



บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียในระบบบำบัด

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) ในช่วงวันที่ 15-19 ธันวาคม พ.ศ. 2551 โดยเก็บตัวอย่าง 2 ช่วงเวลา คือ 9:30 น. และ 15:30 น. เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการเรียนการสอน การทำวิจัย และการใช้น้ำในกิจกรรมอื่นๆ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1

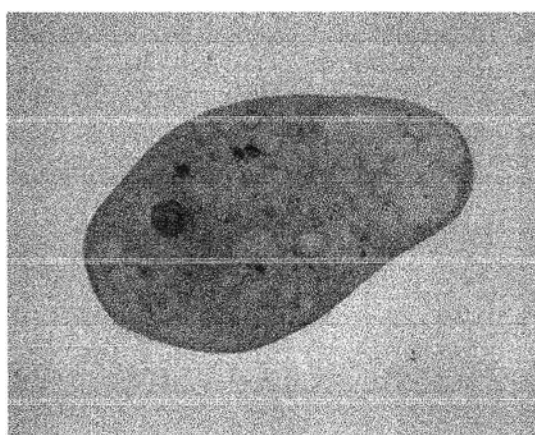
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติตัวอย่างน้ำจากบ่อสุดท้าย (Final tank) ของระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารมหามกุฏ

| พารามิเตอร์ | ผลการศึกษา | |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| | 9:30 น. | 15:30 น. |
| 1. pH | 7.33 ± 0.02 | 7.52 ± 0.14 |
| 2. Temperature (°C) | 27.2 ± 0.50 | 27.3 ± 0.19 |
| 3. DO (mg/L) | 4.77 ± 0.33 | 2.70 ± 0.04 |
| 4. BOD (mg/L) | 14.64 ± 5.85 | 17.04 ± 5.88 |
| 5. COD (mg/L) | 80.64 ± 12.88 | 80.64 ± 12.88 |
| 6. TDS (mg/L) | 165 ± 0.66 | 226 ± 1.08 |
| 7. TSS (mg/L) | 23 ± 0.10 | 24 ± 0.22 |
| 8. FCB (MPN/100ml) | 14 × 10 ⁴ | 14 × 10 ⁴ |

จากตารางที่ 1 พบว่า พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2537 เรื่อง การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด (อาคารประเภท

ก) แต่ ค่า DO ในช่วงเช้ามีค่ามากกว่าในช่วงบ่าย เนื่องจาก ในช่วงเช้าน้ำเสียได้รับการเติมออกซิเจนจากปอดเติมอากาศตลอดคืนและยังไม่ได้รองรับน้ำเสียเพิ่ม ส่วนในตอนบ่ายมีน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเรียนการสอนปฏิบัติการ การทำวิจัยของนิสิต และกิจกรรมอื่นๆเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบจึงส่งผลให้ค่า DO ลดลง

นอกจากนี้ ยังพบโปรโตซัวในระบบบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โปรโตซัวมักจะพบได้ทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge โดยทำหน้าที่กินแบคทีเรียส่วนเกินที่มีอยู่ในระบบ เพื่อควบคุมให้แบคทีเรียอยู่ในระดับที่เหมาะสม โปรโตซัวดังกล่าวเกาะสไลด์ค่อนข้างนิ่ง ตัวโต แสดงว่ามีจำนวนแบคทีเรียในระบบมากพอ (Seviour และ Blackhall, 1999)



รูปที่ 4.1 โปรโตซัวที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ

4.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ

วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากบ่อสุดท้าย (Final tank) เพื่อศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของน้ำ โดยแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ตะกอนของน้ำและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

4.1.1.1 วิเคราะห์ตะกอนของน้ำ

โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence spectrometry (XRF) ตามวิธีการในข้อ 3.2.1.2 (1) ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่าง แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ธาตุต่างๆที่พบเป็นธาตุที่ใช้ในการเรียนการสอนทั่วไปตามที่ตั้งสมมุติฐานไว้ แต่ปริมาณไม่สูงนัก การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ ซึ่งอาจไม่ใช่รูปของสารเคมีที่มีอยู่จริงในน้ำเสียและสัดส่วนน้ำหนักอาจคลาดเคลื่อนไปตามจำนวนออกซิเจน

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างตะกอน

| ปริมาณธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)* | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------|
| Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | P ₂ O ₅ | SO ₃ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CuO | ZnO | BaO |
| 1.08 | 0.28 | 10.03 | 1.48 | 0.57 | 12.14 | 1.20 | 3.63 | 0.14 | 0.01 | 0.65 | 0.81 | 0.63 | 0.04 |

* 1. ปริมาณธาตุหาโดยวิธี Theoretical formulas, "fundamental parameter calculations"

2. ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้คำนวณค่าให้อยู่ในรูป oxide ของธาตุนั้น ๆ

4.1.1.2 วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียด้วยวิธี Semi-quantitative X-ray fluorescence spectrometry analysis ด้วยเครื่องมือ X-ray fluorescence Spectrometer ยี่ห้อ Philips รุ่น PW-240 สภาพที่ใช้วิเคราะห์ อุณหภูมิ $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 10\%$ จากการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่าง แสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อสุดท้าย

| ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%wt) | | | | | | | |
|-------------------------------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-----|
| Al | Si | P | S | Ca | Fe | Ni | Cu |
| N/D | N/D | N/D | <0.01 | <0.01 | N/D | N/D | N/D |

* 1. ปริมาณของธาตุที่เครื่องมือสามารถวัดได้ต่ำสุด คือ 0.01 wt%

2. N/D = Not detectable

ธาตุที่พบน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRF ทั้งชนิดและปริมาณ ซึ่งแสดงว่าสารเคมีส่วนใหญ่ตกตะกอนไปแล้วส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำมีเพียงเล็กน้อยจนเทคนิคที่ใช้อาจไม่ไวพอสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียนี้

จึงทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเดิมซ้ำอีกครั้งด้วยเครื่องมือ Inductive Couple Plasma Spectrometry (ICPs) ยี่ห้อ Vista รุ่น Vista MPX Axial ตามข้อ 3.2.1.2 (2) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่าง

| Element (mg/L) | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| B | Ba | Ca | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Sr | Zn |
| 0.12 | 0.11 | 24.67 | 0.03 | 0.15 | 6.79 | 6.41 | 0.02 | 24.34 | 0.03 | 0.02 | 0.11 | 0.35 |

จากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน ไม่ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่เมื่อเทียบความเข้มข้นที่ตรวจวัดกับค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง จากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ที่ควบคุมโลหะหนักไว้ 12 ชนิด และมี 6 ชนิดที่ตรวจพบในน้ำเสียตัวอย่าง ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) ของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

| โลหะหนัก | Zn | Cu | Ba | Pb | Ni | Mn |
|--|------|------|------|------|------|------|
| ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) ไม่เกิน (mg/L) | 5.0 | 2.0 | 1.0 | 0.2 | 1.0 | 5.0 |
| ค่าที่ตรวจพบในตัวอย่าง | 0.35 | 0.03 | 0.11 | 0.02 | 0.03 | 0.02 |

ที่มา : ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ (2551)

ในขั้นนี้สรุปได้ว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดของอาคารหมักกัญไม่มีสารเคมีหลงเหลือออกไปจากระบบบำบัดมากเกินไปที่กฎหมายกำหนด มีเพียง Zn และ Ba ที่สูงกว่าสารอื่นๆ ธาตุทั้งสองใช้ในการเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์เป็นปกติ

