84
ประสิทธิภาพการบำบัดบ่อน้ำลึก 4	-	-	-6.77	5.53	-158.00	-143.06	59.26	1.64	49.56	46.41
ประสิทธิภาพการบำบัดบ่อน้ำลึก 5	-		-85.89	-301.25	59.40	58.20	21.26	10.00	33.54	21.65

เอกสารอ้างอิง

Tchobanoglous,G. and Schroeder.ED.(1985), **Water Quality : Characteristics Modeling Modification**, Addison-Wesley,Inc.,Reading, Massachusetts

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

BOD	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	28.20	23.40	69.75	57.50	12.90	73.50	20.25	27.00	32.25
2.จุดออกบ่อ 1	6.90	14.70	22.50	27.00	11.70	15.30	9.60	25.50	24.60
3.จุดออกบ่อ 2	16.80	12.30	7.20	6.75	8.20	7.30	11.70	5.40	21.90
4.จุดออกบ่อ 3	4.80	11.00	4.65	3.75	6.50	4.20	11.30	3.60	14.25
5.จุดออกบ่อ 4	3.00	10.95	10.95	4.20	6.00	4.58	3.83	4.95	5.78
6.จุดออกบ่อ 5	2.03	7.00	11.70	7.80	9.20	9.75	7.95	10.20	17.40
7.บ่อเก็บน้ำ	6.15	6.30	12.15	6.00	7.10	13.65	5.70	16.20	7.05

TSS	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	59.00	56.00	20.00	8.00	10.00	12.00	40.00	30.00	24.00
2.จุดออกบ่อ 1	12.00	8.00	16.00	10.00	6.00	8.00	30.00	24.00	22.00
3.จุดออกบ่อ 2	4.00	4.00	4.00	6.00	8.00	78.00	56.00	40.00	30.00
4.จุดออกบ่อ 3	6.00	6.00	8.00	5.00	12.00	30.00	16.00	12.00	16.00
5.จุดออกบ่อ 4	4.00	6.00	4.00	4.00	9.00	20.00	42.00	30.00	20.00
6.จุดออกบ่อ 5	6.00	10.00	34.00	18.00	24.00	56.00	82.00	70.00	60.00
7.บ่อเก็บน้ำ	8.00	4.00	6.00	4.00	2.00	22.00	34.00	32.00	30.00

pH	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	7.07	7.33	7.45	7.33	7.21	7.16	7.14		6.98
2.จุดออกบ่อ 1	7.24	7.40	7.34	7.82	7.45	7.21	7.44		7.30
3.จุดออกบ่อ 2	7.36	7.71	7.51	7.65	7.62	7.44	7.57		7.51
4.จุดออกบ่อ 3	7.28	7.66	7.52	8.04	7.68	7.45	7.46		7.45
5.จุดออกบ่อ 4	7.28	7.55	7.32	8.26	7.51	7.28	7.37		7.37
6.จุดออกบ่อ 5	7.39	7.62	7.58	7.89	7.41	7.33	7.43		7.30
7.บ่อเก็บน้ำ	8.42	7.72	7.54	7.94	7.56	7.47	7.36		7.07

TC	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	14000000	13000000	90000000	3000000	300000	24000000	1300000	13000000	7000000
2.จุดออกบ่อ 1	500000	2800000	90000000	30000000	70000	110000	800000	8000000	330000
3.จุดออกบ่อ 2	130000	35000000	240000	50000	21000	17000	14000	30000	14000
4.จุดออกบ่อ 3	5000	30000	13000	9000	30000	774	22000	1400	800
5.จุดออกบ่อ 4	3843	13000	160000	1700	3000	240000	22000	110000	9000
6.จุดออกบ่อ 5	5000	8000	14000	7000	11000	13000	50000	8000	260
7.บ่อเก็บน้ำ	220	24000	14000	1100	5000	1700	14000	220	700

FC	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	14000000	5000000	30000000	3000000	300000	2400000	800000	8000000	7000000
2.จุดออกบ่อ 1	500000	1700000	90000000	17000000	70000	110000	800000	8000000	330000
3.จุดออกบ่อ 2	130000	35000000	230000	50000	11000	11000	14000	30000	14000
4.จุดออกบ่อ 3	3000	30000	8000	2000	17000	1100	7000	200	400
5.จุดออกบ่อ 4	3445	13000	160000	340	1300	7000	2200	24000	9000
6.จุดออกบ่อ 5	5000	8000	2200	7000	3000	240	2400	8000	260
7.บ่อเก็บน้ำ	140	24000	900	700	300	70	500	220	700

DO	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.จุดออกบ่อ 1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.60	0.50	0.00	0.00
3.จุดออกบ่อ 2	0.00	1.70	1.05	2.40	1.75	1.85	2.60	2.50	1.20
4.จุดออกบ่อ 3	0.00	2.05	2.05	3.05	2.25	1.55	1.75	2.75	1.95
5.จุดออกบ่อ 4	0.00	2.95	2.35	3.20	3.50	2.15	2.95	3.05	2.50
6.จุดออกบ่อ 5	0.00	3.70	4.65	6.05	2.60	3.35	3.50	6.70	6.50
7.บ่อเก็บน้ำ	0.00	1.70	1.15	2.05	0.85	0.70	0.60	1.40	1.20

NH-3 N	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	71.96	44.80	47.04	42.00	31.08	56.28	68.60	41.72	41.72
2.จุดออกบ่อ 1	26.32	57.12	51.24	45.36	26.32	41.72	57.40	33.88	43.12
3.จุดออกบ่อ 2	23.80	50.40	21.84	25.76	27.16	19.04	23.24	20.72	27.16
4.จุดออกบ่อ 3	9.24	22.40	9.24	10.08	12.04	10.64	6.72	10.08	6.16
5.จุดออกบ่อ 4	0.56	11.76	5.88	3.36	7.00	1.68	1.12	5.88	2.80
6.จุดออกบ่อ 5	0.84	8.12	4.20	1.68	3.64	0.84	0.84	2.52	0.84
7.บ่อเก็บน้ำ	0.28	7.84	5.60	2.80	3.64	2.80	2.24	4.76	1.96

NO3	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	0.09	0.24	0.29	0.11	0.22	0.13	0.20	0.58	0.61
2.จุดออกบ่อ 1	0.47	0.27	0.10	0.12	0.23	0.07	0.23	0.77	0.80
3.จุดออกบ่อ 2	1.03	0.17	0.28	0.40	0.38	0.49	0.88	0.98	0.83
4.จุดออกบ่อ 3	0.87	0.59	0.49	0.62	0.69	0.36	0.67	0.92	0.98
5.จุดออกบ่อ 4	0.39	0.58	0.79	0.82	0.71	0.53	0.10	1.01	1.21
6.จุดออกบ่อ 5	0.06	0.30	0.82	0.62	0.70	0.55	0.15	0.99	0.78
7.บ่อเก็บน้ำ	0.62	0.54	0.85	0.78	0.88	0.63	0.44	1.22	1.24

TKN	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	74.48	64.96	54.32	48.16	41.44	57.68	69.44	43.12	57.68
2.จุดออกบ่อ 1	52.08	72.80	55.44	52.08	34.16	44.24	60.48	35.28	48.16
3.จุดออกบ่อ 2	29.68	56.56	24.08	34.16	37.52	21.28	28.56	23.52	29.68
4.จุดออกบ่อ 3	10.08	32.48	10.08	15.12	14.00	20.72	7.84	12.88	9.52
5.จุดออกบ่อ 4	2.24	18.48	7.84	5.60	8.96	3.92	5.04	7.28	5.60
6.จุดออกบ่อ 5	1.68	10.64	6.72	2.24	6.16	2.24	3.36	5.60	5.60
7.บ่อเก็บน้ำ	2.24	7.28	7.84	6.16	5.04	6.72	2.80	3.92	4.48

TP	วันที่เก็บ								
จุดที่	28/5/2010	31/5/2010	14/6/2010	18/6/2010	21/6/2010	25/6/2010	28/6/2010	9/7/2010	12/7/2010
1.บ่อพักน้ำเสีย	6.93	5.16	5.22	4.33	3.20	8.50	9.57	7.22	5.66
2.จุดออกบ่อ 1	3.80	8.80	5.35	4.50	1.95	5.60	6.76	4.95	5.15
3.จุดออกบ่อ 2	2.23	4.31	3.60	3.59	3.16	3.14	3.57	3.74	5.05
4.จุดออกบ่อ 3	0.98	2.91	1.36	1.47	1.41	3.33	1.97	2.42	2.25
5.จุดออกบ่อ 4	0.31	1.58	0.71	0.57	1.22	1.09	0.94	1.27	1.91
6.จุดออกบ่อ 5	0.21	0.72	0.90	0.28	1.06	0.65	0.72	0.83	0.97
7.บ่อเก็บน้ำ	0.60	0.70	1.07	0.50	0.65	1.12	0.76	1.59	0.97

BOD	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	38.31	22.52	21.77	60.07	16.54	31.43
2.จุดออกบ่อ 1	17.53	7.51	7.26	24.79	10.28	20.19
3.จุดออกบ่อ 2	10.84	5.47	5.29	16.13	5.55	8.91
4.จุดออกบ่อ 3	7.12	3.99	3.86	10.98	3.26	4.58
5.จุดออกบ่อ 4	6.03	2.94	2.84	8.87	3.18	4.89
6.จุดออกบ่อ 5	9.23	4.10	3.97	13.19	5.26	9.09
7.บ่อเก็บน้ำ	8.92	3.97	3.84	12.76	5.09	7.21

TSS	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	28.78	19.19	18.56	47.33	10.22	25.20
2.จุดออกบ่อ 1	15.11	8.43	8.15	23.26	6.96	12.67
3.จุดออกบ่อ 2	25.56	27.36	26.45	52.01	-0.90	13.71
4.จุดออกบ่อ 3	12.33	7.84	7.58	19.91	4.75	10.13
5.จุดออกบ่อ 4	15.44	13.61	13.16	28.60	2.29	9.57
6.จุดออกบ่อ 5	40.00	27.73	26.81	66.81	13.19	38.40
7.บ่อเก็บน้ำ	15.78	13.51	13.06	28.83	2.72	8.80

pH	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	7.21	0.15	0.15	7.36	7.06	7.21
2.จุดออกบ่อ 1	7.40	0.19	0.18	7.58	7.22	7.34
3.จุดออกบ่อ 2	7.55	0.11	0.11	7.66	7.44	7.55
4.จุดออกบ่อ 3	7.57	0.23	0.22	7.79	7.35	7.54
5.จุดออกบ่อ 4	7.49	0.33	0.31	7.81	7.18	7.38
6.จุดออกบ่อ 5	7.49	0.20	0.19	7.68	7.31	7.46
7.บ่อเก็บน้ำ	7.64	0.41	0.39	8.03	7.24	7.60

TC	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml
1.บ่อพักน้ำเสีย	18400000.00	27889827.89	21475167.48	39875167.48	-3075167.48	9450000.00
2.จุดออกบ่อ 1	14734444.44	29830607.65	22969567.89	37704012.34	-8235123.45	5326250.00
3.จุดออกบ่อ 2	3946222.22	11645412.15	8966967.36	12913189.58	-5020745.13	64500.00
4.จุดออกบ่อ 3	12441.58	12088.55	9308.18	21749.76	3133.39	9000.00
5.จุดออกบ่อ 4	62504.78	87248.95	67181.69	129686.47	-4676.91	23220.43
6.จุดออกบ่อ 5	12917.78	14518.29	11179.09	24096.86	1738.69	9428.57
7.บ่อเก็บน้ำ	6771.11	8551.72	6584.82	13355.94	186.29	1490.00

FC	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml	MPN/100ml
1.บ่อพักน้ำเสีย	7833333.33	9335684.23	7188476.86	15021810.19	644856.48	5742857.14
2.จุดออกบ่อ 1	13167777.78	29360672.16	22607717.56	35775495.34	-9439939.78	3563750.00
3.จุดออกบ่อ 2	3943333.33	11646485.17	8967793.58	12911126.91	-5024460.25	61250.00
4.จุดออกบ่อ 3	7633.33	9949.87	7661.40	15294.74	-28.07	3100.00
5.จุดออกบ่อ 4	24476.11	51358.78	39546.26	64022.37	-15070.15	7535.63
6.จุดออกบ่อ 5	4011.11	3100.89	2387.68	6398.80	1623.43	3150.00
7.บ่อเก็บน้ำ	3058.89	7858.05	6050.70	9109.59	-2991.81	441.25

DO	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.จุดออกบ่อ 1	0.19	0.29	0.28	0.48	-0.09	0.19
3.จุดออกบ่อ 2	1.67	0.83	0.80	2.48	0.87	1.66
4.จุดออกบ่อ 3	1.93	0.86	0.83	2.77	1.10	2.05
5.จุดออกบ่อ 4	2.52	1.04	1.00	3.52	1.51	2.83
6.จุดออกบ่อ 5	4.12	2.14	2.07	6.19	2.04	3.98
7.บ่อเก็บน้ำ	1.07	0.62	0.60	1.67	0.48	0.98

NH-3 N	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	49.47	13.51	13.06	62.53	36.41	45.59
2.จุดออกบ่อ 1	42.50	11.83	11.43	53.93	31.06	43.06
3.จุดออกบ่อ 2	26.57	9.36	9.05	35.62	17.52	23.59
4.จุดออกบ่อ 3	10.73	4.75	4.59	15.32	6.15	9.72
5.จุดออกบ่อ 4	4.45	3.57	3.45	7.90	1.00	3.96
6.จุดออกบ่อ 5	2.61	2.43	2.35	4.97	0.26	1.93
7.บ่อเก็บน้ำ	3.55	2.24	2.17	5.71	1.38	3.40

