



กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

รายงานผลการดำเนินงาน

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์บีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane Electrode Method)
ในตัวอย่างน้ำทิ้งและตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำผิวดิน

สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10



วันที่ 27 กันยายน 2566

วัตถุประสงค์

- 1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับ **การวิเคราะห์ด้วยวิธีการเอชดีโมดิฟิเคชัน**
- 2 ประยุกต์ใช้ **วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรด** กับ ตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

การดำเนินการ/ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. **ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูล** ผลการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเอชดีโมดิฟิเคชัน
 - สารละลายกลูโคส-กรดกลูตามิก (GGA) (วัสดุอ้างอิง)
 - ตัวอย่างน้ำทิ้ง (ระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครขอนแก่น)
 - ตัวอย่างแหล่งน้ำผิวดิน (น้ำจากคลองชลประทาน บ้านโกทา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น)
2. **วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ t-test**
3. **สรุปผลและเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในการปฏิบัติงาน**
4. **ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง**



วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ t-test

ได้ดำเนินการทดสอบค่า t-Test ของค่าดีไอและบีไอดี แบบ Independent-sample t-Test (ทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มตัวอย่าง) เพื่อตรวจสอบว่าวิธีที่หาค่าดีไอและค่าบีไอดี ด้วยวิธีเอชไตต์โมดิฟิเคชั่นกับวิธีเมมเบรนอิลีกโทรดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยวิเคราะห์ค่า t-test ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Package for the Social Science) พบว่า ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของสารละลายอ้างอิง (GGA) พบว่า T-test ของ DO_0 , DO_5 และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.004 , 0.010 และ 0.321 ตามลำดับ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของตัวอย่างน้ำเสีย พบว่า T-Test ของ DO_0 , DO_5 และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.001, 0.400 และ 0.636 ตามลำดับ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าดีไอและค่าบีไอดีของตัวอย่างน้ำเสียไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผิวดิน พบว่า T-Test ของ DO_0 , DO_5 และ BOD มีค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.426 , 0.917 , 0.629 ตามลำดับ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าดีไอและค่าบีไอดีของตัวอย่างน้ำผิวดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

ดำเนินการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างจริงที่ห้องปฏิบัติการให้บริการทดสอบตัวอย่าง จำนวน 111 ตัวอย่าง (ระหว่าง 8 พ.ค. 66 – 24 ส.ค. 66)

- ตัวอย่างน้ำเสีย จำนวน 19 ตัวอย่าง มีค่าบีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 2.4 – 3,800 มิลลิกรัมต่อลิตร
- ตัวอย่างน้ำผิวดิน จำนวน 92 ตัวอย่าง มีค่าบีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 558 มิลลิกรัมต่อลิตร



สรุปได้ว่าการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดสามารถใช้แทน การวิเคราะห์ด้วยวิธีเอชไดม์ดิฟเฟอเรนเชียลได้

- ทำให้สามารถลดเวลาในการทดสอบ
- ลดปริมาณการใช้สารเคมีและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีเมื่อเทียบกับวิธีเอชไดม์ดิฟเฟอเรนเชียล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดน้อยลง

ข้อเสนอแนะ

- เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือและความมั่นใจในผลการทดสอบ สมควรให้มีการดำเนินการควบคุมคุณภาพการทดสอบ (Quality control, QC) อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (Proficiency testing, PT) ประจำปีกับหน่วยงานทดสอบความชำนาญ (PT provider)
- ควรมีการจัดหาเครื่องมือเพิ่มเติม ในกรณีที่เครื่องมือชำรุดจะทำให้สามารถทำการทดสอบต่อเนื่องได้

แบบฟอร์มการจัดทำข้อเสนอการพัฒนานวัตกรรม

กรณีที่ 1

สรุปผลการประเมินด้านการพัฒนาประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและพัฒนานวัตกรรม

ของ สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566

เรื่อง การพัฒนาวิธีวิเคราะห์บีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane electrode method)

ในตัวอย่างน้ำทิ้งและตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำผิวดิน