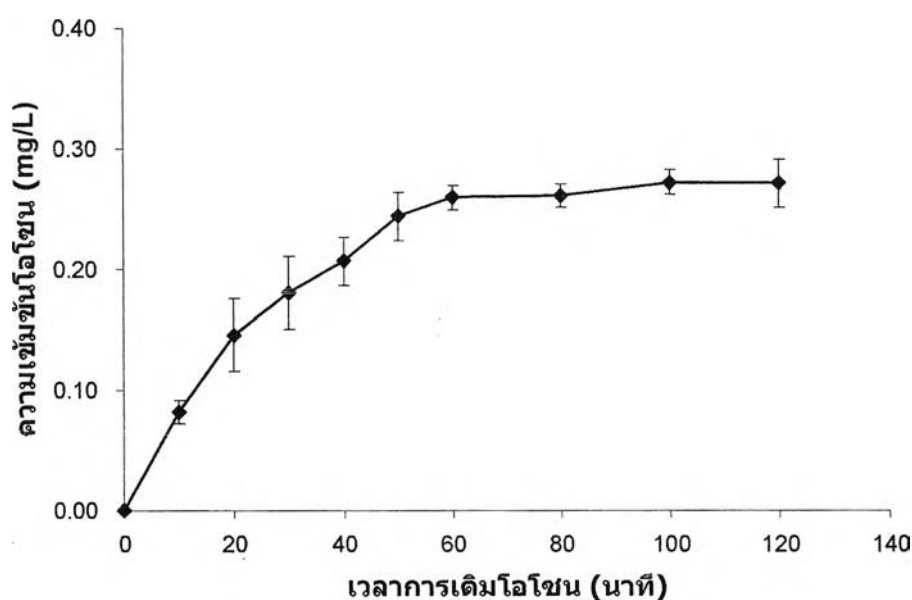
4.2 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ

การใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียทำโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน ยี่ห้อ Econo-watd รุ่น M15NP (D) กำลังการผลิตโอโซน 2.1 กรัมต่อชั่วโมง ผลิตโอโซนและผสมโอโซนลงในน้ำด้วยวิธี Corona Discharge ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของก๊าซ 0.64 นอร์มัลลิตรต่อนาที ความเข้มข้นโอโซนในน้ำเสียวิเคราะห์ด้วยวิธี Indigo Colorimetric Method (APHA, 1998)

เนื่องจากวางแผนการทดลองไว้ว่าจะใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดบ่อดสุดท้ายมาเติมโอโซนแล้วเติมลงในบ่อดเติมอากาศแทนการเติมอากาศ ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลการเติมโอโซนลงในบ่อดสุดท้ายก่อน

4.2.1 ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเสียจากบ่อดสุดท้าย (Final tank) โอโซนอิ่มตัว หรือโอโซนเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state)

การละลายของโอโซนในน้ำเสียขึ้นกับอุณหภูมิ เนื่องจาก อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญต่อการละลายน้ำของก๊าซ โดยอุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้การละลายของก๊าซในน้ำเพิ่มขึ้น (Weber, 1972) การทดลองนี้ จึงควบคุมอุณหภูมิของน้ำเสียให้คงที่ที่ 30°C เพื่อให้ใกล้เคียงกับน้ำผิวดินตามธรรมชาติ หลังจากการเติมโอโซนอย่างต่อเนื่องแล้วทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสียที่เวลาต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2

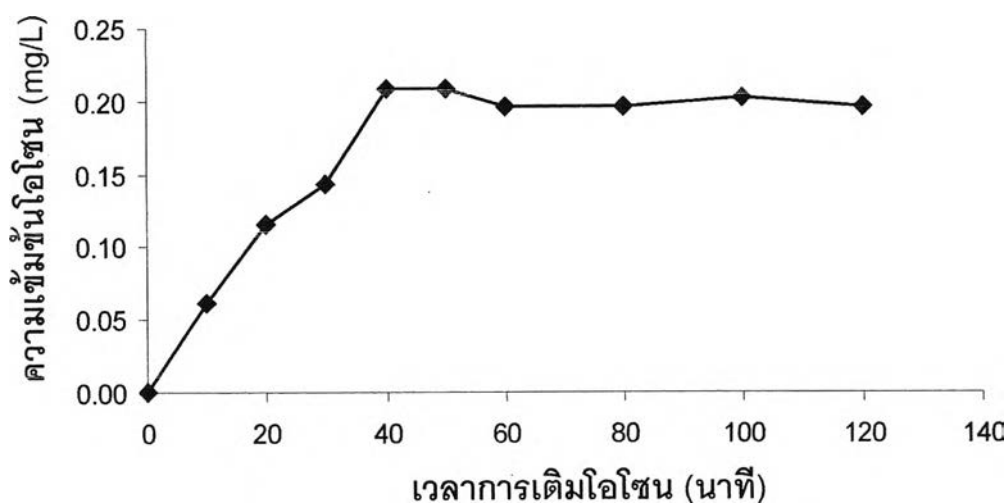


รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสีย เมื่อเติมโอโซนที่เวลาต่างๆ โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ อากาศ (ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 5 ครั้ง)

จากการทดลอง อุณหภูมิห้องขณะทำการทดลอง คือ $28 \pm 0.90^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $25.1 \pm 0.55\%$ จากการเติมโอโซนอย่างต่อเนื่อง พบว่า เมื่อให้โอโซนสัมผัสกับน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ความเข้มข้นของโอโซนที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงนาทีที่ 60 ซึ่งมีความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสียประมาณ 0.26 ± 0.01 mg/L และมีความเข้มข้นของโอโซนในน้ำไม่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 120 นาที แสดงให้เห็นว่า โอโซนได้ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียจนไม่

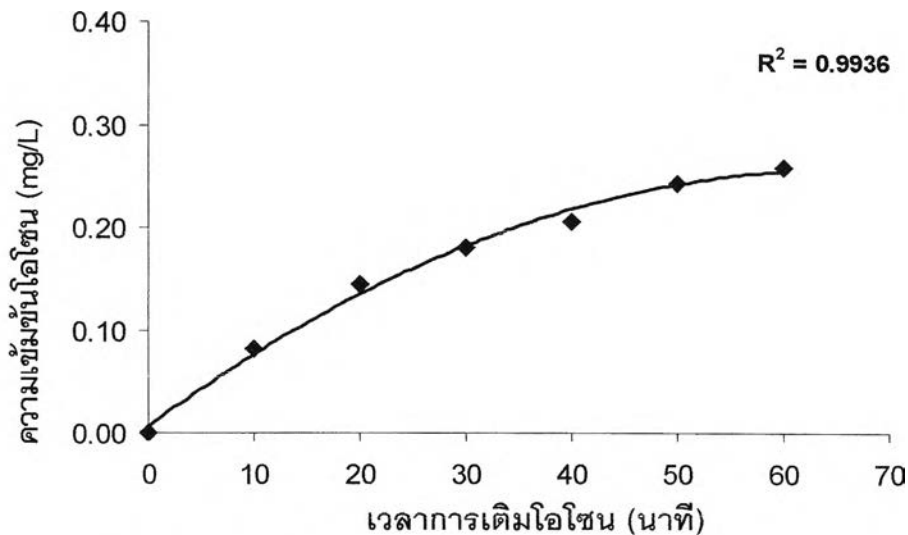
สามารถออกซิไดซ์ได้อีกต่อไป ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่วิเคราะห์ได้จึงไม่เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ขึ้นกับขนาดกำลังการผลิตของเครื่อง และแหล่งกำเนิดออกซิเจน ทัศนัญจิต โสภัญญ์ศิริ (2543) รายงานความเข้มข้นของโอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน กำลังการผลิต 2 กรัมต่อชั่วโมง เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์และอากาศ พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำจากก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์และอากาศ คือ 0.228 และ 0.180 mg/L ตามลำดับ ทั้งนี้ ความเข้มข้นของโอโซนยังขึ้นกับอัตราการไหลของโอโซนในน้ำ เมื่อปรับอัตราการไหลของโอโซนจาก 0.5 ลิตรต่อนาที เป็น 6.0 ลิตรต่อนาที พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำที่เวลา 30 นาที คือ 0.05 และ 3.3 mg/L ตามลำดับ ดังนั้น อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มความเข้มข้นของโอโซนในน้ำให้สูงขึ้นและเข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วกว่า (รศวันต์ วุฒิพงศ์, 2546) การศึกษาครั้งนี้ก็ได้ผลใกล้เคียงแต่สูงกว่ารายงานทั้งสองนี้ กล่าวคือ กำลังการผลิตของเครื่องคือ 2.1 กรัมต่อชั่วโมง วัตถุประสงค์คืออากาศ อัตราการไหลของก๊าซ 0.64 นอร์มัลลิตรต่อนาทีแต่ให้โอโซน 1.8 mg/L ที่ 30 นาที