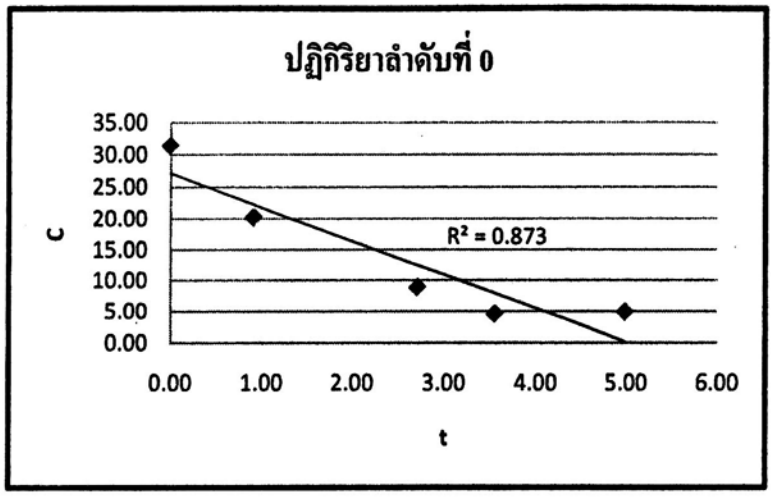
NO3	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	0.27	0.19	0.19	0.46	0.09	0.20
2.จุดออกบ่อ 1	0.34	0.28	0.27	0.61	0.07	0.19
3.จุดออกบ่อ 2	0.60	0.33	0.32	0.92	0.29	0.39
4.จุดออกบ่อ 3	0.69	0.20	0.20	0.89	0.49	0.61
5.จุดออกบ่อ 4	0.68	0.33	0.32	1.00	0.36	0.60
6.จุดออกบ่อ 5	0.55	0.32	0.31	0.86	0.24	0.54
7.บ่อเก็บน้ำ	0.80	0.28	0.27	1.07	0.53	0.64

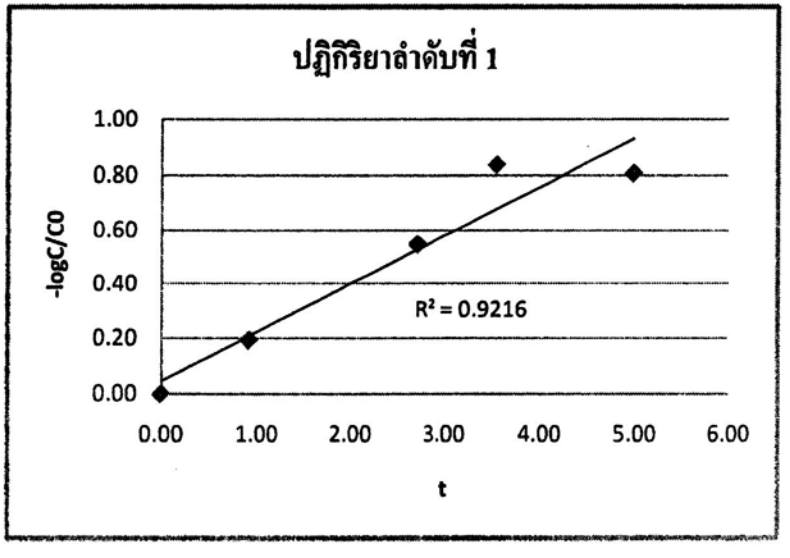
TKN	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	56.81	11.43	11.04	67.85	45.76	58.71
2.จุดออกบ่อ 1	50.52	12.09	11.69	62.21	38.84	52.08
3.จุดออกบ่อ 2	31.67	10.66	10.31	41.98	21.36	29.60
4.จุดออกบ่อ 3	14.75	7.69	7.43	22.18	7.31	12.53
5.จุดออกบ่อ 4	7.22	4.69	4.53	11.75	2.69	6.32
6.จุดออกบ่อ 5	4.92	2.87	2.77	7.69	2.14	4.20
7.บ่อเก็บน้ำ	5.16	1.98	1.91	7.07	3.25	5.60

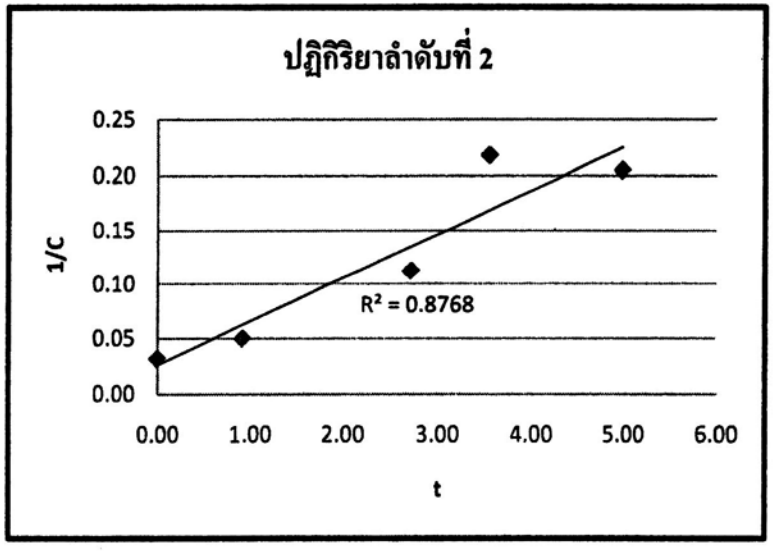
TP	ค่าเฉลี่ย	SD	a/2	Mean+a/2	Mean-a/2	ค่าเฉลี่ย @ 98%
จุดที่	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.บ่อพักน้ำเสีย	6.20	2.03	1.96	8.16	4.23	5.75
2.จุดออกบ่อ 1	5.21	1.89	1.83	7.04	3.38	5.16
3.จุดออกบ่อ 2	3.60	0.78	0.76	4.36	2.84	3.47
4.จุดออกบ่อ 3	2.01	0.78	0.76	2.77	1.25	1.81
5.จุดออกบ่อ 4	1.07	0.50	0.48	1.55	0.58	0.97
6.จุดออกบ่อ 5	0.70	0.29	0.28	0.99	0.42	0.76
7.บ่อเก็บน้ำ	0.88	0.34	0.33	1.21	0.56	0.74

ภาคผนวก ข
การเลือกลำดับปฏิกิริยา

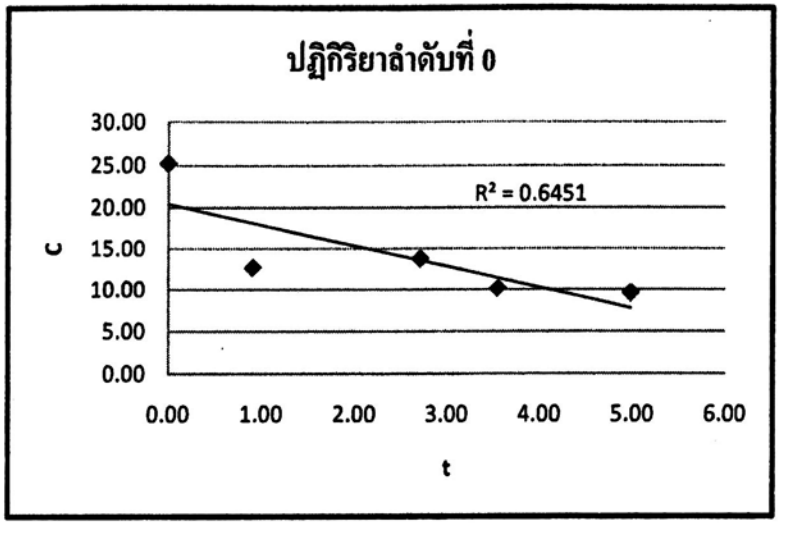
BOD							
บ่อที่	V	Qin	t	total t	C in	-logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	31.43	0.00	0.03
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	20.19	0.19	0.05
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	8.91	0.55	0.11
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	4.58	0.84	0.22
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	4.89	0.81	0.20
Out			4.31	9.29	9.09	0.54	0.11

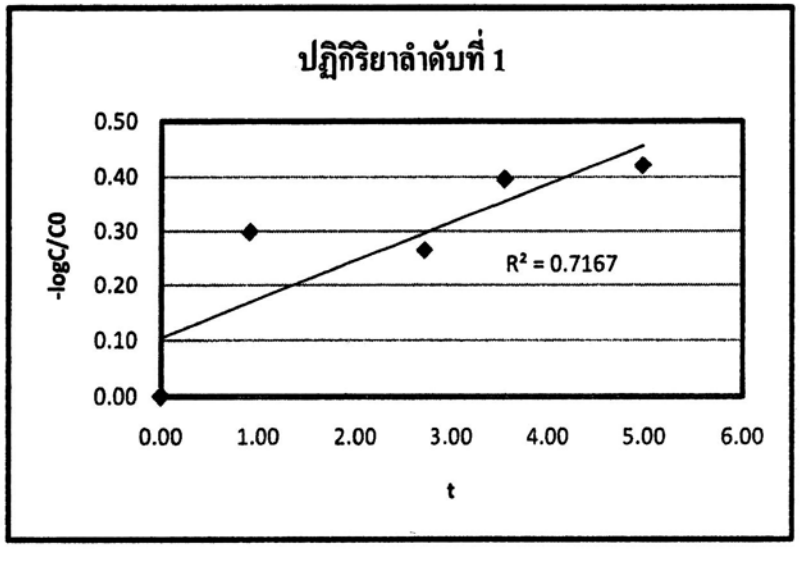


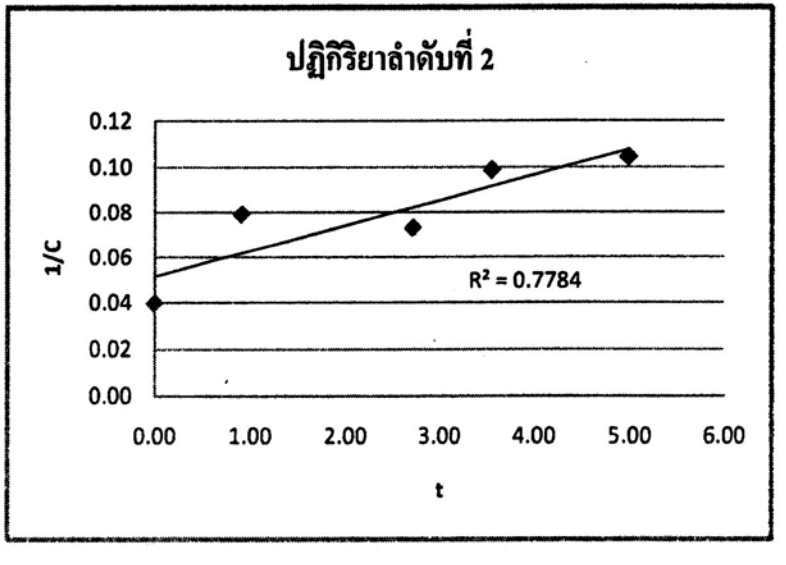




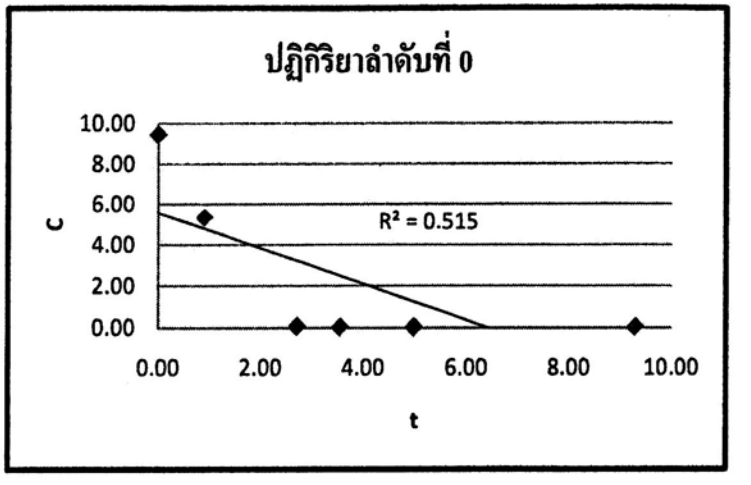
TSS							
บ่อที่	V	Qin	t	total t	C in	-logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	25.20	0.00	0.04
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	12.67	0.30	0.08
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	13.71	0.26	0.07
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	10.13	0.40	0.10
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	9.57	0.42	0.10

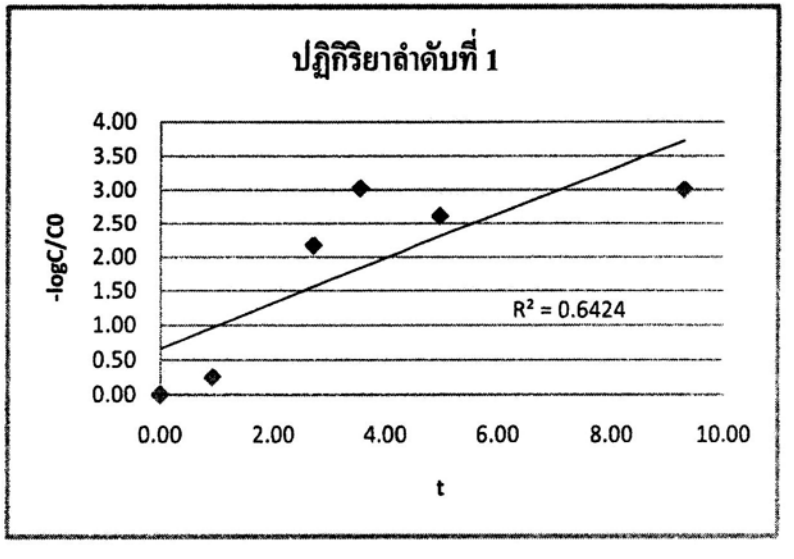


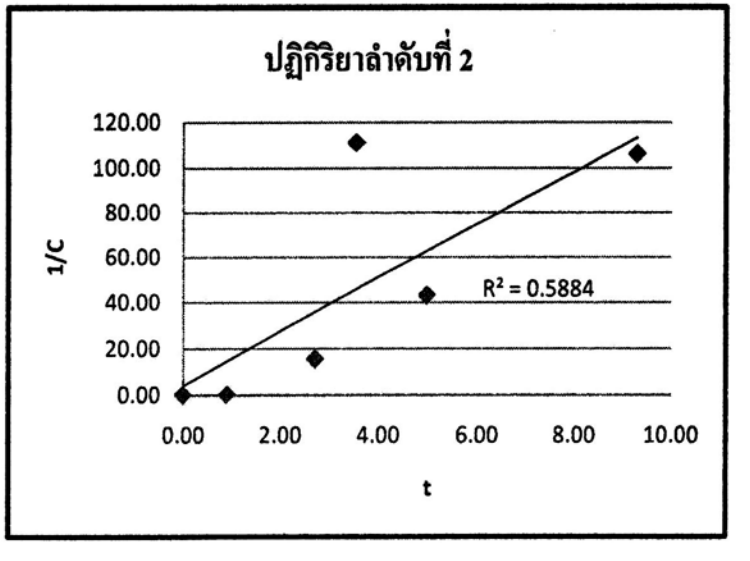




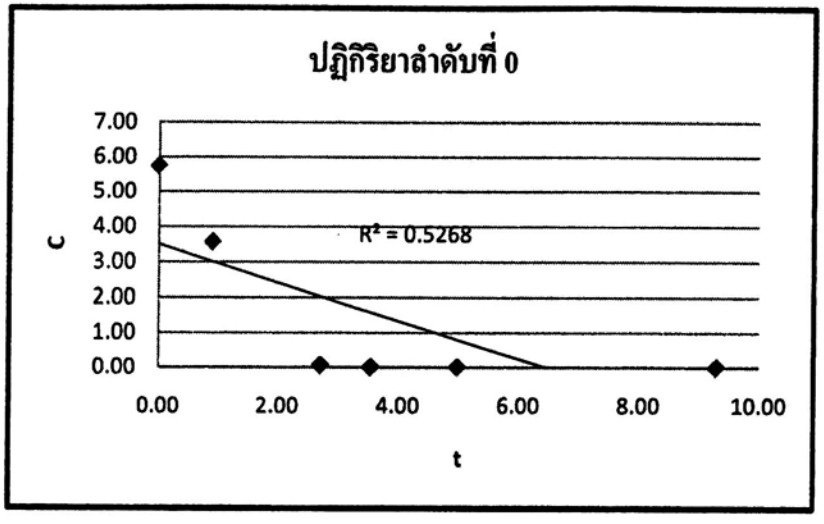
TC							
บ่อที่	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	9.45	0.00	0.11
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	5.33	0.25	0.19
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	0.06	2.17	15.50
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	0.01	3.02	111.11
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	0.02	2.61	43.07
Out			4.31	9.29	0.01	3.00	106.06