1. ความสำคัญและความเป็นมา

บีโอดี หรือ Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนอิสระที่จุลินทรีย์ (Microorganisms) ต้องการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีอากาศ ใช้เป็นดัชนีชี้วัดค่าความสกปรกของแหล่งน้ำ การวิเคราะห์ค่าบีโอดีเป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำ เช่น น้ำในแม่น้ำลำคลอง น้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีเป็นการวัดค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen, DO) ที่ถูกใช้ไปในเวลา 5 วัน ในสภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งห้องปฏิบัติการส่วนมากมักจะใช้การวัดค่าออกซิเจนละลายด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม จากหนังสือ Standard Method For the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017 กำหนดให้สามารถใช้วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันหรือวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด (Membrane electrode method) ในการวัดค่าออกซิเจนละลายเพื่อมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดีได้ และในบางมาตรฐานคุณภาพน้ำ เช่น มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทการเลี้ยงสุกร ได้กำหนดให้ใช้ทั้ง 2 วิธีในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดี ซึ่งในปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 ใช้วิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันในการวัดค่าออกซิเจนละลายเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดี

ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์หาค่าบีโอดีมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามกฎหมายข้อบังคับ ส่วนห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดว่าสามารถใช้แทนการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันได้ ซึ่งจะทำให้สามารถลดปริมาณสารเคมีและน้ำเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนและลดระยะเวลาในการวิเคราะห์หาค่าบีโอดีได้ และนำมาประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเอไซด์โมดิฟิเคชัน

2.2 ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

3. การดำเนินการ/ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเมติฟิเคชัน มีสาระสำคัญในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเมติฟิเคชัน

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ t-test

3.3 สรุปผลและเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในการปฏิบัติงาน

3.4 ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

4. ผลลัพธ์ที่คาดหวัง

การวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์สามารถวิเคราะห์ผลได้ค่าที่ถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ รวดเร็ว และสามารถใช้แทนการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเมติฟิเคชันได้

5. ผลการดำเนินงานและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงอย่างเป็นรูปธรรม

ผลการดำเนินงานในรอบ 12 เดือน สรุปได้ ดังนี้

5.1 ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดี โดยการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไฮโดรเมติฟิเคชัน ดังต่อไปนี้

5.1.1 ทำการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีของสารละลายกลูโคส-กรดกลูตามิก (GGA) ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 และ 19.8 ± 3.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นวัสดุอ้างอิง โดยการทดสอบด้วยวิธี Dilution method

5.1.2 ทำการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำทิ้ง โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยวิธี Dilution method

5.1.3 ทำการวิเคราะห์ค่าดีโอและค่าบีโอดีของตัวอย่างแหล่งน้ำผิวดิน โดยใช้ตัวอย่างน้ำจากคลองชลประทาน บ้านโกทา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยวิธี Direct method

ได้ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

5.2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ t-test

ดำเนินการทดสอบค่า t-Test ของค่าดีโอและบีโอดี แบบ Independent-sample t-Test (ทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มตัวอย่าง) เพื่อตรวจสอบว่าวิธีที่หาค่าดีโอและค่าบีโอดี ด้วยวิธีไฮโดรเมติฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยวิเคราะห์ค่า t-test ด้วย โปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS (Statistical Package for the Social Science) พบว่า

5.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเมติฟิเคชันของสารละลายอ้างอิง GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 3.05 และ 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอชไอซีโมดิฟิเคชั่นของตัวอย่างน้ำเสีย พบว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอชไอซีโมดิฟิเคชั่นของตัวอย่างน้ำผิวดิน พบว่าการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.3 สรุปผลและเลือกวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในการปฏิบัติงาน

สรุปได้ว่า การวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้แทนการวิเคราะห์ด้วยวิธีเอชไอซีโมดิฟิเคชั่นได้ โดยวิธีเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์มีข้อดี ประกอบด้วย (1) ใช้เวลาในการการวิเคราะห์ค่าบีโอดีน้อยกว่า (2) ใช้ปริมาณสารเคมีในการตรวจวิเคราะห์น้อยกว่า และ (3) ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีน้อยกว่า เมื่อเทียบกับวิธีเอชไอซีโมดิฟิเคชั่น จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดน้อยลง