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการละลายของโอโซนในน้ำ พบว่า เป็นลักษณะแบบ Polynomial ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยมีสมการ คือ $y = -6E-05X^2 + 0.0076X + 0.0064$ และมีความเชื่อมั่น (R^2) = 0.9936 และมีอัตราการละลายของโอโซนในน้ำ เท่ากับ 0.0043 mg/min



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของโอโซนในประปา เมื่อเติมโอโซนที่เวลาต่างๆ โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ อากาศ

จากรูปที่ 4.3 เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการเติมไอโซนในน้ำประปา พบว่า ไอโซนเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 40 นาที ซึ่งมีความเข้มข้นไอโซนในน้ำประปา ประมาณ 0.208 ± 0.008 mg/L ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำที่มีความบริสุทธิ์จะส่งผลให้ไอโซนเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วขึ้น (สุเมธ ขวเดช, 2541)



รูปที่ 4.4 การละลายของไอโซนในน้ำ ที่เวลา 0-60 นาที

หลังเติมไอโซนจนอิ่มตัว วิเคราะห์น้ำตัวอย่างด้วยเครื่องมือ ICPs (ตารางที่ 4.6) ธาตุที่ตรวจพบมีปริมาณลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับก่อนการบำบัดด้วยไอโซน แต่พบว่า Zn มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.35 เป็น 2.47 mg/L การเพิ่มขึ้นนั้นไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัดอาจมาจากการเรียนการสอนในขณะนั้นๆมีการใช้ ZnCl ในการวิจัยและการเรียนการสอนในอาคาร (ภาคผนวก ง) เพราะการเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความเข้มข้นของ Cl ที่เพิ่มขึ้น จาก 6.25 เป็น 7.16 mg/L และ ZnCl ถูกไอโซนออกซิไดส์ให้แตกตัว อย่างไรก็ตามค่าที่ตรวจพบไม่เกินค่ามาตรฐาน เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

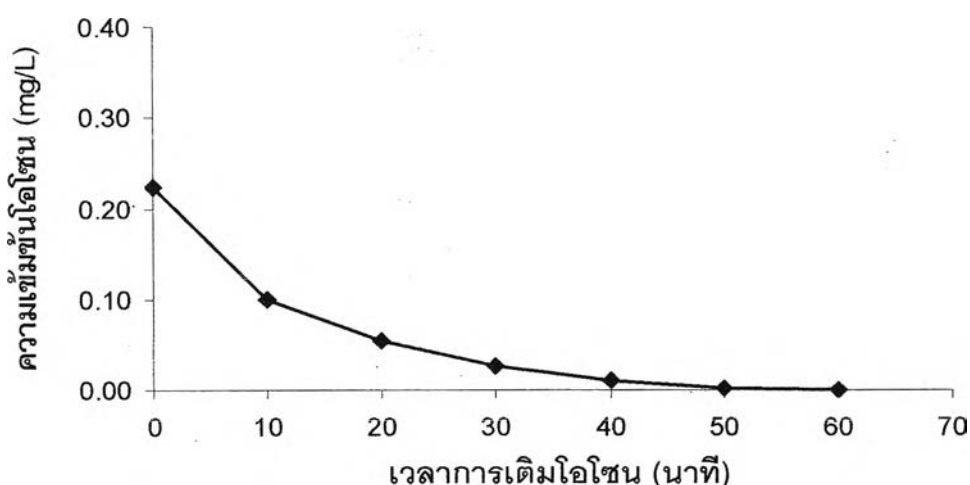
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างหลังบำบัดด้วยไอโซน

| Element (mg/L) | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| B | Ba | Ca | Cr | Cu | Fe | K | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Sr | Zn |
| N/D | 0.06 | 17.23 | 0.01 | 0.08 | 0.06 | 4.42 | 3.55 | 0.01 | 13.86 | 0.03 | 0.02 | 0.07 | 2.47 |

* N/D = Not detectable

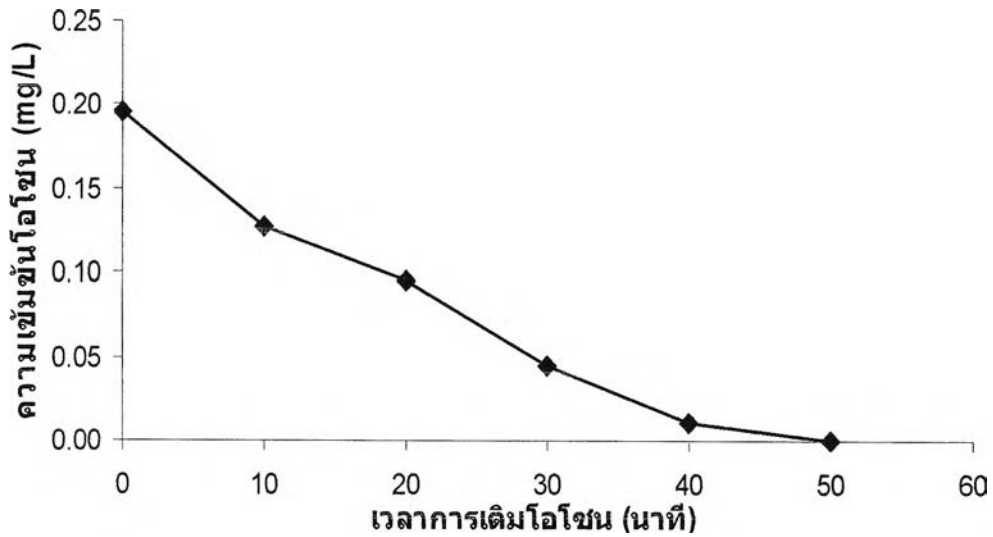
4.2.2 ระยะเวลาที่ไอโซนเปลี่ยนกลับเป็นออกซิเจน