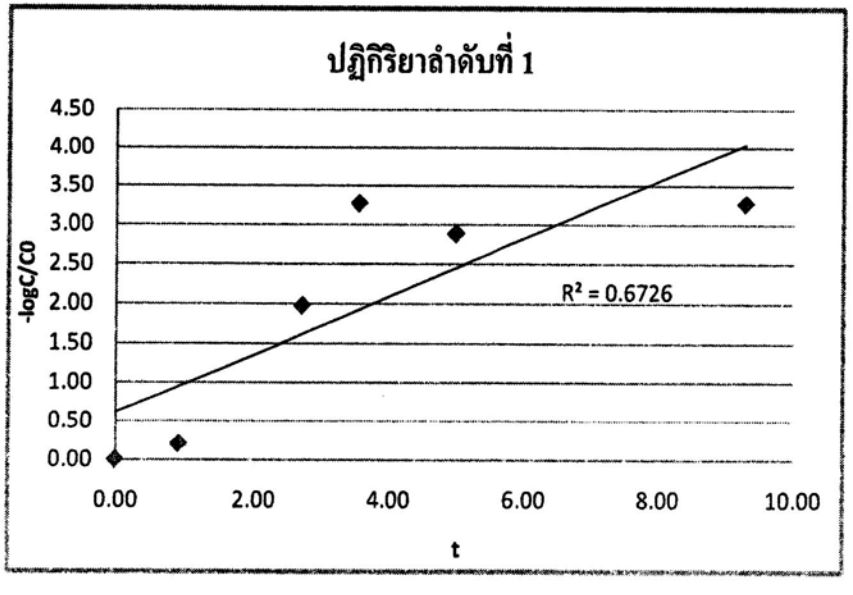


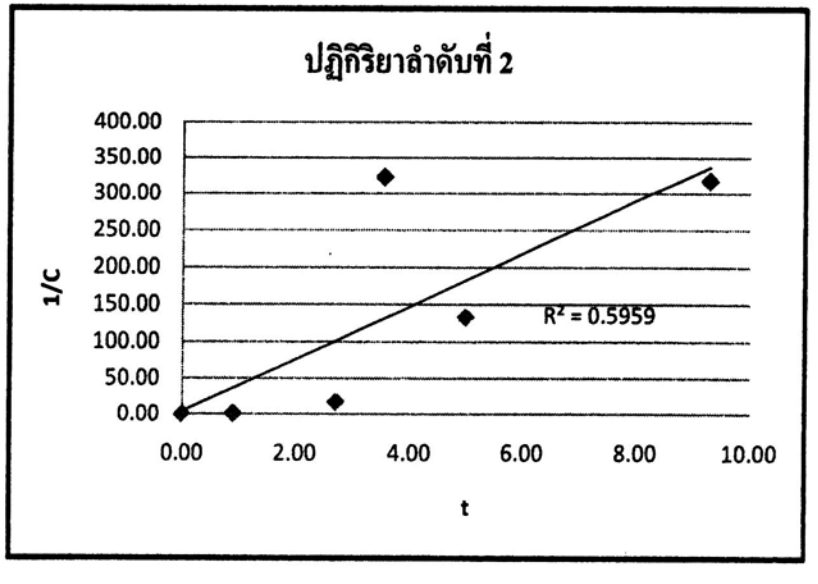




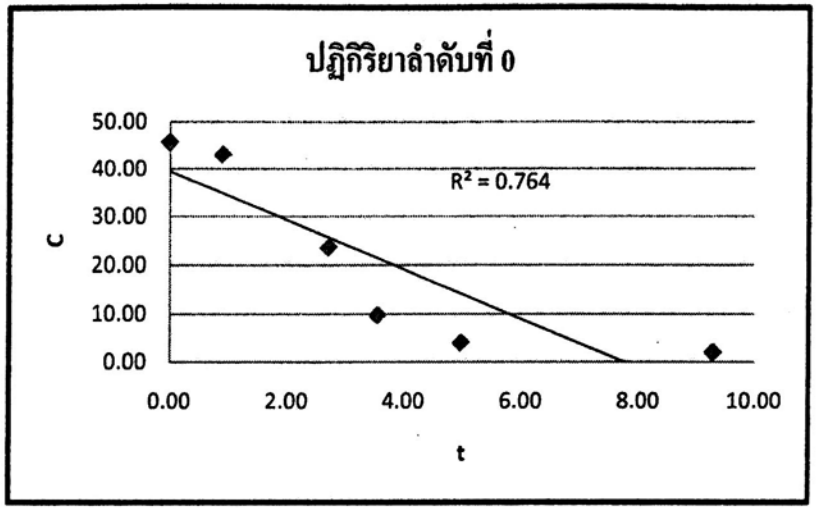
FC							
	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	5.74	0.00	0.17
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	3.56	0.21	0.28
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	0.06	1.97	16.33
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	0.00	3.27	322.58
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	0.01	2.88	132.70
Out			4.31	9.29	0.00	3.26	317.46

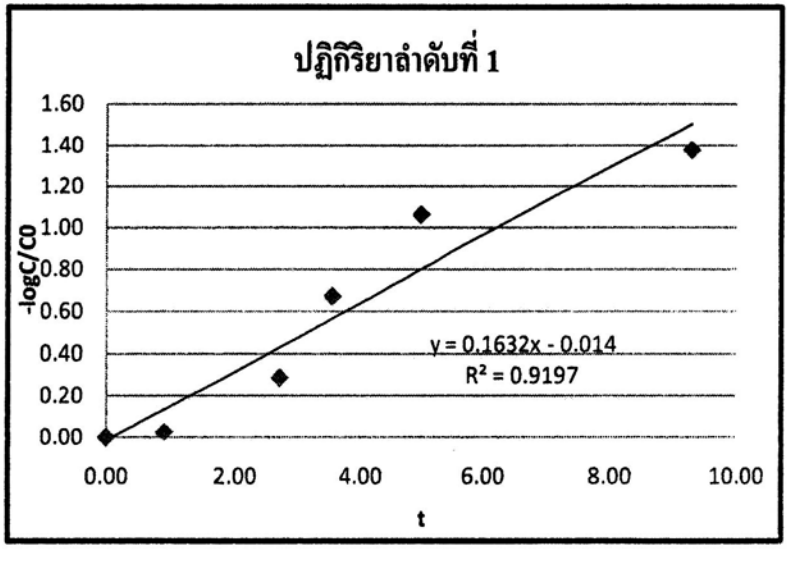


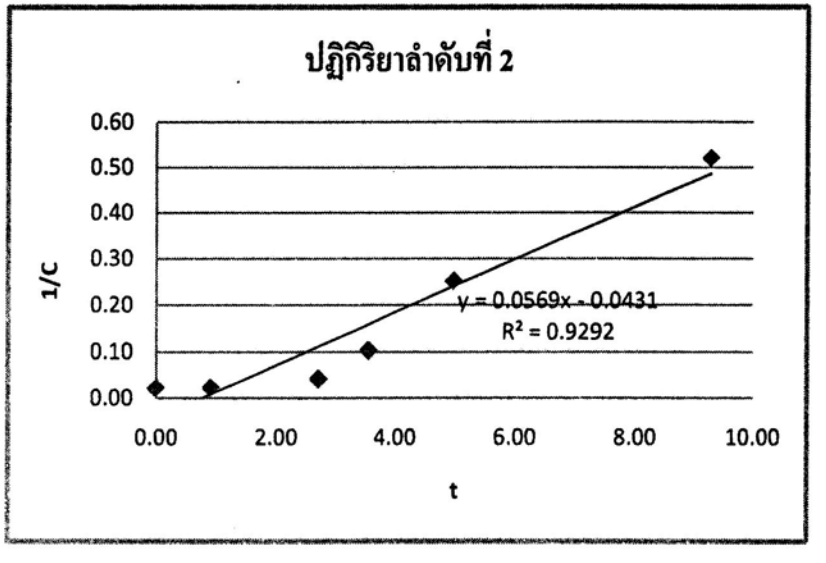




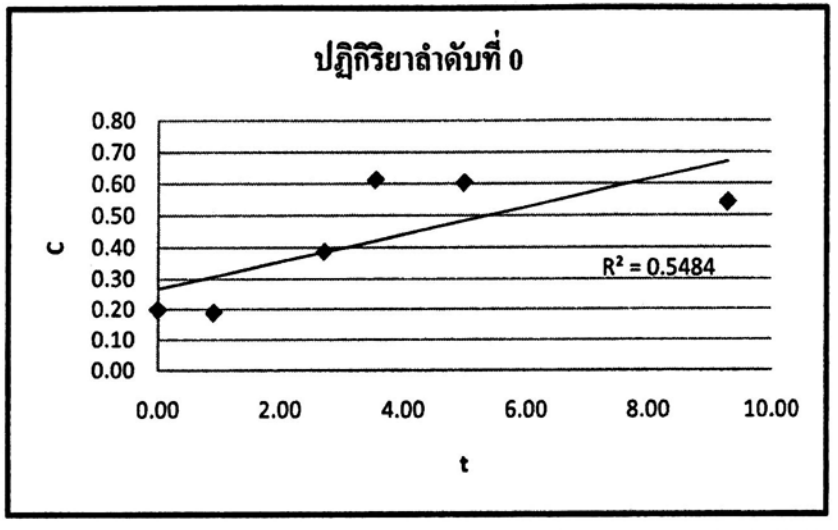
NH-3 N							
	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	45.59	0.00	0.02
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	43.06	0.02	0.02
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	23.59	0.29	0.04
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	9.72	0.67	0.10
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	3.96	1.06	0.25
Out			4.31	9.29	1.93	1.37	0.52

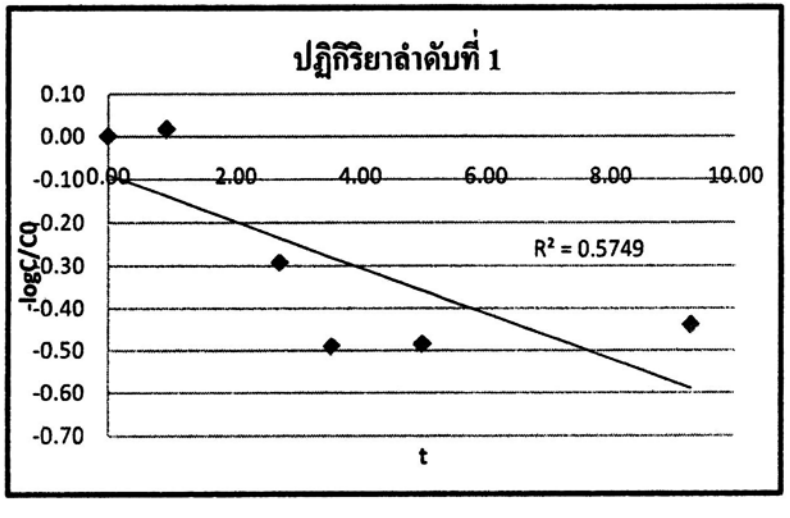


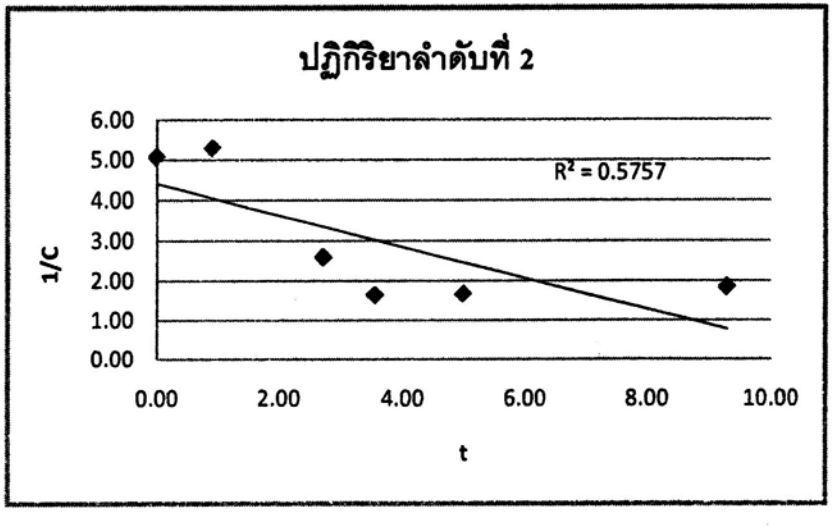




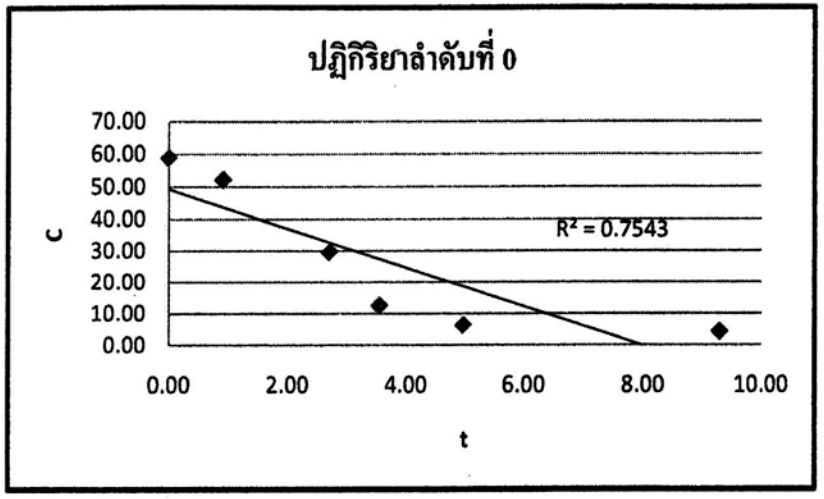
NO3-							
	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	0.20	0.00	5.08
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	0.19	0.02	5.28
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	0.39	-0.29	2.59
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	0.61	-0.49	1.64
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	0.60	-0.48	1.66
Out			4.31	9.29	0.54	-0.44	1.85