5.4 ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับตัวอย่างน้ำแหล่งน้ำและตัวอย่างน้ำทิ้ง

ได้ดำเนินการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีการเมมเบรนอิเล็กทรอนิกส์กับตัวอย่างจริงที่ห้องปฏิบัติการให้บริการทดสอบตัวอย่าง จำนวน 111 ตัวอย่าง (ระหว่าง 8 พ.ค. 66 – 24 ส.ค. 66) โดยมีการทดสอบตัวอย่างน้ำเสีย จำนวน 19 ตัวอย่าง มีค่าบีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 2.4 – 3,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำผิวดิน จำนวน 92 ตัวอย่าง มีค่าบีโอดีมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 – 558 มิลลิกรัมต่อลิตร

6. ข้อเสนอแนะเพื่อการดำเนินงานในครั้งต่อไป

เพื่อความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือและความมั่นใจในผลการทดสอบให้มากขึ้น สมควรให้มีการดำเนินการควบคุมคุณภาพการทดสอบ (Quality control, QC) อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการเข้าร่วมกิจกรรมทดสอบความชำนาญ (Proficiency testing, PT) ประจำปีกับหน่วยงานทดสอบความชำนาญ (PT provider)

7. รูปภาพประกอบ



การวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยการเมมเบรนอิเล็กโทรดกับตัวอย่างจริงที่ห้องปฏิบัติการฯ



การตัวอย่างน้ำผิวดินและตัวอย่างน้ำเสียเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าบีโอดี

ภาคผนวก

ผลการทดลอง

ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าบีโอดีด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด โดยใช้เครื่องดีโอมิเตอร์ ยี่ห้อ YSI รุ่น 4010-2W มาวิเคราะห์ค่า DO_0 , DO_5 และ ค่าบีโอดี แล้วทำการทดสอบค่า t-Test ของค่าดีโอและบีโอดี แบบ Independent-sample t-Test (ทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มตัวอย่าง) เพื่อตรวจสอบว่าวิธีที่หาค่าดีโอและค่าบีโอดี ด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยวิเคราะห์ค่า t-test ด้วย โปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS (Statistical Package for the Social Science) ได้ผลการทดสอบดังนี้

1 ผลการทดสอบค่าดีโอและบีโอดีของสารละลายกลูโคส-กรดกลูตามิก (GGA)

1.1 ผลการทดสอบตรวจวัดค่าบีโอดีด้วยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดสอบด้วยวิธี Dilution method ที่เปอร์เซ็นต์การเจือจาง 20% แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าดีโอและบีโอดีของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลอง	วิธีเอไซด์				วิธีเมมเบรน			
	DO_0	DO_5	BOD	การประเมิน	DO_0	DO_5	BOD	การประเมิน
1	7.70	4.28	17.10	ผ่าน	8.13	4.37	18.80	ผ่าน
2	7.65	4.28	16.85	ผ่าน	8.12	4.39	18.65	ผ่าน
3	7.70	4.30	17.00	ผ่าน	8.13	4.26	19.40	ผ่าน
4	7.60	4.30	16.50	ผ่าน	8.13	4.15	19.90	ผ่าน
5	7.80	4.25	17.75	ผ่าน	8.13	3.84	21.45	ผ่าน
6	7.60	4.28	16.60	ผ่าน	8.13	4.32	19.05	ผ่าน
7	7.60	4.15	17.25	ผ่าน	8.14	4.37	18.85	ผ่าน
8	7.60	4.25	16.75	ผ่าน	8.11	4.52	18.00	ผ่าน
9	7.70	4.35	16.75	ผ่าน	8.13	4.47	18.30	ผ่าน
10	7.70	4.30	17.00	ผ่าน	8.12	4.11	20.05	ผ่าน
11	7.80	4.40	17.00	ผ่าน	8.13	4.40	18.65	ผ่าน
12	7.65	4.23	17.10	ผ่าน	8.13	4.43	18.50	ผ่าน
X-Bar	7.67	4.28	16.97	ผ่าน	8.13	4.30	19.13	ผ่าน
S.D	0.07	0.06	0.32	ผ่าน	0.01	0.18	0.94	ผ่าน