เมื่อหยุดเติมไอโซน ไอโซนจะแตกตัวทำให้มีไอโซนในน้ำน้อยลงไปเรื่อยๆ เพื่อหาอัตราการลดลงของไอโซน ทำการตรวจวัดความเข้มข้นไอโซนในน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) ที่อิมตัวด้วยไอโซนที่อุณหภูมิห้อง ($29.80 \pm 1.15^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $26.20 \pm 1.30\%$) และหยุดเติมไอโซน พบว่า ความเข้มข้นของไอโซนจะค่อยๆ ลดลง เป็นลักษณะแบบ Exponential นานที่ 0 เมื่อหยุดให้ไอโซน ความเข้มข้นของไอโซนเท่ากับ 0.224 ± 0.02 mg/L เมื่อเวลาผ่านไป 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที ความเข้มข้นของไอโซนลดลงเหลือ 0.10 ± 0.03 , 0.053 ± 0.02 , 0.025 ± 0.02 , 0.010 ± 0.01 และ 0.002 mg/L ตามลำดับ และไม่พบไอโซนในน้ำเสียเมื่อทิ้งไว้ 60 นาที ผลดังกล่าวคล้ายรายงานของสุรพล รักปทุม (2543) แต่เป็นกรณีการศึกษาในอากาศที่ระบุว่า ในพื้นที่ที่มีการระบายอากาศเข้าออกตลอดเวลา ไอโซนจะสลายตัวหมดภายใน 50 นาที การศึกษานี้พบว่าการแตกตัวของไอโซนในน้ำเสียนี้อาจมีค่าครึ่งชีวิต (Half life) ประมาณ 10 นาที โดยมีสมการ คือ $y = 1E-04X^2 + 0.0092X + 0.2062$ และมีค่าความเชื่อมั่น (R^2) = 0.9651 ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของไอโซนในน้ำเสีย เมื่อหยุดเติมไอโซน

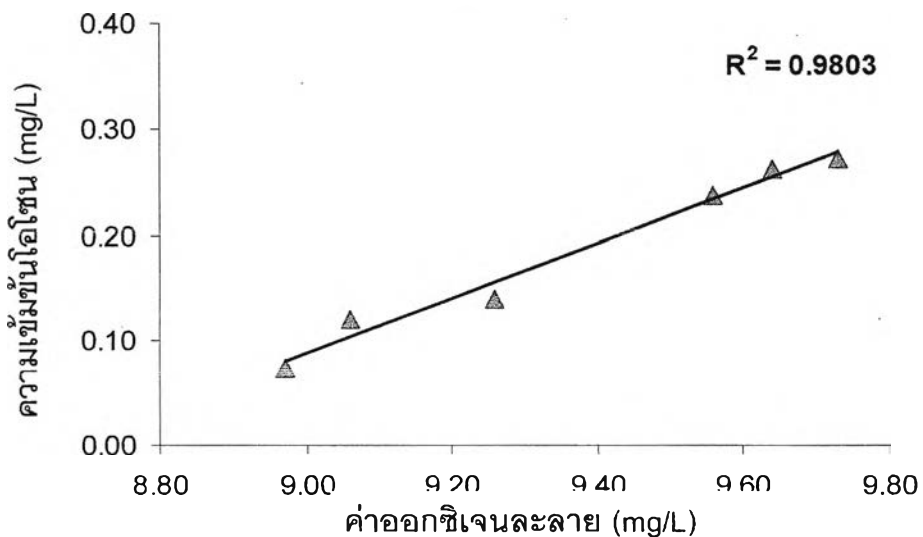
เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของไอโซนในน้ำประปา พบว่า ความเข้มข้นไอโซนค่อยๆ ลดลงที่เวลา 60 นาที มีความเข้มข้นไอโซนในน้ำประปาประมาณ 0.055 ± 0.006 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของโอโซนในประปา เมื่อหยุดเติมโอโซน

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและค่า DO

การแตกตัวของโอโซนจะได้ ออกซิเจน ดังนั้นเมื่อโอโซนในน้ำแตกตัวควรทำให้ DO ในน้ำสูงขึ้น จึงหาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของโอโซนและค่า DO ในน้ำเสียเมื่อทำการเติมโอโซนใส่น้ำอย่างต่อเนื่อง เก็บตัวอย่างมาวัดความเข้มข้นของโอโซนและ DO ที่เวลา 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที (รูปที่ 4.7) พบว่า ความเข้มข้นของโอโซนสัมพันธ์กับค่า DO เป็นเส้นตรง ด้วยสมการ $y = 0.2615x - 2.2665$ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9803

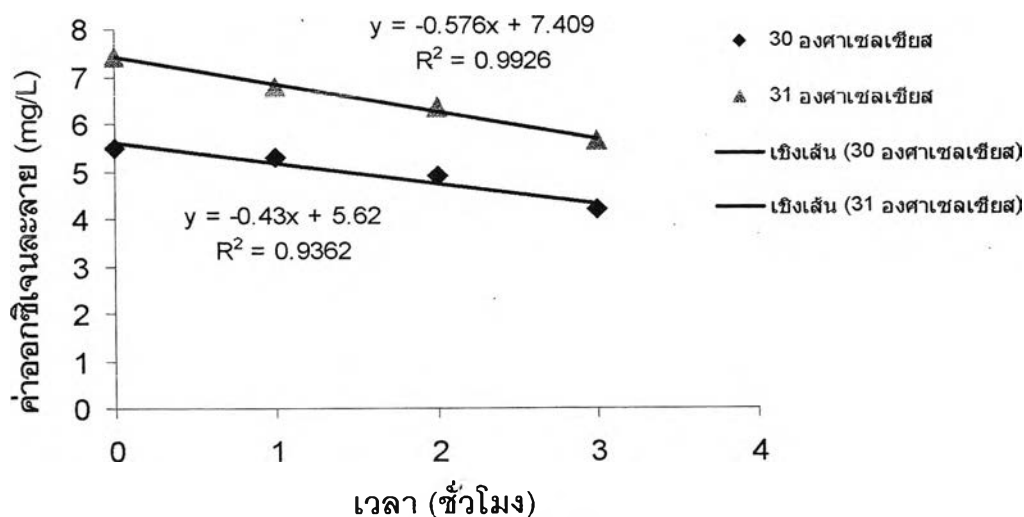


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซน และค่า DO

พบว่า การเติมโอโซนแม้เพียง 10 นาที ก็ส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเจนในน้ำอิ่มตัวเกินไป (Over saturation) เพราะมีค่า DO มากกว่า 8.9 mg/L ในขณะที่ ค่าออกซิเจนละลายอิ่มตัวในน้ำปกติ (Saturation) คือ 8 mg/L ที่ 30°C ความดัน 1 บรรยากาศ ที่ 60 นาทีค่า DO เท่ากับ 9.75 mg/L แสดงว่ามีค่า DO มากพอที่จะนำไปผสมกับน้ำเสียเพื่อให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียใช้ได้

4.2.4 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณ DO

เนื่องจากอุณหภูมิที่มีผลต่อการละลายของก๊าซในน้ำ ดังนั้นการผสมน้ำที่อิ่มตัวด้วยโอโซน กับน้ำเสียที่อุณหภูมิสูงขึ้นอาจทำให้มี DO เหลือไม่มากพออย่างที่คาด ดังนั้นจึงทดลองเติมโอโซนในน้ำบ่อสุดท้ายจนอิ่มตัว แล้วผสมกับน้ำเสียด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร แล้วปล่อยให้โอโซนแตกตัวเป็น DO โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 30 และ 31 °C พบว่า ที่อุณหภูมิ 31°C ทำให้โอโซนในน้ำผสมแตกตัวเป็นออกซิเจนเร็วกว่า ที่ 30 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.8 การแตกตัวหลังการผสมที่ 31°C ทำให้ได้ค่า DO 7.4 mg/L ซึ่งยังใกล้กับจุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ความเข้มข้นของโอโซนหลังการผสม เท่ากับ 0.07 mg/L ซึ่งไม่ทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย