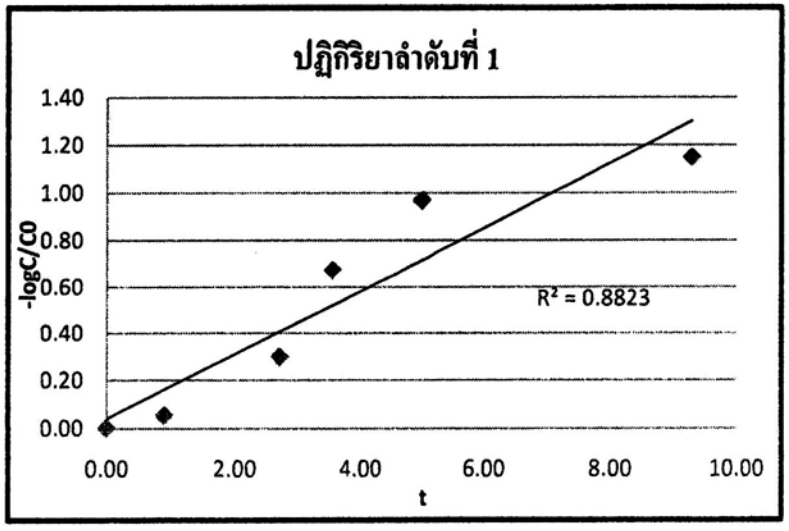


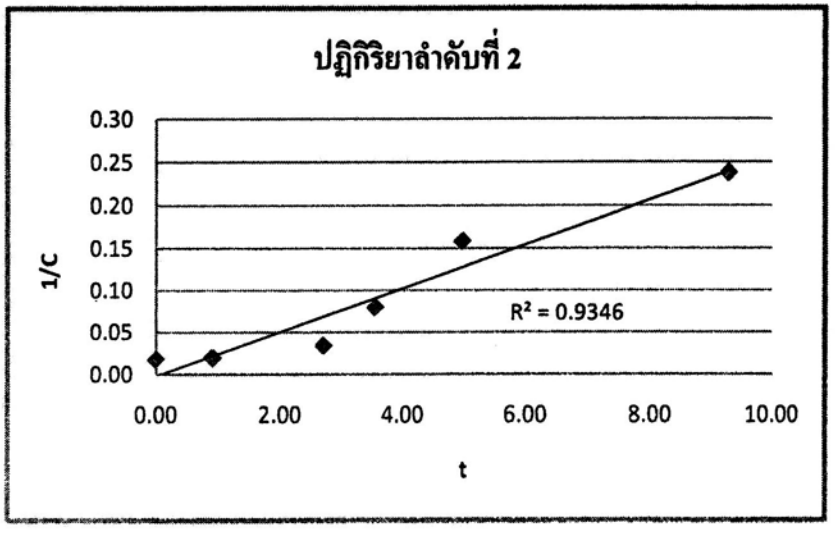




TKN							
	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	58.71	0.00	0.02
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	52.08	0.05	0.02
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	29.60	0.30	0.03
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	12.53	0.67	0.08
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	6.32	0.97	0.16
Out			4.31	9.29	4.20	1.15	0.24

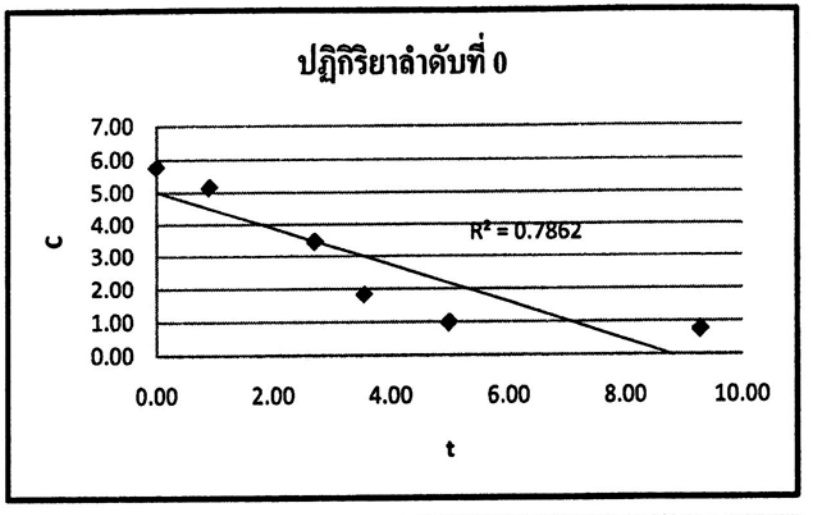


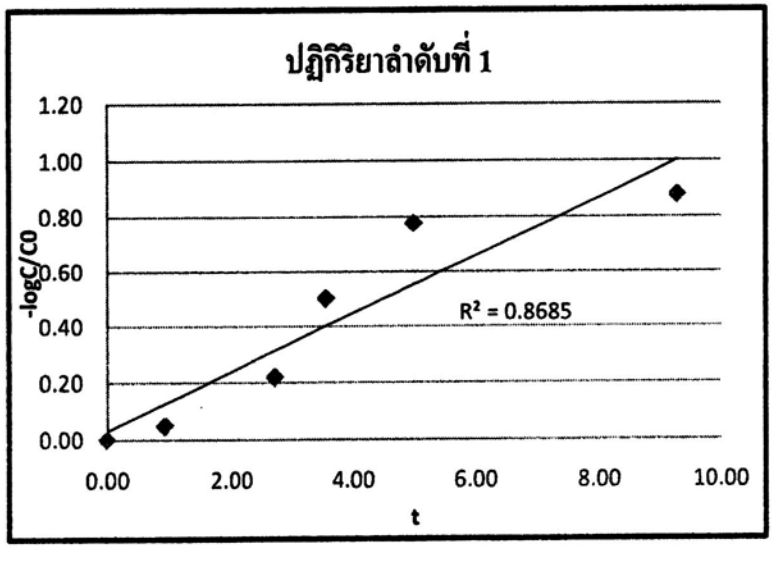


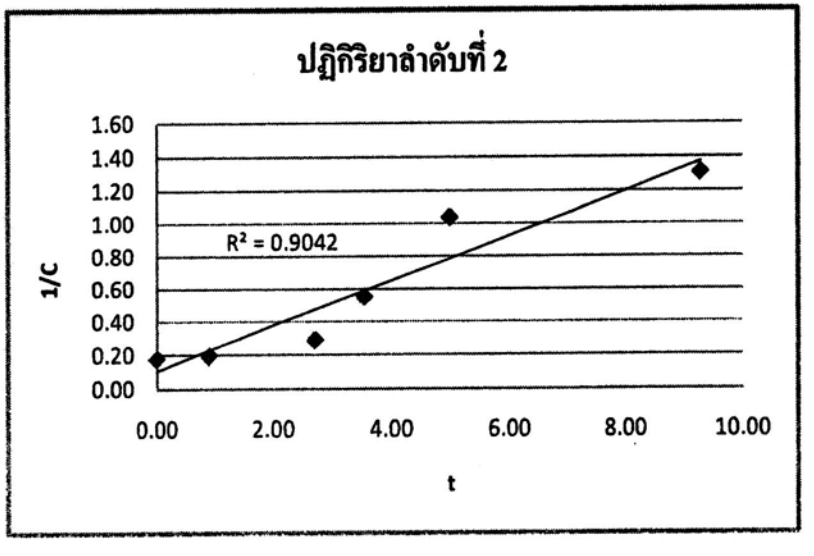


KNOWLEDGE CENTRE (KLC)
ศูนย์ความรู้ (ศคร.)

TP							
	V	Qin	t	total t	C in	logC/C0	1/C
บ่อที่ 1	0.29	0.32	0.00	0.00	5.75	0.00	0.17
บ่อที่ 2	0.57	0.32	0.91	0.91	5.16	0.05	0.19
บ่อที่ 3	0.27	0.32	1.80	2.71	3.47	0.22	0.29
บ่อที่ 4	0.46	0.32	0.84	3.55	1.81	0.50	0.55
บ่อที่ 5	1.37	0.32	1.43	4.99	0.97	0.78	1.04
Out			4.31	9.29	0.76	0.88	1.31







ภาคผนวก ค
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.BOD

1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	50			0		50			0		50			0
50	49	0.486	0.04	0.04	50	49	0.486	0.08	0.08	50	49	0.486	0.17	0.17
49	48	0.486	0.04	0.08	49	48	0.486	0.08	0.17	49	48	0.486	0.17	0.34
48	47	0.486	0.04	0.13	48	47	0.486	0.09	0.25	48	47	0.486	0.17	0.51
47	46	0.486	0.04	0.17	47	46	0.486	0.09	0.34	47	46	0.486	0.18	0.69
46	45	0.486	0.05	0.22	46	45	0.486	0.09	0.43	46	45	0.486	0.18	0.87
45	44	0.486	0.05	0.26	45	44	0.486	0.09	0.53	45	44	0.486	0.19	1.05
44	43	0.486	0.05	0.31	44	43	0.486	0.09	0.62	44	43	0.486	0.19	1.24
43	42	0.486	0.05	0.36	43	42	0.486	0.10	0.72	43	42	0.486	0.19	1.44
42	41	0.486	0.05	0.41	42	41	0.486	0.10	0.82	42	41	0.486	0.20	1.63
41	40	0.486	0.05	0.46	41	40	0.486	0.10	0.92	41	40	0.486	0.20	1.84
40	39	0.486	0.05	0.51	40	39	0.486	0.10	1.02	40	39	0.486	0.21	2.05
39	38	0.486	0.05	0.57	39	38	0.486	0.11	1.13	39	38	0.486	0.21	2.26
38	37	0.486	0.05	0.62	38	37	0.486	0.11	1.24	38	37	0.486	0.22	2.48
37	36	0.486	0.06	0.68	37	36	0.486	0.11	1.35	37	36	0.486	0.23	2.71
36	35	0.486	0.06	0.73	36	35	0.486	0.12	1.47	36	35	0.486	0.23	2.94
35	34	0.486	0.06	0.79	35	34	0.486	0.12	1.59	35	34	0.486	0.24	3.18
34	33	0.486	0.06	0.86	34	33	0.486	0.12	1.71	34	33	0.486	0.25	3.42
33	32	0.486	0.06	0.92	33	32	0.486	0.13	1.84	33	32	0.486	0.25	3.68
32	31	0.486	0.07	0.98	32	31	0.486	0.13	1.97	32	31	0.486	0.26	3.94
31	30	0.486	0.07	1.05	31	30	0.486	0.14	2.10	31	30	0.486	0.27	4.21
30	29	0.561	0.03	1.08	30	29	0.561	0.06	2.16	30	29	0.561	0.12	4.33
29	28	0.561	0.03	1.11	29	28	0.561	0.06	2.23	29	28	0.561	0.13	4.45
28	27	0.561	0.03	1.15	28	27	0.561	0.06	2.29	28	27	0.561	0.13	4.58
27	26	0.561	0.03	1.18	27	26	0.561	0.07	2.36	27	26	0.561	0.13	4.72
26	25	0.561	0.03	1.21	26	25	0.561	0.07	2.43	26	25	0.561	0.14	4.86
25	24	0.561	0.04	1.25	25	24	0.561	0.07	2.50	25	24	0.561	0.15	5.00
24	23	0.561	0.04	1.29	24	23	0.561	0.08	2.58	24	23	0.561	0.15	5.15
23	22	0.561	0.04	1.33	23	22	0.561	0.08	2.66	23	22	0.561	0.16	5.31
22	21	0.561	0.04	1.37	22	21	0.561	0.08	2.74	22	21	0.561	0.17	5.48
21	20	0.561	0.04	1.41	21	20	0.561	0.09	2.83	21	20	0.561	0.17	5.65
20	19	0.561	0.05	1.46	20	19	0.561	0.09	2.92	20	19	0.561	0.18	5.83
19	18	0.561	0.05	1.51	19	18	0.561	0.10	3.01	19	18	0.561	0.19	6.03
18	17	0.561	0.05	1.56	18	17	0.561	0.10	3.12	18	17	0.561	0.20	6.23

17	16	0.561	0.05	1.61	17	16	0.561	0.11	3.22	17	16	0.561	0.22	6.45
16	15	0.561	0.06	1.67	16	15	0.561	0.11	3.34	16	15	0.561	0.23	6.68
15	14	0.561	0.06	1.73	15	14	0.561	0.12	3.46	15	14	0.561	0.25	6.92
14	13	0.561	0.07	1.80	14	13	0.561	0.13	3.59	14	13	0.561	0.26	7.19
13	12	0.561	0.07	1.87	13	12	0.561	0.14	3.74	13	12	0.561	0.29	7.47
12	11	0.561	0.08	1.95	12	11	0.561	0.16	3.89	12	11	0.561	0.31	7.78
11	10	0.561	0.08	2.03	11	10	0.561	0.17	4.06	11	10	0.561	0.34	8.12
10	9	0.561	0.09	2.12	10	9	0.561	0.19	4.25	10	9	0.561	0.38	8.50
9	8	0.561	0.10	2.23	9	8	0.561	0.21	4.46	9	8	0.561	0.42	8.92
8	7	0.561	0.12	2.35	8	7	0.561	0.24	4.70	8	7	0.561	0.48	9.39
7	6	0.561	0.14	2.49	7	6	0.561	0.27	4.97	7	6	0.561	0.55	9.94
6	5	0.561	0.16	2.65	6	5	0.561	0.32	5.30	6	5	0.561	0.65	10.59
5	4	0.561	0.20	2.85	5	4	0.561	0.40	5.69	5	4	0.561	0.80	11.39
4	3	0.561	0.26	3.10	4	3	0.561	0.51	6.21	4	3	0.561	1.02	12.41
3	2	0.561	0.36	3.46	3	2	0.561	0.72	6.93	3	2	0.561	1.44	13.86