%RSD	0.94	1.43	1.93	ผ่าน	0.09	4.40	4.96	ผ่าน
------	------	------	------	------	------	------	------	------

จากตารางที่ 1 การทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตรของวิธีเอชไตโมดิฟิเคชั่น พบว่า DO_0 มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.67 , 0.07 และ 0.94 ตามลำดับ DO_5 มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 4.28 , 0.06 และ 1.43 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 16.97 , 0.32 และ 1.93 ตามลำดับ วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด พบว่า DO_0 มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 8.13 , 0.01 และ 0.09 ตามลำดับ DO_5 มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 4.30, 0.18 และ 4.40 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 19.13, 0.94 และ 4.96 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลายมาตรฐาน GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

Independent Samples Test		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
DO_0	Equal variances assumed	.356	.557	-3.169	22	.004
	Equal variances not assumed			-3.169	21.681	.005
DO_5	Equal variances assumed	.438	.515	-2.816	22	.010
	Equal variances not assumed			-2.816	18.561	.011
BOD	Equal variances assumed	.221	.643	-1.014	22	.321
	Equal variances not assumed			-1.014	21.655	.322

การทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า DO_0 , DO_5 และ BOD มีค่า F- test เท่ากับ 0.356 , 0.438 และ 0.221 ตามลำดับ แสดงว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า F- test มีค่า Sig มากกว่า α (0.05) ดังนั้นการทดสอบ T-test ให้ใช้ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Equal variances assumed ในการพิจารณา ซึ่งพบว่า DO_0 , DO_5 และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.004 , 0.010 และ 0.321 ตามลำดับ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน แสดงว่าค่า DO_0 , DO_5 ที่วัดด้วยวิธีเอชไตโมดิฟิเคชั่นกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าบีโอดีของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 19.8 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่คำนวณจากวิธีเอชไตโมดิฟิเคชั่นกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 ผลการทดสอบตรวจวัดค่าดีไอวีไอซีไดโมติฟเคชั่นกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการทดสอบด้วยวิธี Dilution method ที่เปอร์เซ็นต์การเจือจาง 2% แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดค่าดีไอและบีโอดีของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลอง	วิธีไอซีได				วิธีเมมเบรน			
	DO ₀	DO ₅	BOD	การประเมิน	DO ₀	DO ₅	BOD	การประเมิน
1	7.85	3.95	195.00	ผ่าน	7.75	3.75	200.00	ผ่าน
2	7.70	4.05	182.50	ผ่าน	7.74	4.12	181.00	ผ่าน
3	7.75	4.05	185.00	ผ่าน	7.80	3.95	192.50	ผ่าน
4	7.80	4.07	186.50	ผ่าน	7.81	3.98	191.50	ผ่าน
5	7.65	3.78	193.50	ผ่าน	7.79	4.11	184.00	ผ่าน
6	7.80	3.88	196.00	ผ่าน	7.84	4.02	191.00	ผ่าน
7	7.70	3.80	195.00	ผ่าน	7.76	3.72	202.00	ผ่าน
8	7.70	3.88	191.00	ผ่าน	7.80	3.89	195.50	ผ่าน
9	7.75	3.67	204.00	ผ่าน	7.75	3.96	189.50	ผ่าน
10	7.70	3.97	186.50	ผ่าน	7.82	3.95	193.50	ผ่าน
11	7.65	3.98	183.50	ผ่าน	7.79	3.92	193.50	ผ่าน
12	7.70	4.00	185.00	ผ่าน	7.81	4.10	185.50	ผ่าน
X-Bar	7.72	3.92	190.29	ผ่าน	7.79	3.96	191.63	ผ่าน
S.D	0.06	0.12	6.52	ผ่าน	0.03	0.13	6.14	ผ่าน
%RSD	0.80	3.16	3.42	ผ่าน	0.41	3.23	3.20	ผ่าน

จากตารางที่ 3 การทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวิธีไอซีไดโมติฟเคชั่น พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.72 , 0.06 และ 0.80 ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar , S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 3.92 , 0.12 และ 3.16 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 190.29 , 6.52 และ 3.42 ตามลำดับ วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.79, 0.03 และ 0.41ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 3.96, 0.13 และ 3.23 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 191.63, 6.14 และ 3.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