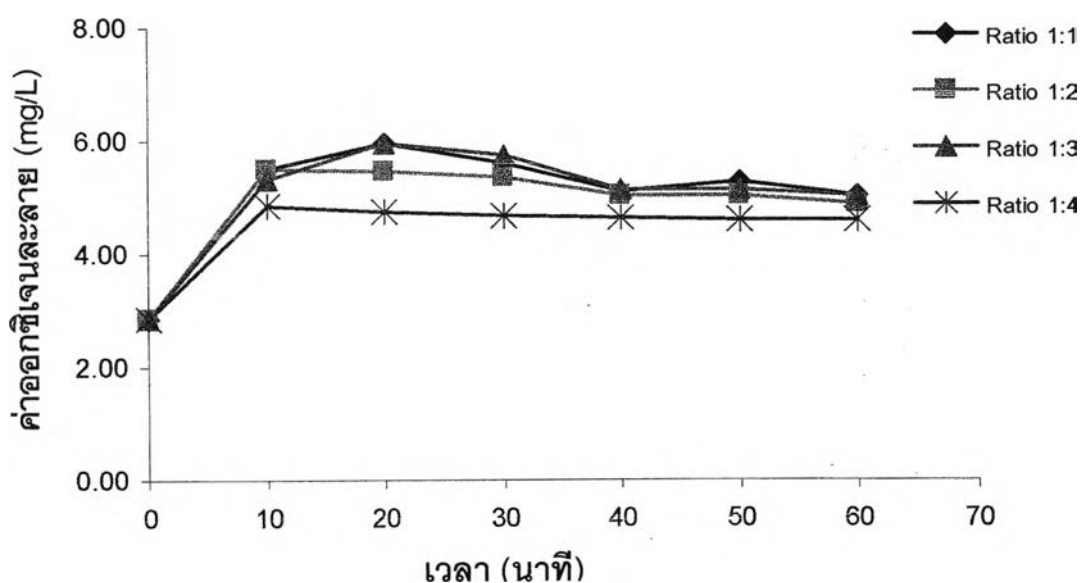
รูปที่ 4.8 ผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของโอโซน ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

4.2.5 รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซน

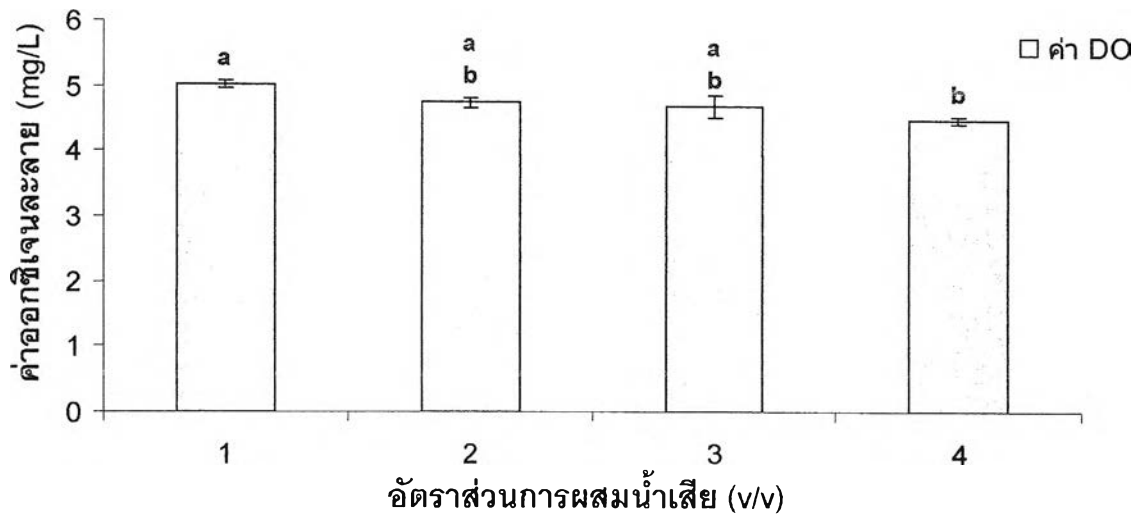
เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซนกับน้ำเสีย จึงทำการเติมโอโซนในน้ำเสียให้อิ่มตัวแล้วผสมกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3

และ 1:4 โดยปริมาตร (รูปที่ 4.9) พบว่า หลังการผสมที่เวลา 10 นาที ค่า DO ในน้ำเสียมีค่าระหว่าง 4.95-5.83 mg/L และทิ้งไว้ 60 นาที น้ำเสียมีค่า DO เท่ากับ 5.02 ± 0.10 , 4.75 ± 0.13 , 4.70 ± 0.31 และ 4.50 ± 0.10 mg/L ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่า DO ของน้ำเสียที่ได้รับการเติมอากาศตลอดเวลาซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.26 ± 1.02 mg/L เมื่อพิจารณารูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิมัตต์ด้วยโอโซนจะเห็นว่า หลังการผสมค่า DO มีค่าเพิ่มขึ้น และค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

จากนั้นนำค่า DO จากอัตราส่วนต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ แบบ one way analysis (รูปที่ 4.10) ผลการวิเคราะห์พบว่า อัตราส่วนทั้ง 4 แบบ มีค่า DO ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ค่า DO เหลือในน้ำเสียที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ไม่แตกต่างกัน ขณะที่อัตราส่วน 1:2, 1:3 และ 1:4 ก็มีค่า DO ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่า ค่า DO ที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:4 มีค่า DO ในน้ำเสียแตกต่างกัน

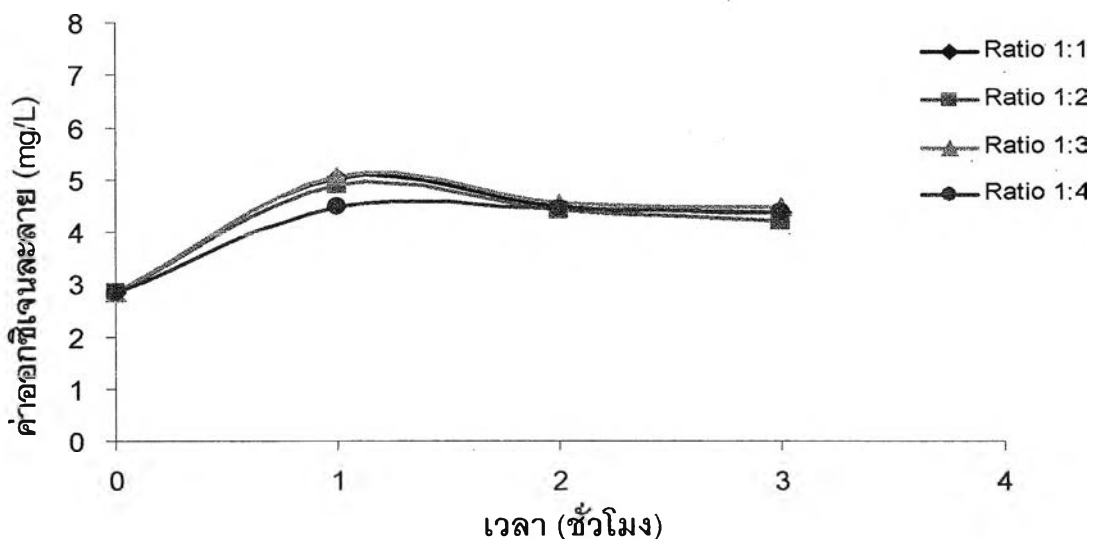


รูปที่ 4.9 รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิมัตต์ด้วยโอโซน ที่ 60 นาที ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ



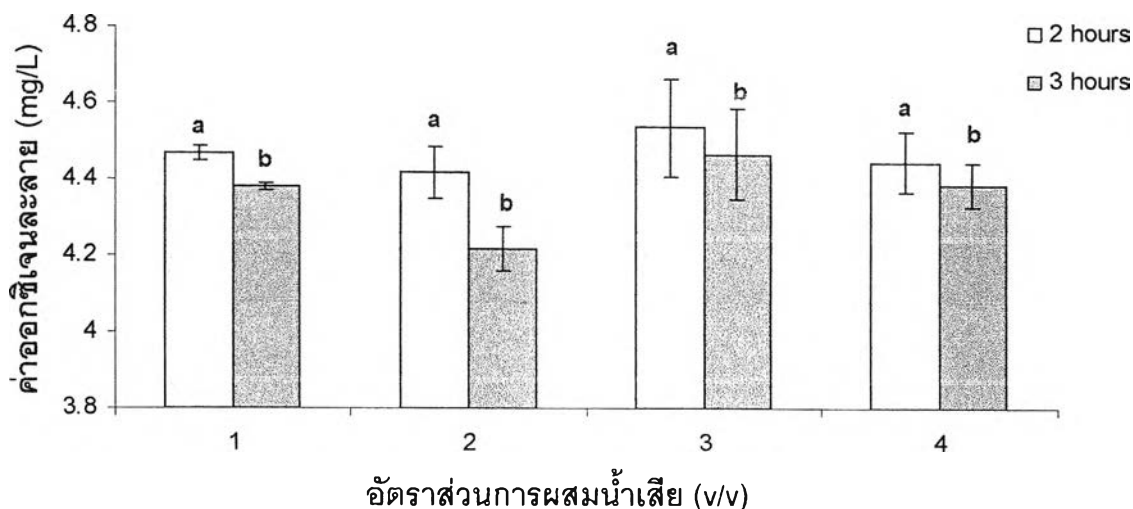
รูปที่ 4.10 ค่า Dissolved oxygen ที่ 60 นาที ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

เมื่อพิจารณาค่า DO ต่อไปจนถึง 3 ชั่วโมง พบว่า ค่า DO มีค่าระหว่าง 4.30-4.50 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งแม้จะปล่อยให้จุลินทรีย์ใช้ออกซิเจนถึง 3 ชั่วโมงแต่ค่า DO ที่เหลืออยู่ในน้ำยังคงมีค่าเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ จากนั้นนำค่า DO จากอัตราส่วนต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ แบบ one way analysis พบว่า ที่อัตราส่วนทั้ง 4 แบบ มีค่า DO ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งชั่วโมงที่ 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิมัตว์ด้วยโอโซน ที่ 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

หมายเหตุ ค่าที่เวลา 0 ชั่วโมง คือค่าของน้ำเสียก่อนเติมโอโซน

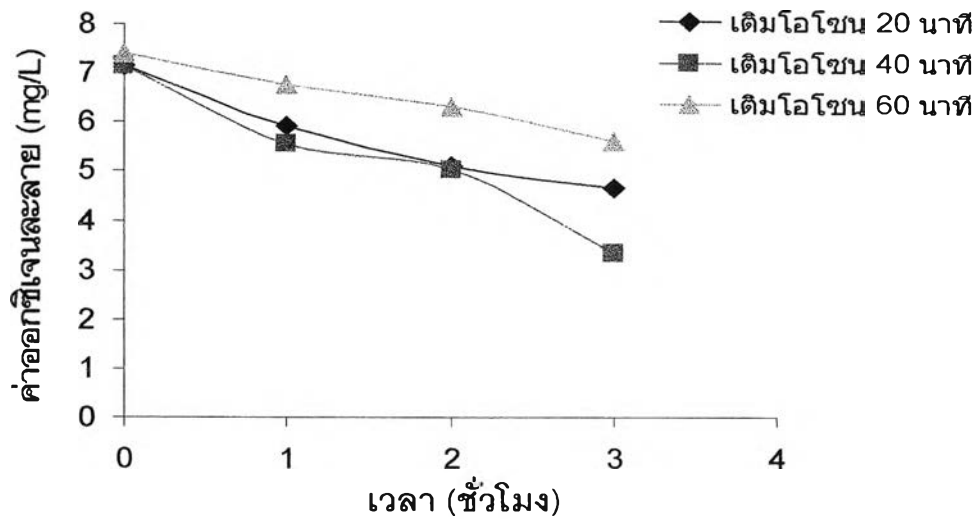


รูปที่ 4.12 ค่า Dissolved oxygen ที่ 2 และ 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ

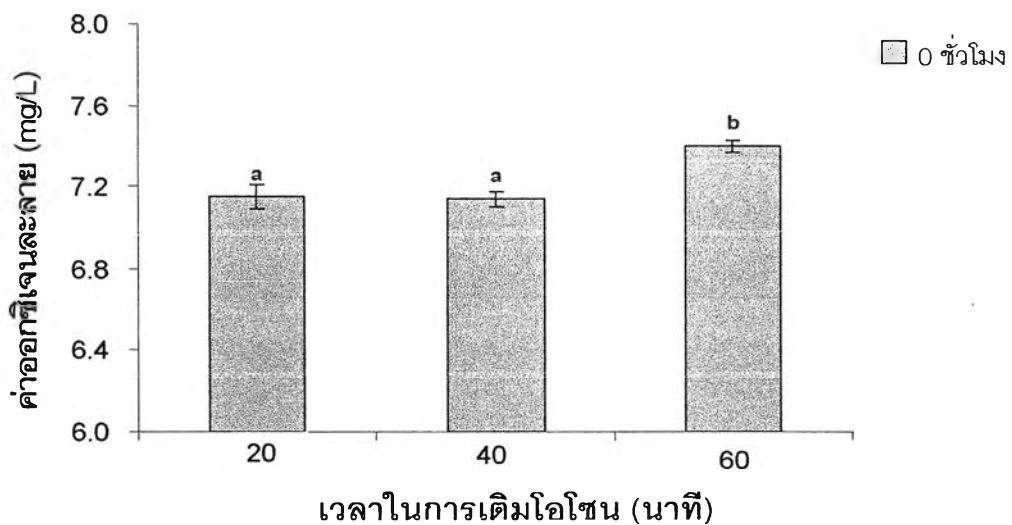
4.2.6 ศึกษาระยะเวลาในการเติมโอโซนที่มีผลต่อปริมาณ DO

จากผลการทดลองในข้อ 4.2.5 พบว่า การเติมโอโซนจนอิ่มตัวในน้ำบ่อสุดท้าย 60 นาที หลังการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร เมื่อทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ค่า DO ในน้ำยังคงเหลือประมาณ 4 mg/L ซึ่งยังคงเพียงพอต่อการดำรงชีวิตจุลินทรีย์ เพื่อความประหยัดจึงทำการลดเวลาเติมโอโซนในน้ำ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการเติมโอโซน ให้ใช้เวลาน้อยแต่ยังคงมีปริมาณ DO พอเพียง จึงแปรผันเวลาการเติมโอโซนในน้ำเสียเป็น 20, 40 และ 60 นาที จากนั้นผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ผลการทดลอง พบว่า หลังจากการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย ค่า DO ในน้ำสูงถึง 7-7.4 mg/L ซึ่งใกล้เคียงกับจุดอิ่มตัวของ O_2 ในน้ำ ณ. อุณหภูมิห้อง การผสมกับน้ำเติมโอโซนนานถึง 60 นาที ทำให้น้ำมีค่า DO มากกว่าน้ำเสียที่ผสมกับน้ำที่เติมโอโซน 40 และ 20 นาที และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แบบ one way analysis พบว่า การเติมโอโซนที่ระยะเวลาต่างกัน ส่งผลให้ค่า DO แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