2. TSS

1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	30			0		30			0		30			0
30	29	0.043	0.03	0.03	30	29	0.043	0.05	0.05	30	29	0.043	0.11	0.11
29	28	0.043	0.03	0.06	29	28	0.043	0.06	0.11	29	28	0.043	0.11	0.22
28	27	0.043	0.03	0.09	28	27	0.043	0.06	0.17	28	27	0.043	0.12	0.34
27	26	0.043	0.03	0.12	27	26	0.043	0.07	0.24	27	26	0.043	0.13	0.48
26	25	0.043	0.04	0.15	26	25	0.043	0.07	0.31	26	25	0.043	0.14	0.62
25	24	0.043	0.04	0.19	25	24	0.043	0.08	0.39	25	24	0.043	0.15	0.77
24	23	0.043	0.04	0.24	24	23	0.043	0.08	0.47	24	23	0.043	0.17	0.94
23	22	0.043	0.05	0.28	23	22	0.043	0.09	0.56	23	22	0.043	0.18	1.13
22	21	0.043	0.05	0.33	22	21	0.043	0.10	0.66	22	21	0.043	0.20	1.33
21	20	0.043	0.06	0.39	21	20	0.043	0.11	0.77	21	20	0.043	0.22	1.55

3. TC

1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	1.00E+07			0		1.00E+07			0		1.00E+07			0
1.00E-07	9.80E+06	0.629	0.03	0.03	1.00E+07	9.80E+06	0.629	0.06	0.06	1.00E+07	9.80E+06	0.629	0.13	0.13
9.80E+06	9.60E+06	0.629	0.03	0.06	9.80E+06	9.60E+06	0.629	0.07	0.13	9.80E+06	9.60E+06	0.629	0.13	0.26
9.60E+06	9.40E+06	0.629	0.03	0.10	9.60E+06	9.40E+06	0.629	0.07	0.20	9.60E+06	9.40E+06	0.629	0.13	0.39
9.40E+06	9.20E+06	0.629	0.03	0.13	9.40E+06	9.20E+06	0.629	0.07	0.27	9.40E+06	9.20E+06	0.629	0.14	0.53
9.20E+06	9.00E+06	0.629	0.03	0.17	9.20E+06	9.00E+06	0.629	0.07	0.34	9.20E+06	9.00E+06	0.629	0.14	0.67
9.00E+06	8.80E+06	0.629	0.04	0.20	9.00E+06	8.80E+06	0.629	0.07	0.41	9.00E+06	8.80E+06	0.629	0.14	0.81
8.80E+06	8.60E+06	0.629	0.04	0.24	8.80E+06	8.60E+06	0.629	0.07	0.48	8.80E+06	8.60E+06	0.629	0.15	0.96
8.60E+06	8.40E+06	0.629	0.04	0.28	8.60E+06	8.40E+06	0.629	0.07	0.55	8.60E+06	8.40E+06	0.629	0.15	1.11
8.40E+06	8.20E+06	0.629	0.04	0.32	8.40E+06	8.20E+06	0.629	0.08	0.63	8.40E+06	8.20E+06	0.629	0.15	1.26
8.20E+06	8.00E+06	0.629	0.04	0.35	8.20E+06	8.00E+06	0.629	0.08	0.71	8.20E+06	8.00E+06	0.629	0.16	1.42
8.00E+06	7.80E+06	0.629	0.04	0.40	8.00E+06	7.80E+06	0.629	0.08	0.79	8.00E+06	7.80E+06	0.629	0.16	1.58
7.80E+06	7.60E+06	0.629	0.04	0.44	7.80E+06	7.60E+06	0.629	0.08	0.87	7.80E+06	7.60E+06	0.629	0.17	1.75
7.60E+06	7.40E+06	0.629	0.04	0.48	7.60E+06	7.40E+06	0.629	0.08	0.96	7.60E+06	7.40E+06	0.629	0.17	1.92
7.40E+06	7.20E+06	0.629	0.04	0.52	7.40E+06	7.20E+06	0.629	0.09	1.05	7.40E+06	7.20E+06	0.629	0.17	2.09
7.20E+06	7.00E+06	0.629	0.04	0.57	7.20E+06	7.00E+06	0.629	0.09	1.13	7.20E+06	7.00E+06	0.629	0.18	2.27
7.00E+06	6.80E+06	0.629	0.05	0.61	7.00E+06	6.80E+06	0.629	0.09	1.23	7.00E+06	6.80E+06	0.629	0.18	2.45
6.80E+06	6.60E+06	0.629	0.05	0.66	6.80E+06	6.60E+06	0.629	0.09	1.32	6.80E+06	6.60E+06	0.629	0.19	2.64
6.60E+06	6.40E+06	0.629	0.05	0.71	6.60E+06	6.40E+06	0.629	0.10	1.42	6.60E+06	6.40E+06	0.629	0.20	2.84
6.40E+06	6.20E+06	0.629	0.05	0.76	6.40E+06	6.20E+06	0.629	0.10	1.52	6.40E+06	6.20E+06	0.629	0.20	3.04

6.20E-06	6.00E+06	0.629	0.05	0.81	6.20E+06	6.00E+06	0.629	0.10	1.63	6.20E+06	6.00E+06	0.629	0.21	3.25
6.00E-06	5.80E+06	0.629	0.05	0.87	6.00E+06	5.80E+06	0.629	0.11	1.73	6.00E+06	5.80E+06	0.629	0.22	3.47
5.80E+06	5.60E+06	0.629	0.06	0.92	5.80E+06	5.60E+06	0.629	0.11	1.84	5.80E+06	5.60E+06	0.629	0.22	3.69
5.60E+06	5.40E+06	0.629	0.06	0.98	5.60E+06	5.40E+06	0.629	0.12	1.96	5.60E+06	5.40E-06	0.629	0.23	3.92
5.40E+06	5.20E+06	0.629	0.06	1.04	5.40E+06	5.20E+06	0.629	0.12	2.08	5.40E+06	5.20E+06	0.629	0.24	4.16
5.20E+06	5.00E+06	0.629	0.06	1.10	5.20E+06	5.00E+06	0.629	0.12	2.21	5.20E+06	5.00E+06	0.629	0.25	4.41
5.00E+06	4.80E+06	0.756	0.03	1.13	5.00E+06	4.80E+06	0.756	0.05	2.26	5.00E+06	4.80E+06	0.756	0.11	4.52
4.80E+06	4.60E+06	0.756	0.03	1.16	4.80E+06	4.60E+06	0.756	0.06	2.32	4.80E+06	4.60E+06	0.756	0.11	4.63
4.60E+06	4.40E+06	0.756	0.03	1.19	4.60E+06	4.40E+06	0.756	0.06	2.37	4.60E+06	4.40E+06	0.756	0.12	4.75
4.40E+06	4.20E+06	0.756	0.03	1.22	4.40E+06	4.20E+06	0.756	0.06	2.44	4.40E+06	4.20E+06	0.756	0.12	4.87
4.20E+06	4.00E+06	0.756	0.03	1.25	4.20E+06	4.00E+06	0.756	0.06	2.50	4.20E+06	4.00E+06	0.756	0.13	5.00
4.00E+06	3.80E+06	0.756	0.03	1.28	4.00E+06	3.80E+06	0.756	0.07	2.57	4.00E+06	3.80E+06	0.756	0.14	5.14
3.80E+06	3.60E+06	0.756	0.04	1.32	3.80E+06	3.60E+06	0.756	0.07	2.64	3.80E+06	3.60E+06	0.756	0.14	5.28
3.60E+06	3.40E+06	0.756	0.04	1.36	3.60E+06	3.40E+06	0.756	0.08	2.72	3.60E+06	3.40E+06	0.756	0.15	5.43
3.40E+06	3.20E+06	0.756	0.04	1.40	3.40E+06	3.20E+06	0.756	0.08	2.80	3.40E+06	3.20E+06	0.756	0.16	5.59
3.20E+06	3.00E+06	0.756	0.04	1.44	3.20E+06	3.00E+06	0.756	0.09	2.88	3.20E+06	3.00E+06	0.756	0.17	5.76
3.00E+06	2.80E+06	0.756	0.05	1.49	3.00E+06	2.80E+06	0.756	0.09	2.97	3.00E+06	2.80E+06	0.756	0.18	5.94
2.80E+06	2.60E+06	0.756	0.05	1.53	2.80E+06	2.60E+06	0.756	0.10	3.07	2.80E+06	2.60E+06	0.756	0.20	6.14
2.60E-06	2.40E+06	0.756	0.05	1.59	2.60E+06	2.40E-06	0.756	0.11	3.18	2.60E+06	2.40E+06	0.756	0.21	6.35
2.40E+06	2.20E+06	0.756	0.06	1.65	2.40E-06	2.20E-06	0.756	0.12	3.29	2.40E+06	2.20E+06	0.756	0.23	6.58
2.20E-06	2.00E-06	0.756	0.06	1.71	2.20E+06	2.00E-06	0.756	0.13	3.42	2.20E-06	2.00E-06	0.756	0.25	6.83
2.00E+06	1.80E-06	0.756	0.07	1.78	2.00E+06	1.80E-06	0.756	0.14	3.56	2.00E+06	1.80E+06	0.756	0.28	7.11
1.80E+06	1.60E+06	0.756	0.08	1.86	1.80E+06	1.60E+06	0.756	0.16	3.71	1.80E+06	1.60E+06	0.756	0.31	7.42

1.60E+06	1.40E+06	0.756	0.09	1.94	1.60E+06	1.40E+06	0.756	0.18	3.89	1.60E+06	1.40E+06	0.756	0.35	7.78
1.40E+06	1.20E+06	0.756	0.10	2.05	1.40E+06	1.20E+06	0.756	0.20	4.09	1.40E+06	1.20E+06	0.756	0.41	8.18
1.20E+06	1.00E+06	0.756	0.12	2.17	1.20E+06	1.00E+06	0.756	0.24	4.33	1.20E+06	1.00E+06	0.756	0.48	8.67
1.00E+06	8.00E+05	0.756	0.15	2.31	1.00E+06	8.00E+05	0.756	0.30	4.63	1.00E+06	8.00E+05	0.756	0.59	9.26
8.00E+05	6.00E+05	0.756	0.19	2.50	8.00E+05	6.00E+05	0.756	0.38	5.01	8.00E+05	6.00E+05	0.756	0.76	10.02
6.00E+05	4.00E+05	0.756	0.27	2.77	6.00E+05	4.00E+05	0.756	0.54	5.55	6.00E+05	4.00E+05	0.756	1.07	11.09
4.00E+05	2.00E+05	0.756	0.46	3.23	4.00E+05	2.00E+05	0.756	0.92	6.46	4.00E+05	2.00E+05	0.756	1.83	12.92
2.00E+05	1.90E+05	0.756	0.03	3.27	2.00E+05	1.90E+05	0.756	0.07	6.53	2.00E+05	1.90E+05	0.756	0.14	13.06
1.90E+05	1.80E+05	0.756	0.04	3.30	1.90E+05	1.80E+05	0.756	0.07	6.60	1.90E+05	1.80E+05	0.756	0.14	13.20
1.80E+05	1.70E+05	0.756	0.04	3.34	1.80E+05	1.70E+05	0.756	0.08	6.68	1.80E+05	1.70E+05	0.756	0.15	13.35
1.70E+05	1.60E+05	0.756	0.04	3.38	1.70E+05	1.60E+05	0.756	0.08	6.76	1.70E+05	1.60E+05	0.756	0.16	13.51
1.60E+05	1.50E+05	0.756	0.04	3.42	1.60E+05	1.50E+05	0.756	0.09	6.84	1.60E+05	1.50E+05	0.756	0.17	13.69
1.50E+05	1.40E+05	0.756	0.05	3.47	1.50E+05	1.40E+05	0.756	0.09	6.93	1.50E+05	1.40E+05	0.756	0.18	13.87
1.40E+05	1.30E+05	0.756	0.05	3.52	1.40E+05	1.30E+05	0.756	0.10	7.03	1.40E+05	1.30E+05	0.756	0.20	14.06
1.30E+05	1.20E+05	0.756	0.05	3.57	1.30E+05	1.20E+05	0.756	0.11	7.14	1.30E+05	1.20E+05	0.756	0.21	14.28
1.20E+05	1.10E+05	0.756	0.06	3.63	1.20E+05	1.10E+05	0.756	0.12	7.25	1.20E+05	1.10E+05	0.756	0.23	14.51
1.10E+05	1.00E+05	0.756	0.06	3.69	1.10E+05	1.00E+05	0.756	0.13	7.38	1.10E+05	1.00E+05	0.756	0.25	14.76
1.00E+05	9.00E+04	0.756	0.07	3.76	1.00E+05	9.00E+04	0.756	0.14	7.52	1.00E+05	9.00E+04	0.756	0.28	15.04
9.00E+04	8.00E+04	0.756	0.08	3.84	9.00E+04	8.00E+04	0.756	0.16	7.67	9.00E+04	8.00E+04	0.756	0.31	15.35
8.00E+04	7.00E+04	0.756	0.09	3.93	8.00E+04	7.00E+04	0.756	0.18	7.85	8.00E+04	7.00E+04	0.756	0.35	15.70
7.00E+04	6.00E+04	0.756	0.10	4.03	7.00E+04	6.00E+04	0.756	0.20	8.05	7.00E+04	6.00E+04	0.756	0.41	16.11
6.00E+04	5.00E+04	0.756	0.12	4.15	6.00E+04	5.00E+04	0.756	0.24	8.30	6.00E+04	5.00E+04	0.756	0.48	16.59
5.00E+04	4.00E+04	0.756	0.15	4.30	5.00E+04	4.00E+04	0.756	0.30	8.59	5.00E+04	4.00E+04	0.756	0.59	17.18

4.00E+04	3.00E+04	0.756	0.19	4.49	4.00E+04	3.00E+04	0.756	0.38	8.97	4.00E+04	3.00E+04	0.756	0.76	17.94
3.00E+04	2.00E+04	0.756	0.27	4.75	3.00E+04	2.00E+04	0.756	0.54	9.51	3.00E+04	2.00E+04	0.756	1.07	19.02