Independent Samples Test		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
DO ₀	Equal variances assumed	5.721	.026	-2.946	22	.007
	Equal variances not assumed			-2.946	16.345	.009
DO ₅	Equal variances assumed	.079	.781	-.632	22	.534
	Equal variances not assumed			-.632	21.980	.534
BOD	Equal variances assumed	.402	.533	-.516	22	.611
	Equal variances not assumed			-.516	21.920	.611

จากการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า DO₀, DO₅ และ BOD มีค่า F- test เท่ากับ 5.721, 0.79 และ 0.402 ตามลำดับ แสดงว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า F- test มีค่า Sig มากกว่า α (0.05) ดังนั้นการทดสอบ T-test ให้ใช้ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Equal variances assumed ในการพิจารณา ซึ่งพบว่า DO₀, DO₅ และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.007, 0.543 และ 0.611 ตามลำดับ แสดงว่า ยอมรับ H₀ ปฏิเสธ H₁ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน แสดงว่าค่า DO₀, DO₅ ที่วัดด้วยวิธีไฮโดรไมดิฟเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าบีโอดีของสารละลาย GGA ที่มีค่าบีโอดี 198 ± 30.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่คำนวณจากวิธีไฮโดรไมดิฟเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2 ผลการทดสอบค่าดีโอและบีโอดีของของตัวอย่างน้ำผิวดิน

ผลการทดสอบตรวจวัดค่าดีโอวิธีไฮโดรไมดิฟเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ของตัวอย่างน้ำผิวดินจากคลองชลประทานบ้านโกทา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดค่าดีโอและบีโอดีของตัวอย่างน้ำผิวดิน

ผลการทดลอง	วิธีไฮโดรไมดิฟเคชัน			วิธีเมมเบรน		
	DO ₀	DO ₅	BOD	DO ₀	DO ₅	BOD
1	7.70	6.50	1.20	7.82	6.47	1.35
2	7.75	6.35	1.40	7.71	6.19	1.52
3	7.65	6.40	1.25	7.81	6.39	1.42
4	7.70	6.30	1.40	7.88	6.56	1.32
5	7.85	6.35	1.50	7.90	6.41	1.49

6	7.85	6.40	1.45	7.91	6.39	1.52
7	7.75	6.33	1.42	7.94	6.59	1.35
ตารางที่ 5 ผลการตรวจค่าดีไอและบีโอดีของตัวอย่างน้ำผิวดิน (ต่อ)						
ผลการ ทดลอง	วิธีไฮไลต์			วิธีเมมเบรน		
	DO ₀	DO ₅	BOD	DO ₀	DO ₅	BOD
8	7.85	6.75	1.10	7.59	6.25	1.34
9	8.00	6.58	1.42	7.70	6.24	1.46
10	7.95	6.70	1.25	7.95	6.55	1.40
11	7.80	6.00	1.80	7.94	6.38	1.56
12	7.80	6.18	1.62	7.94	6.51	1.43
X-Bar	7.80	6.40	1.40	7.84	6.41	1.43
S.D	0.10	0.21	0.19	0.12	0.13	0.08
%RSD	1.32	3.27	13.56	1.50	2.06	5.64

จากตารางที่ 5 ผลการตรวจค่าดีไอและบีโอดีของตัวอย่างน้ำผิวดินของวิธีไฮไลต์โมดิฟิเคชั่น พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.80 , 0.10 และ 1.32 ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 6.40 , 0.21 และ 3.27 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 1.40 , 0.19 และ 13.56 ตามลำดับ วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.84 , 0.12 และ 0.41 ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 6.41 , 0.13 และ 2.06 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 1.43 , 0.08 และ 5.64 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของตัวอย่างน้ำผิวดิน

Independent Samples Test		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
DO ₀	Equal variances assumed	.397	.535	-.811	22	.426
	Equal variances not assumed			-.811	21.632	.426
DO ₅	Equal variances assumed	1.170	.291	-.105	22	.917
	Equal variances not assumed			-.105	18.571	.918
BOD	Equal variances assumed	3.023	.096	-.490	22	.629
	Equal variances not assumed			-.490	14.846	.632

จากการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของตัวอย่างน้ำผิวดิน พบว่า DO_0 , DO_5 และ BOD มีค่า F- test เท่ากับ 0.397, 1.170 และ 3.023 ตามลำดับ แสดงว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการทดสอบ T-test ให้ใช้ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Equal variances assumed ซึ่งพบว่า DO_0 , DO_5 และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.426 , 0.917 , 0.629 ตามลำดับ แสดงว่ายอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าดีไอและค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำผิวดินที่ทดสอบได้จากวิธีไฮโดรโมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3 ผลการทดสอบค่าดีไอและบีโอดีของของตัวอย่างน้ำเสีย

ผลการทดสอบตรวจวัดค่าดีไอวิธีไฮโดรโมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ของตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครขอนแก่น อำเภอเมืองจังหวัดขอนแก่น โดยการทดสอบด้วยวิธี Dilution method ที่เปอร์เซ็นต์การเจือจาง 20% แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการตรวจวัดค่าดีไอและบีโอดีด้วยวิธีไฮโดรโมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด ของสารของตัวอย่างน้ำเสีย

ผลการ ทดลอง	วิธีไฮโดร			วิธีเมมเบรน		
	DO_0	DO_5	BOD	DO_0	DO_5	BOD
1	7.55	4.25	16.50	7.75	4.45	16.50
2	7.60	4.32	16.40	7.68	4.17	17.55
3	7.60	3.75	19.25	7.66	3.98	18.40
4	7.50	4.15	16.75	7.72	4.21	17.55
5	7.65	4.35	16.50	7.73	4.39	16.70
6	7.55	4.22	16.65	7.69	4.29	17.00
7	7.65	4.12	17.65	7.62	4.10	17.60
8	7.60	4.27	16.65	7.66	4.35	16.55
9	7.60	4.30	16.50	7.65	4.15	17.50
10	7.69	4.17	17.60	7.62	4.14	17.40
11	7.65	4.15	17.50	7.69	4.42	16.35
12	7.50	4.17	16.65	7.64	4.20	17.20
X-Bar	7.60	4.19	17.05	7.68	4.24	17.19
S.D	0.06	0.16	0.83	0.04	0.14	0.60
%RSD	0.80	3.73	4.88	0.55	3.38	3.46

จากตารางที่ 7 ผลการตรวจค่าดีโอและบีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียของวิธีไฮโดรโมดิฟิเคชัน พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.60 , 0.06 และ 0.80 ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 4.19 , 0.16 และ 3.73 ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 17.05, 0.83 และ 4.88 ตามลำดับ วิธีเมมเบรนอิเล็กโทรด พบว่า DO₀ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 7.68 , 0.04 และ 0.55 ตามลำดับ DO₅ มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 4.24 , 0.14 และ 3.38ตามลำดับ BOD มีค่า X-Bar, S.D และ %RSD มีค่าเท่ากับ 17.19 , 0.60 และ 3.46 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของตัวอย่างน้ำเสีย

Independent Samples Test		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
DO ₀	Equal variances assumed	1.050	.317	-3.798	22	.001
	Equal variances not assumed			-3.798	19.623	.001
DO ₅	Equal variances assumed	.227	.639	-.858	22	.400
	Equal variances not assumed			-.858	21.846	.400
BOD	Equal variances assumed	.820	.375	-.480	22	.636
	Equal variances not assumed			-.480	19.932	.637

จากการทดสอบค่าสถิติ T-Test ของตัวอย่างน้ำเสีย พบว่า DO₀ , DO₅ และ BOD มีค่า F- test เท่ากับ 1.050 , 0.227 และ 0.820 ตามลำดับ แสดงว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการทดสอบ T-test ให้ใช้ผลการวิเคราะห์ในส่วนของ Equal variances assumed ซึ่งพบว่า DO₀ , DO₅ และ BOD ค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.001, 0.400 และ 0.636 ตามลำดับ แสดงว่ายอมรับ H₀ ปฏิเสธ H₁ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าดีโอและค่าบีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียที่ทดสอบได้จากวิธีไฮโดรโมดิฟิเคชันกับวิธีเมมเบรนอิเล็กโทรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%