เมื่อทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง การลดลงของค่า DO ในน้ำผสมกับน้ำเติมโอโซน 60 นาที ก็ลดลงต่ำกว่าน้ำผสมกับน้ำเติมโอโซน 40 และ 20 นาที อย่างไรก็ตามน้ำที่ผสมน้ำเติมโอโซน 20 นาที ก็ยังคงมีค่า DO ถึง 4.67 mg/L ซึ่งเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้น จึงเลือกการเติมโอโซน 20 นาที แล้วผสมกับน้ำเสียในการศึกษาต่อไป



รูปที่ 4.13 ผลของระยะเวลาเติมโอโซนต่อปริมาณ DO ในน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.14 ผลของระยะเวลาเติมโอโซนต่อปริมาณ DO ในน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

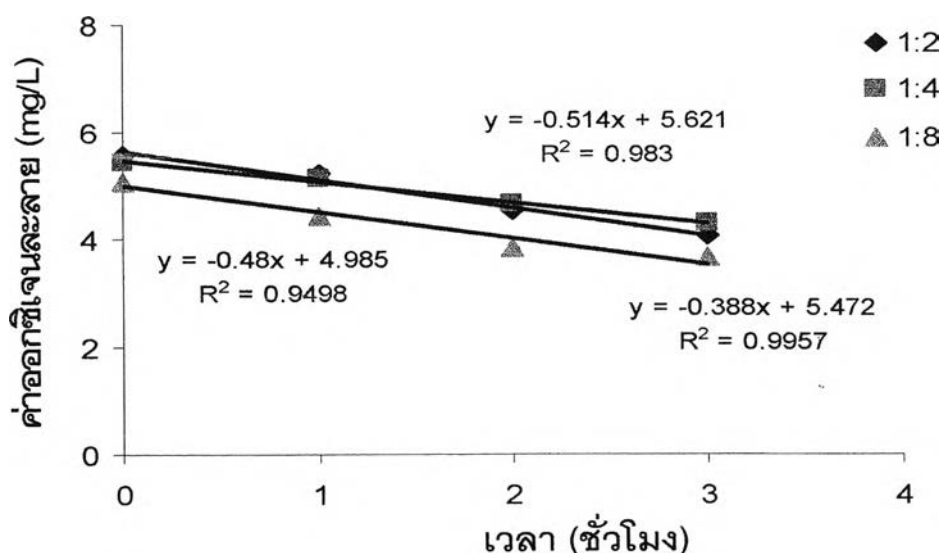
4.2.7 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำเติมโอโซน

จากการทดลองที่ 4.2.6 แสดงให้เห็นว่า การเติมโอโซนเพียง 20 นาที หลังการผสม 3 ชั่วโมง ยังคงมีค่า DO สูงถึง 4.67 mg/L แต่การผสมดังกล่าว คือ ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรเมื่อนำไปใช้จริงจะต้องสร้างบ่อเติมโอโซน ขนาดใหญ่ทำให้ต้นทุนสูง ดังนั้น จึงทำการแปรผันอัตราส่วนการผสมน้ำเติมโอโซนต่อน้ำเสีย โดยเพิ่มอัตราส่วนการผสมเป็น 1:2, 1:4 และ 1:8 โดยปริมาตร ทั้งนี้ ข้อที่ต้องระวังคือหลังการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียต้องคำนึงถึงความเข้มข้น

ของไอโซนหลังการผสมต้องไม่ทำลายจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย และค่า DO ต้องเพียงพอต่อจุลินทรีย์ การทดลองนี้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C ตลอดการทดลอง ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) เมื่อทำการเติมไอโซน 20 นาที (อุณหภูมิ 29.67±0.58°C) พบว่า %O₂ Saturated เท่ากับ 116.90±3.12, ค่า DO เท่ากับ 8.95±0.13 mg/L, ความเข้มข้นไอโซน เท่ากับ 0.14±0.01 mg/L และค่า COD เท่ากับ 26.24 mg/L

4.2.7.1 ผลของอัตราส่วนต่างๆ ต่อค่า DO

หลังจากการผสมน้ำเติมไอโซนกับน้ำเสีย พบว่า ค่า DO หลังการผสม ที่อัตราส่วน 1:2, 1:4 และ 1:8 โดยปริมาตร คือ 5.56±0.13, 5.45±0.11 และ 5.08±0.02 mg/L ตามลำดับ และหลังการตั้งทิ้งไว้ ค่า DO ค่อยๆ ลดลง เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง ค่า DO เหลือ ในน้ำประมาณ 3.68-4.31 mg/L ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ที่อัตราส่วน 1:2, 1:4 และ 1:8 มี DO เหลืออยู่พอๆ กัน แม้ 1:8 จะเหลือ DO น้อยที่สุด แต่ก็ยังมากพอสำหรับการดำรงชีพของจุลินทรีย์

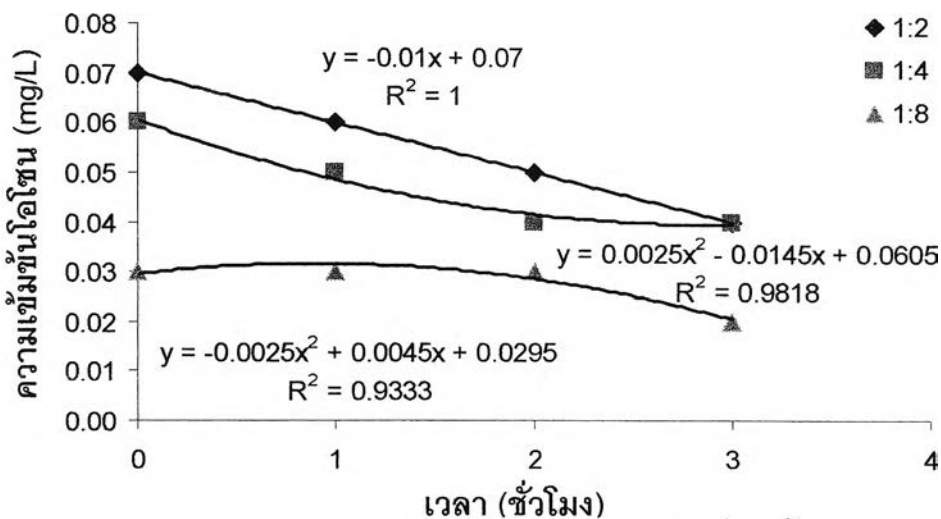


รูปที่ 4.15 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อค่า DO ในน้ำเสีย (ค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมง)

4.2.7.2 ผลของอัตราส่วนต่างๆ ต่อความเข้มข้นของไอโซน

จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของไอโซนหลังการผสมน้ำเสีย มีความเข้มข้นไอโซน 0.07±0.01, 0.06±0.01 และ 0.03±0.01 mg/L ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และค่อยๆ ลดลงเมื่อทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ซึ่งความเข้มข้นของไอโซนดังกล่าวไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์