4. FC

1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	6000000			0		6000000			0		6000000			0
6000000	5800000	0.523	0.06	0.06	6000000	5800000	0.523	0.13	0.13	6000000	5800000	0.523	0.26	0.26
5800000	5600000	0.523	0.07	0.13	5800000	5600000	0.523	0.13	0.26	5800000	5600000	0.523	0.27	0.53
5600000	5400000	0.523	0.07	0.20	5600000	5400000	0.523	0.14	0.40	5600000	5400000	0.523	0.28	0.81
5400000	5200000	0.523	0.07	0.27	5400000	5200000	0.523	0.14	0.55	5400000	5200000	0.523	0.29	1.09
5200000	5000000	0.523	0.07	0.35	5200000	5000000	0.523	0.15	0.70	5200000	5000000	0.523	0.30	1.39
5000000	4800000	0.523	0.08	0.43	5000000	4800000	0.523	0.16	0.85	5000000	4800000	0.523	0.31	1.71
4800000	4600000	0.523	0.08	0.51	4800000	4600000	0.523	0.16	1.02	4800000	4600000	0.523	0.33	2.03
4600000	4400000	0.523	0.08	0.59	4600000	4400000	0.523	0.17	1.19	4600000	4400000	0.523	0.34	2.37
4400000	4200000	0.523	0.09	0.68	4400000	4200000	0.523	0.18	1.36	4400000	4200000	0.523	0.36	2.73
4200000	4000000	0.523	0.09	0.77	4200000	4000000	0.523	0.19	1.55	4200000	4000000	0.523	0.37	3.10
4000000	3800000	0.523	0.10	0.87	4000000	3800000	0.523	0.20	1.75	4000000	3800000	0.523	0.39	3.49
3800000	3600000	0.523	0.10	0.98	3800000	3600000	0.523	0.21	1.95	3800000	3600000	0.523	0.41	3.91
3600000	3400000	0.839	0.03	1.01	3600000	3400000	0.839	0.07	2.02	3600000	3400000	0.839	0.14	4.04
3400000	3200000	0.839	0.04	1.05	3400000	3200000	0.839	0.07	2.09	3400000	3200000	0.839	0.14	4.19
3200000	3000000	0.839	0.04	1.09	3200000	3000000	0.839	0.08	2.17	3200000	3000000	0.839	0.15	4.34
3000000	2800000	0.839	0.04	1.13	3000000	2800000	0.839	0.08	2.25	3000000	2800000	0.839	0.16	4.50
2800000	2600000	0.839	0.04	1.17	2800000	2600000	0.839	0.09	2.34	2800000	2600000	0.839	0.18	4.68
2600000	2400000	0.839	0.05	1.22	2600000	2400000	0.839	0.10	2.44	2600000	2400000	0.839	0.19	4.87
2400000	2200000	0.839	0.05	1.27	2400000	2200000	0.839	0.10	2.54	2400000	2200000	0.839	0.21	5.08

2200000	2000000	0.839	0.06	1.33	2200000	2000000	0.839	0.11	2.65	2200000	2000000	0.839	0.23	5.31
2000000	1800000	0.839	0.06	1.39	2000000	1800000	0.839	0.13	2.78	2000000	1800000	0.839	0.25	5.56
1800000	1600000	0.839	0.07	1.46	1800000	1600000	0.839	0.14	2.92	1800000	1600000	0.839	0.28	5.84
1600000	1400000	0.839	0.08	1.54	1600000	1400000	0.839	0.16	3.08	1600000	1400000	0.839	0.32	6.16
1400000	1200000	0.839	0.09	1.63	1400000	1200000	0.839	0.18	3.26	1400000	1200000	0.839	0.37	6.52
1200000	1000000	0.839	0.11	1.74	1200000	1000000	0.839	0.22	3.48	1200000	1000000	0.839	0.43	6.96
1000000	800000	0.839	0.13	1.87	1000000	800000	0.839	0.27	3.75	1000000	800000	0.839	0.53	7.49
800000	600000	0.839	0.17	2.04	800000	600000	0.839	0.34	4.09	800000	600000	0.839	0.69	8.18
600000	400000	0.839	0.24	2.29	600000	400000	0.839	0.48	4.57	600000	400000	0.839	0.97	9.14
400000	200000	0.839	0.41	2.70	400000	200000	0.839	0.83	5.40	400000	200000	0.839	1.65	10.80
200000	190000	0.839	0.03	2.73	200000	190000	0.839	0.06	5.46	200000	190000	0.839	0.12	10.92
190000	180000	0.839	0.03	2.76	190000	180000	0.839	0.06	5.52	190000	180000	0.839	0.13	11.05
180000	170000	0.839	0.03	2.80	180000	170000	0.839	0.07	5.59	180000	170000	0.839	0.14	11.18
170000	160000	0.839	0.04	2.83	170000	160000	0.839	0.07	5.66	170000	160000	0.839	0.14	11.33
160000	150000	0.839	0.04	2.87	160000	150000	0.839	0.08	5.74	160000	150000	0.839	0.15	11.48
150000	140000	0.839	0.04	2.91	150000	140000	0.839	0.08	5.82	150000	140000	0.839	0.16	11.65
140000	130000	0.839	0.04	2.96	140000	130000	0.839	0.09	5.91	140000	130000	0.839	0.18	11.82
130000	120000	0.839	0.05	3.00	130000	120000	0.839	0.10	6.01	130000	120000	0.839	0.19	12.01
120000	110000	0.839	0.05	3.06	120000	110000	0.839	0.10	6.11	120000	110000	0.839	0.21	12.22
110000	100000	0.839	0.06	3.11	110000	100000	0.839	0.11	6.22	110000	100000	0.839	0.23	12.45
100000	90000	0.839	0.06	3.17	100000	90000	0.839	0.13	6.35	100000	90000	0.839	0.25	12.70
90000	80000	0.839	0.07	3.25	90000	80000	0.839	0.14	6.49	90000	80000	0.839	0.28	12.98
80000	70000	0.839	0.08	3.32	80000	70000	0.839	0.16	6.65	80000	70000	0.839	0.32	13.30
70000	60000	0.839	0.09	3.42	70000	60000	0.839	0.18	6.83	70000	60000	0.839	0.37	13.67
60000	50000	0.839	0.11	3.53	60000	50000	0.839	0.22	7.05	60000	50000	0.839	0.43	14.10
50000	40000	0.839	0.13	3.66	50000	40000	0.839	0.27	7.32	50000	40000	0.839	0.53	14.63
40000	30000	0.839	0.17	3.83	40000	30000	0.839	0.34	7.66	40000	30000	0.839	0.69	15.32
30000	20000	0.839	0.24	4.07	30000	20000	0.839	0.48	8.14	30000	20000	0.839	0.97	16.28

20000	10000	0.839	0.41	4.48	20000	10000	0.839	0.83	8.97	20000	10000	0.839	1.65	17.94
10000	9000	0.839	0.06	4.55	10000	9000	0.839	0.13	9.09	10000	9000	0.839	0.25	18.19
9000	8000	0.839	0.07	4.62	9000	8000	0.839	0.14	9.23	9000	8000	0.839	0.28	18.47
8000	7000	0.839	0.08	4.70	8000	7000	0.839	0.16	9.39	8000	7000	0.839	0.32	18.79
7000	6000	0.839	0.09	4.79	7000	6000	0.839	0.18	9.58	7000	6000	0.839	0.37	19.15
6000	5000	0.839	0.11	4.90	6000	5000	0.839	0.22	9.79	6000	5000	0.839	0.43	19.59
5000	4000	0.839	0.13	5.03	5000	4000	0.839	0.27	10.06	5000	4000	0.839	0.53	20.12

5.NH3-N

1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	50			0		50			0		50			0
50	49	0.001	0.29	0.29	50	49	0.001	0.58	0.58	50	49	0.001	1.16	1.16
49	48	0.001	0.30	0.59	49	48	0.001	0.60	1.18	49	48	0.001	1.20	2.36
48	47	0.001	0.31	0.90	48	47	0.001	0.63	1.81	48	47	0.001	1.26	3.62
47	46	0.001	0.33	1.23	47	46	0.001	0.65	2.46	47	46	0.001	1.31	4.92
46	45	0.001	0.34	1.57	46	45	0.001	0.68	3.15	46	45	0.001	1.37	6.29
45	44	0.001	0.36	1.93	45	44	0.001	0.72	3.86	45	44	0.001	1.43	7.72
44	43	0.001	0.37	2.30	44	43	0.001	0.75	4.61	44	43	0.001	1.50	9.22
43	42	0.001	0.39	2.70	43	42	0.001	0.78	5.39	43	42	0.001	1.57	10.79
42	41	0.001	0.41	3.11	42	41	0.001	0.82	6.22	42	41	0.001	1.64	12.43
41	40	0.059	0.01	3.11	41	40	0.059	0.01	6.23	41	40	0.059	0.02	12.45
40	39	0.059	0.01	3.12	40	39	0.059	0.01	6.24	40	39	0.059	0.02	12.47
39	38	0.059	0.01	3.12	39	38	0.059	0.01	6.25	39	38	0.059	0.02	12.50
38	37	0.059	0.01	3.13	38	37	0.059	0.01	6.26	38	37	0.059	0.02	12.52
37	36	0.059	0.01	3.14	37	36	0.059	0.01	6.27	37	36	0.059	0.03	12.55
36	35	0.059	0.01	3.14	36	35	0.059	0.01	6.29	36	35	0.059	0.03	12.57
35	34	0.059	0.01	3.15	35	34	0.059	0.01	6.30	35	34	0.059	0.03	12.60
34	33	0.059	0.01	3.16	34	33	0.059	0.02	6.32	34	33	0.059	0.03	12.63
33	32	0.059	0.01	3.17	33	32	0.059	0.02	6.33	33	32	0.059	0.03	12.66
32	31	0.059	0.01	3.17	32	31	0.059	0.02	6.35	32	31	0.059	0.03	12.70
31	30	0.059	0.01	3.18	31	30	0.059	0.02	6.37	31	30	0.059	0.04	12.73
30	29	0.059	0.01	3.19	30	29	0.059	0.02	6.39	30	29	0.059	0.04	12.77
29	28	0.059	0.01	3.20	29	28	0.059	0.02	6.41	29	28	0.059	0.04	12.81
28	27	0.059	0.01	3.21	28	27	0.059	0.02	6.43	28	27	0.059	0.04	12.86
27	26	0.059	0.01	3.23	27	26	0.059	0.02	6.45	27	26	0.059	0.05	12.91
26	25	0.059	0.01	3.24	26	25	0.059	0.03	6.48	26	25	0.059	0.05	12.96
25	24	0.059	0.01	3.25	25	24	0.059	0.03	6.51	25	24	0.059	0.06	13.02
24	23	0.059	0.02	3.27	24	23	0.059	0.03	6.54	24	23	0.059	0.06	13.08
23	22	0.059	0.02	3.29	23	22	0.059	0.03	6.57	23	22	0.059	0.07	13.14
22	21	0.059	0.02	3.30	22	21	0.059	0.04	6.61	22	21	0.059	0.07	13.22
21	20	0.059	0.02	3.32	21	20	0.059	0.04	6.65	21	20	0.059	0.08	13.30
20	19	0.059	0.02	3.35	20	19	0.059	0.04	6.69	20	19	0.059	0.09	13.39
19	18	0.059	0.02	3.37	19	18	0.059	0.05	6.74	19	18	0.059	0.10	13.48
18	17	0.059	0.03	3.40	18	17	0.059	0.06	6.80	18	17	0.059	0.11	13.60
17	16	0.059	0.03	3.43	17	16	0.059	0.06	6.86	17	16	0.059	0.12	13.72

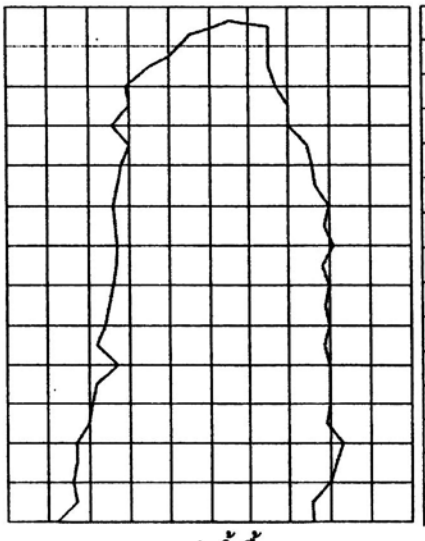
16	15	0.059	0.04	3.47	16	15	0.059	0.07	6.93	16	15	0.059	0.14	13.86
15	14	0.059	0.04	3.51	15	14	0.059	0.08	7.01	15	14	0.059	0.16	14.02
14	13	0.059	0.05	3.55	14	13	0.059	0.09	7.10	14	13	0.059	0.19	14.21
13	12	0.059	0.05	3.61	13	12	0.059	0.11	7.21	13	12	0.059	0.22	14.42
12	11	0.059	0.06	3.67	12	11	0.059	0.13	7.34	12	11	0.059	0.26	14.68
11	10	0.059	0.08	3.75	11	10	0.059	0.15	7.49	11	10	0.059	0.31	14.99
10	9	0.059	0.09	3.84	10	9	0.059	0.19	7.68	10	9	0.059	0.38	15.36
9	8	0.059	0.12	3.96	9	8	0.059	0.23	7.92	9	8	0.059	0.47	15.83
8	7	0.059	0.15	4.11	8	7	0.059	0.30	8.22	8	7	0.059	0.60	16.43
7	6	0.059	0.20	4.31	7	6	0.059	0.40	8.62	7	6	0.059	0.80	17.24
6	5	0.059	0.28	4.59	6	5	0.059	0.56	9.18	6	5	0.059	1.13	18.36
5	4	0.059	0.42	5.01	5	4	0.059	0.84	10.03	5	4	0.059	1.69	20.05
4	3	0.059	0.70	5.72	4	3	0.059	1.41	11.43	4	3	0.059	2.81	22.87
3	2	0.059	1.41	7.12	3	2	0.059	2.81	14.25	3	2	0.059	5.63	28.50

6.TP

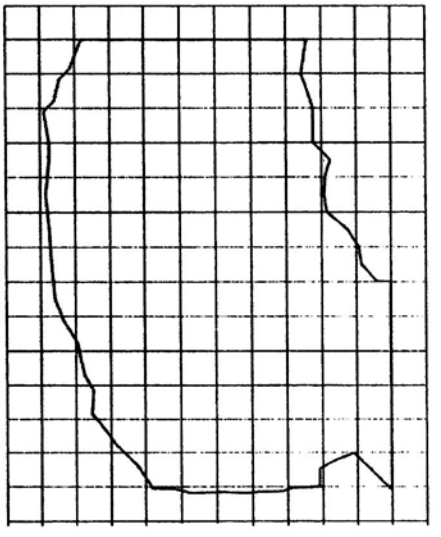
1 คน					2 คน					4 คน				
Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A	Cin	Cout	k	A	Total A
	6			0		6			0		6			0
6	5.9	0.022	0.13	0.13	6	5.9	0.022	0.26	0.26	6	5.9	0.022	0.51	0.51
5.9	5.8	0.022	0.13	0.26	5.9	5.8	0.022	0.27	0.52	5.9	5.8	0.022	0.53	1.05
5.8	5.7	0.022	0.14	0.40	5.8	5.7	0.022	0.28	0.80	5.8	5.7	0.022	0.55	1.60
5.7	5.6	0.022	0.14	0.54	5.7	5.6	0.022	0.29	1.08	5.7	5.6	0.022	0.57	2.17
5.6	5.5	0.022	0.15	0.69	5.6	5.5	0.022	0.30	1.38	5.6	5.5	0.022	0.59	2.76
5.5	5.4	0.022	0.15	0.84	5.5	5.4	0.022	0.31	1.69	5.5	5.4	0.022	0.61	3.37
5.4	5.3	0.022	0.16	1.00	5.4	5.3	0.022	0.32	2.01	5.4	5.3	0.022	0.64	4.01
5.3	5.2	0.022	0.17	1.17	5.3	5.2	0.022	0.33	2.34	5.3	5.2	0.022	0.66	4.67
5.2	5.1	0.022	0.17	1.34	5.2	5.1	0.022	0.34	2.68	5.2	5.1	0.022	0.69	5.36
5.1	5	0.022	0.18	1.52	5.1	5	0.022	0.36	3.04	5.1	5	0.022	0.71	6.07
5	4.9	0.133	0.02	1.53	5	4.9	0.133	0.03	3.07	5	4.9	0.133	0.06	6.13
4.9	4.8	0.133	0.02	1.55	4.9	4.8	0.133	0.03	3.10	4.9	4.8	0.133	0.06	6.20
4.8	4.7	0.133	0.02	1.57	4.8	4.7	0.133	0.03	3.13	4.8	4.7	0.133	0.07	6.26
4.7	4.6	0.133	0.02	1.58	4.7	4.6	0.133	0.03	3.17	4.7	4.6	0.133	0.07	6.33
4.6	4.5	0.133	0.02	1.60	4.6	4.5	0.133	0.04	3.20	4.6	4.5	0.133	0.07	6.41
4.5	4.4	0.133	0.02	1.62	4.5	4.4	0.133	0.04	3.24	4.5	4.4	0.133	0.08	6.48
4.4	4.3	0.133	0.02	1.64	4.4	4.3	0.133	0.04	3.28	4.4	4.3	0.133	0.08	6.56
4.3	4.2	0.133	0.02	1.66	4.3	4.2	0.133	0.04	3.32	4.3	4.2	0.133	0.08	6.65
4.2	4.1	0.133	0.02	1.68	4.2	4.1	0.133	0.04	3.37	4.2	4.1	0.133	0.09	6.73
4.1	4	0.133	0.02	1.71	4.1	4	0.133	0.05	3.41	4.1	4	0.133	0.09	6.82

4	3.9	0.133	0.02	1.73	4	3.9	0.133	0.05	3.46	4	3.9	0.133	0.10	6.92
3.9	3.8	0.133	0.03	1.76	3.9	3.8	0.133	0.05	3.51	3.9	3.8	0.133	0.10	7.02
3.8	3.7	0.133	0.03	1.78	3.8	3.7	0.133	0.05	3.56	3.8	3.7	0.133	0.11	7.13
3.7	3.6	0.133	0.03	1.81	3.7	3.6	0.133	0.06	3.62	3.7	3.6	0.133	0.11	7.24
3.6	3.5	0.133	0.03	1.84	3.6	3.5	0.133	0.06	3.68	3.6	3.5	0.133	0.12	7.36
3.5	3.4	0.133	0.03	1.87	3.5	3.4	0.133	0.06	3.74	3.5	3.4	0.133	0.13	7.49
3.4	3.3	0.133	0.03	1.91	3.4	3.3	0.133	0.07	3.81	3.4	3.3	0.133	0.13	7.62
3.3	3.2	0.133	0.04	1.94	3.3	3.2	0.133	0.07	3.88	3.3	3.2	0.133	0.14	7.76
3.2	3.1	0.133	0.04	1.98	3.2	3.1	0.133	0.08	3.96	3.2	3.1	0.133	0.15	7.92
3.1	3	0.133	0.04	2.02	3.1	3	0.133	0.08	4.04	3.1	3	0.133	0.16	8.08
3	2.9	0.133	0.04	2.06	3	2.9	0.133	0.09	4.12	3	2.9	0.133	0.17	8.25
2.9	2.8	0.133	0.05	2.11	2.9	2.8	0.133	0.09	4.22	2.9	2.8	0.133	0.19	8.43
2.8	2.7	0.133	0.05	2.16	2.8	2.7	0.133	0.10	4.32	2.8	2.7	0.133	0.20	8.63
2.7	2.6	0.133	0.05	2.21	2.7	2.6	0.133	0.11	4.42	2.7	2.6	0.133	0.21	8.85
2.6	2.5	0.133	0.06	2.27	2.6	2.5	0.133	0.12	4.54	2.6	2.5	0.133	0.23	9.08
2.5	2.4	0.133	0.06	2.33	2.5	2.4	0.133	0.13	4.66	2.5	2.4	0.133	0.25	9.33
2.4	2.3	0.133	0.07	2.40	2.4	2.3	0.133	0.14	4.80	2.4	2.3	0.133	0.27	9.60
2.3	2.2	0.133	0.07	2.47	2.3	2.2	0.133	0.15	4.95	2.3	2.2	0.133	0.30	9.90
2.2	2.1	0.133	0.08	2.56	2.2	2.1	0.133	0.16	5.11	2.2	2.1	0.133	0.33	10.22
2.1	2	0.133	0.09	2.65	2.1	2	0.133	0.18	5.29	2.1	2	0.133	0.36	10.58
2	1.9	0.133	0.10	2.74	2	1.9	0.133	0.20	5.49	2	1.9	0.133	0.40	10.98
1.9	1.8	0.133	0.11	2.85	1.9	1.8	0.133	0.22	5.71	1.9	1.8	0.133	0.44	11.42
1.8	1.7	0.133	0.12	2.98	1.8	1.7	0.133	0.25	5.95	1.8	1.7	0.133	0.49	11.91
1.7	1.6	0.133	0.14	3.12	1.7	1.6	0.133	0.28	6.23	1.7	1.6	0.133	0.55	12.46
1.6	1.5	0.133	0.16	3.27	1.6	1.5	0.133	0.31	6.54	1.6	1.5	0.133	0.63	13.09
1.5	1.4	0.133	0.18	3.45	1.5	1.4	0.133	0.36	6.90	1.5	1.4	0.133	0.72	13.80
1.4	1.3	0.133	0.21	3.66	1.4	1.3	0.133	0.41	7.31	1.4	1.3	0.133	0.83	14.63
1.3	1.2	0.133	0.24	3.90	1.3	1.2	0.133	0.48	7.80	1.3	1.2	0.133	0.96	15.59
1.2	1.1	0.133	0.28	4.18	1.2	1.1	0.133	0.57	8.37	1.2	1.1	0.133	1.14	16.73
1.1	1	0.133	0.34	4.52	1.1	1	0.133	0.68	9.05	1.1	1	0.133	1.37	18.10
1	0.9	0.133	0.42	4.94	1	0.9	0.133	0.84	9.88	1	0.9	0.133	1.67	19.77
0.9	0.8	0.133	0.52	5.46	0.9	0.8	0.133	1.04	10.93	0.9	0.8	0.133	2.09	21.86
0.8	0.7	0.133	0.67	6.14	0.8	0.7	0.133	1.34	12.27	0.8	0.7	0.133	2.68	24.54
0.7	0.6	0.133	0.89	7.03	0.7	0.6	0.133	1.79	14.06	0.7	0.6	0.133	3.58	28.12
0.6	0.5	0.133	1.25	8.28	0.6	0.5	0.133	2.51	16.56	0.6	0.5	0.133	5.01	33.13

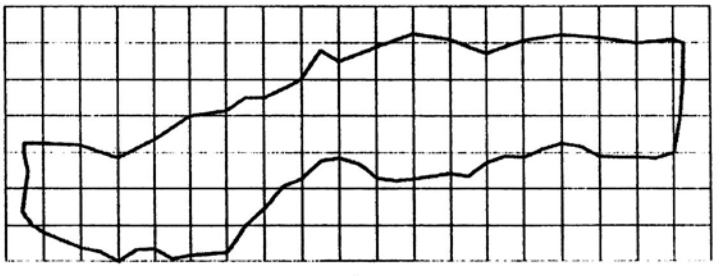
ภาคผนวก ง
การหาพื้นที่บ่อด้วยโปรแกรม Auto CAD



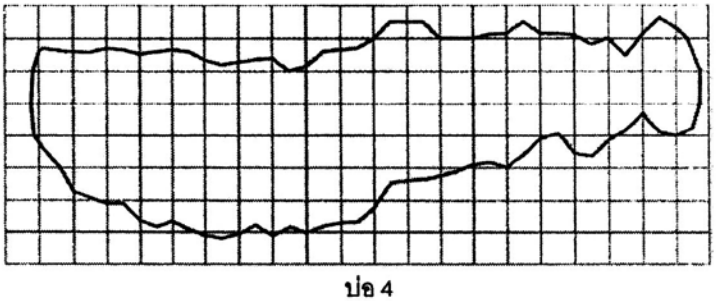
บ่อน้ำตื้น



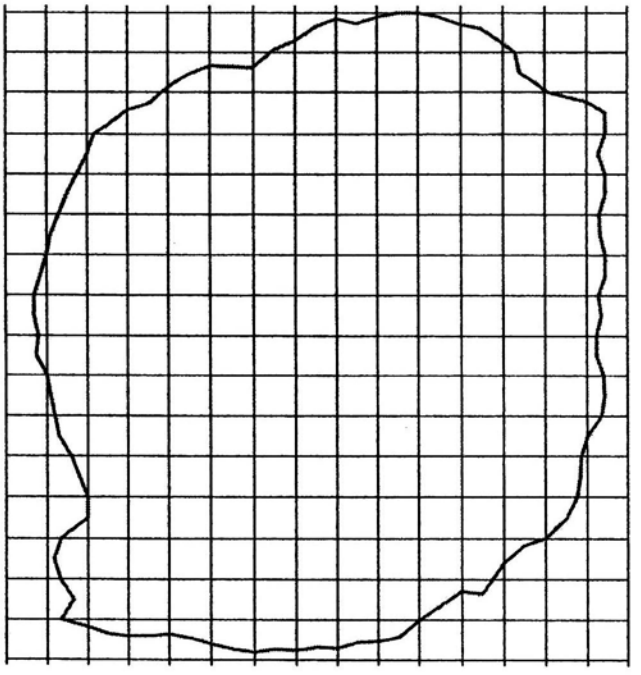
บ่อ 2



บ่อ 3

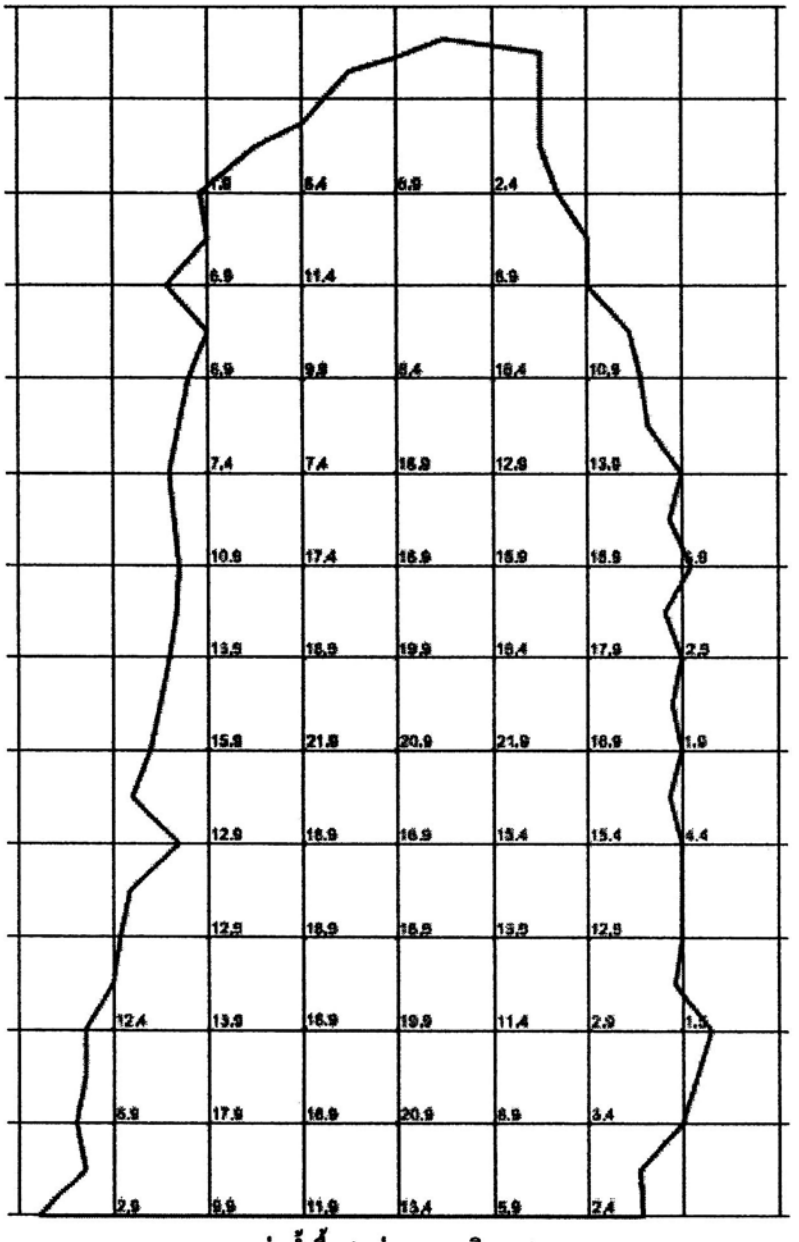


บ่อ 4

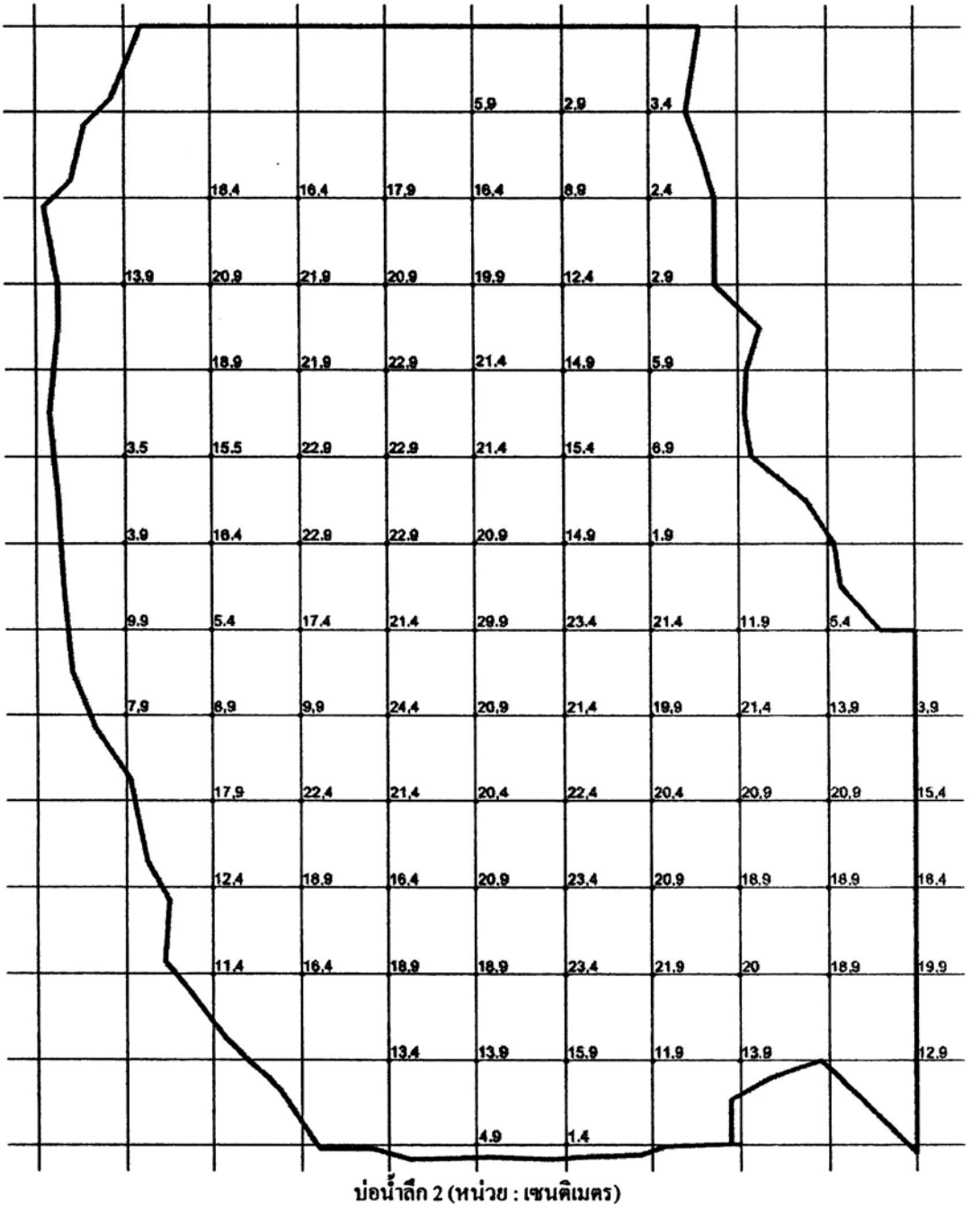


บ่อ 5

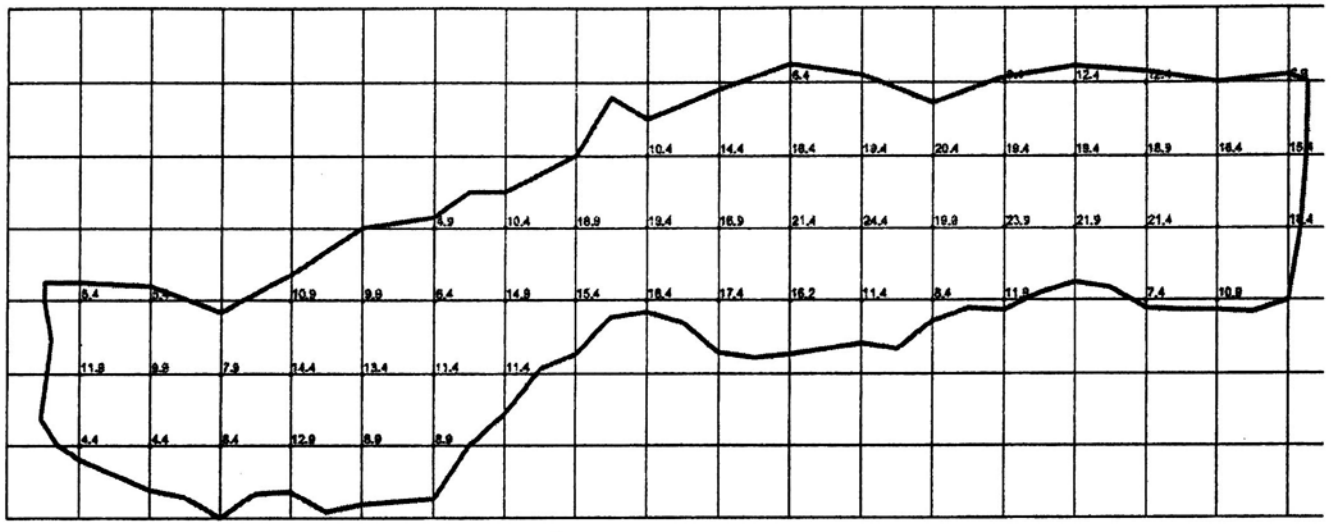
ภาคผนวก จ
ผลการวัดความลึกบ่อด้วยไม้วัด



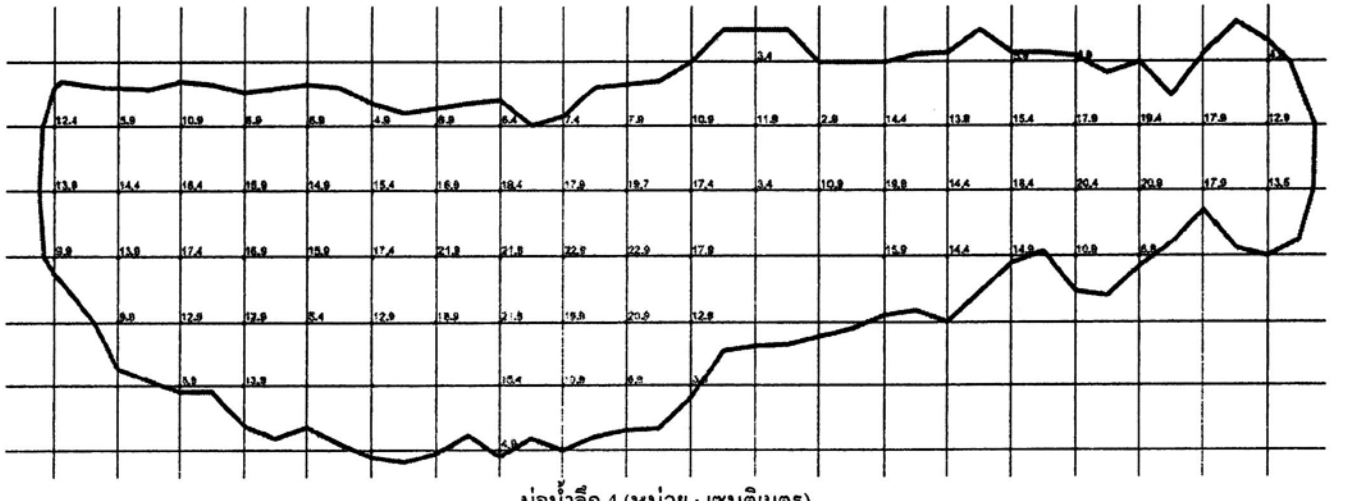
บ่อน้ำตื้น (หน่วย : เซนติเมตร)



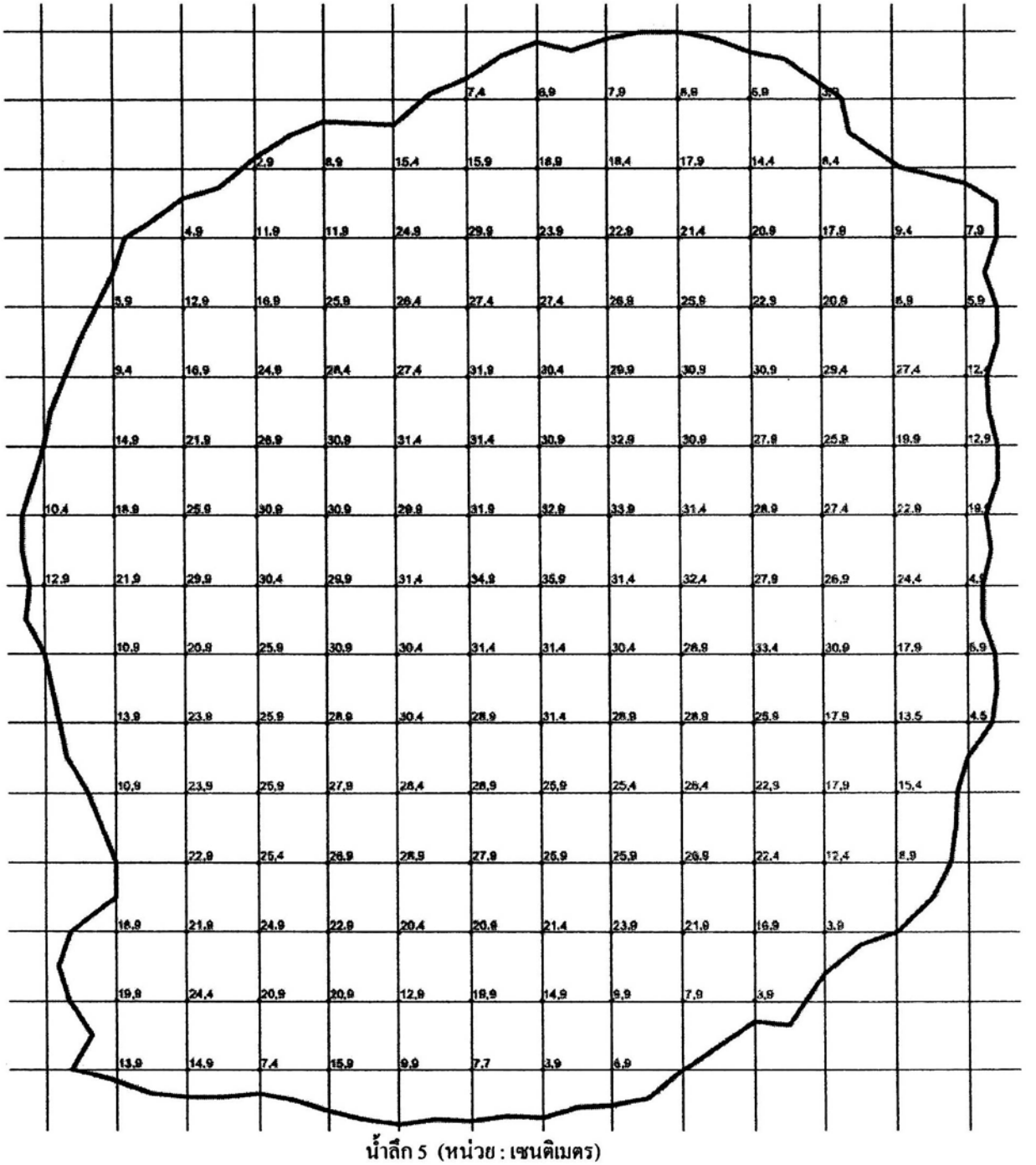
บ่อน้ำลึก 2 (หน่วย : เซนติเมตร)



บ่อน้ำลึก 3 (หน่วย : เซนติเมตร)



บ่อน้ำลึก 4 (หน่วย : เซนติเมตร)



น้ำลึก 5 (หน่วย : เซนติเมตร)

ภาคผนวก ฉ
มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน

แหล่งน้ำผิวดินได้แบ่งการใช้ประโยชน์ออกเป็น 5 ประเภท

ประเภทที่ 1	ได้แก่แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5	
1. สี กลิ่น และรส(Colour, Odour and Taste)	-	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	-
2. อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3. ความเป็นกรดด่าง (pH)	-	-	ธ	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4. ออกซิเจนละลาย(DO)[2/]	มก./ล.		ธ	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P20	ธ	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5วัน ติดต่อกัน
6. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	P80	ธ	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7. แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	P80	ธ	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5	
8. ไนเตรต (NO_3)ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	5.0			-	Cadmium Reduction
9. แอมโมเนีย (NH_3)ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	0.5			-	Distillation Nesslerization
10. ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Distillation,4-Amino antipyrene
11. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
12. นิคเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
13. แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
14. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
15. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	ธ	0.005* 0.05**			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration
16. โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption-Direct Aspiration
17. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption - Direct Aspiration

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5	
18. ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	ธ	0.002			-	Atomic Absorption - Cold Vapour Technique
19. สารหนู (As)	มก./ล.	-	ธ	0.01			-	Atomic Absorption - Gaseous Hydride
20. ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Pylidine-Barbituric Acid
21. กัมมันตภาพรังสี(Redioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) -ค่ารังสีเบตา (Beta)	 เบคเคอเรล/ล. เบคเคอเรล/ล.	 - -	 ธ ธ	 0.1 1.0			-	Low Background Proportional Counter
22. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Gas - Chromatography
23. ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	1.0			-	Gas - Chromatography
24. บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.02			-	Gas - Chromatography
25. ดิลดรีน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.1			-	Gas - Chromatography
26. อัลดรีน (Aldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.1			-	Gas - Chromatography

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5	
27.เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor & Heptachorepoxide)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.2			-	Gas-Chromatography
28. เอนดรีน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	ไม่สามารถตรวจสอบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	Gas-Chromatography

หมายเหตุ :

1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่5ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

°ซ องศาเซลเซียส

P20 เปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 เปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล มิลลิกรัมต่อลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standrad Methods for Examination of Water and Wastewater

APHA:American Public Health Association ,AWWA:American Water Works AssociationและWPCF:Water Pollution control Federaion ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537)ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม แห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่24 กุมภาพันธ์ 2537

ทีมวิจัย

อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.พัชรี หอวิจิตร
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายประวิทย์ อ่วงอารีย์
	นางสาวพัชริดา จันทรมณี
	นางสาวปัทมา หาญสุรีย์
	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

628.194
อวง

BT18768

การประยุกต์ใช้บึงประดิษฐ์
เป็นสวนน้ำในบ้านพักอาศัย

BT 18768

ศูนย์ความรู้ (ศคร.)
BT18768