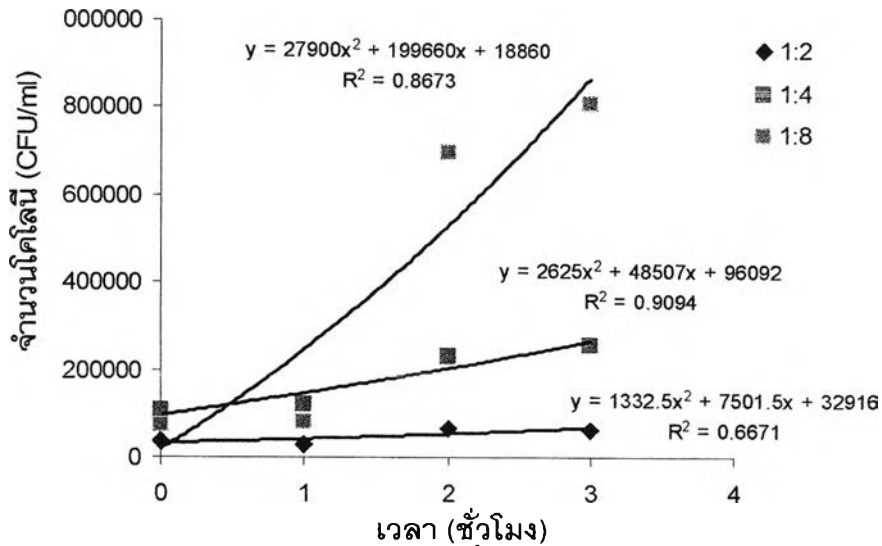
ความเข้มข้นของโอโซนที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างรวดเร็ว คือ 0.1 mg/L (นบชนก รัตนพงศธร, 2544) และกลไกการทำลายจุลินทรีย์ของโอโซน คือ โอโซนจะเข้าทำปฏิกิริยาบริเวณผนังเซลล์ (cell wall) ของแบคทีเรีย ทำให้ผนังเซลล์เสื่อมสภาพจนผนังเซลล์แตก และจุลินทรีย์ตายในที่สุด (Khadre and Yousef, 2001)



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราส่วนการผสมต่อความเข้มข้นของโอโซน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)

4.2.7.3 ผลของอัตราส่วนต่างๆ ต่อจำนวนแบคทีเรียในน้ำเสีย

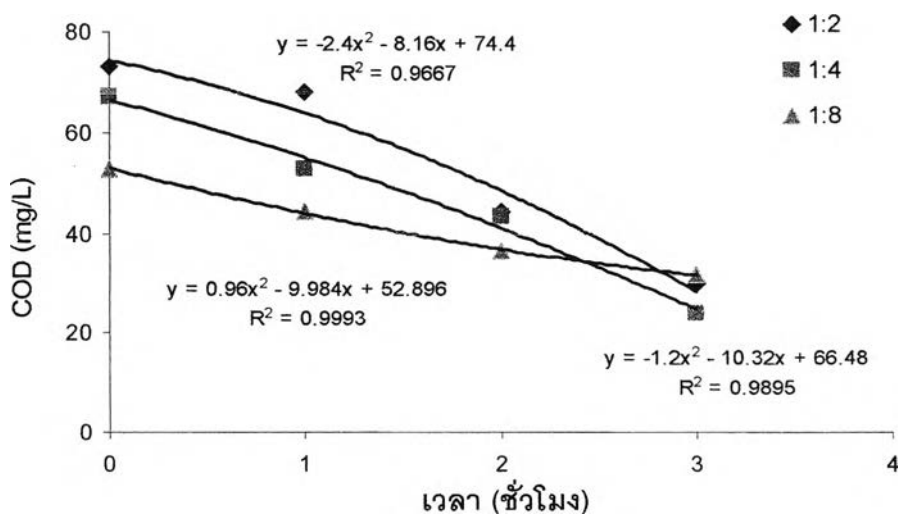
เมื่อติดตามจำนวนแบคทีเรียในน้ำหลังทำการผสมด้วยอัตราส่วนต่างๆพบว่า จำนวนแบคทีเรียเพิ่มจำนวนขึ้นทั้ง 3 อัตราส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.17 หลังการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย จำนวนเชื้อแบคทีเรียหลังผสมในตอนแรกมีจำนวนไม่เท่ากัน และมีจำนวนแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 3.7×10^4 - 1.05×10^5 cfu/ml ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับก่อนการผสม คือ 4.5×10^5 cfu/ml ทั้งนี้อาจเนื่องจากขณะทำการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย แบคทีเรียบางส่วนถูกทำลายไป แต่พอได้รับออกซิเจนและสภาวะที่เหมาะสม ทำให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนขึ้น และสอดคล้องกับความเข้มข้นของโอโซนในหัวข้อ 4.2.7.2 ที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นซ้ำเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:8 คาดว่าที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 ความเข้มข้นของโอโซน (0.07 และ 0.06 mg/L ตามลำดับ, รูปที่ 4.16) คงมากพอที่จะทำให้เซลล์แบคทีเรียเสียหาย แม้ไม่ตายแต่ก็ต้องใช้เวลาฟื้นตัวจึงเพิ่มจำนวนซ้ำ ขณะที่อัตราส่วน 1:8 โอโซนในน้ำมีเพียง 0.03 mg/L ไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ จึง มีจำนวนเพิ่มขึ้นจาก 7.45×10^4 เป็น 8.13×10^5 cfu/ml เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราส่วนต่อจำนวนแบคทีเรียในน้ำเสียที่เวลา 72 ชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)

4.2.7.4 ผลของอัตราส่วนต่างๆ ต่อค่า COD น้ำเสีย

จากผลการทดลอง พบว่า ความสามารถในการลดค่า COD เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วน 1:2, 1:4 และ 1:8 โดยปริมาตร คือ 60.0, 63.24 และ 43.31% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 การลดลงของค่า COD นั้นสันนิษฐานว่า คงเกิดจากปฏิกิริยาเคมีร่วมกับการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ โดยพบว่าที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 มีประสิทธิภาพสูง แต่เนื่องจากการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4 ไม่สูงนักดังนั้นการลด COD จึงน่าจะเกิดจากการออกซิไดส์ มากกว่าการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ เป็นที่สังเกตว่าค่า COD เริ่มต้นของแต่ละอัตราส่วนไม่เท่ากันเนื่องจากการเจือจางหลังการผสม



รูปที่ 4.18 ผลของอัตราส่วนต่อค่า COD (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)

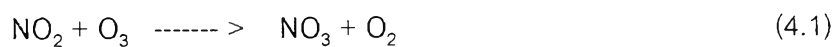
เมื่อนำตัวอย่างน้ำเสียที่ผสมด้วยอัตราส่วน 1:8 มาวิเคราะห์ไอออน ด้วยเครื่องมือ Ion Chromatography เปรียบเทียบกับน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตร

| ตัวอย่างน้ำเสีย | ความเข้มข้น (mg/L) | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------|------------------|
| | Cl ⁻ | Br ⁻ | NO ³⁻ | PO ₄ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | Na ⁺ | NH ₄ ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ |
| บ่อ Final | 6.25 | 0.67 | 0.42 | 0.57 | 9.22 | 6.40 | 12.20 | 5.66 | 22.86 | 6.30 |
| เติมโอโซน 20 นาที | 7.16 | 0.65 | 2.38 | N/D* | 10.60 | 7.29 | 11.51 | 5.77 | 22.11 | 6.41 |

*N/D = Not detectable

ผลการวิเคราะห์ พบว่า สารเคมีส่วนใหญ่ มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับของเดิม ยกเว้นความเข้มข้นของไนเตรท มีค่าเพิ่มขึ้น จาก 0.42 mg/L เป็น 2.38 mg/L การเพิ่มขึ้นของไนเตรท อาจเกิดจากการที่โอโซนไปออกซิไดซ์ไนโตรเจนในรูปต่างๆ แยกตัวและจับกับโอโซน กลายเป็นไนเตรทมากขึ้น โดยสามารถแสดงปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.1



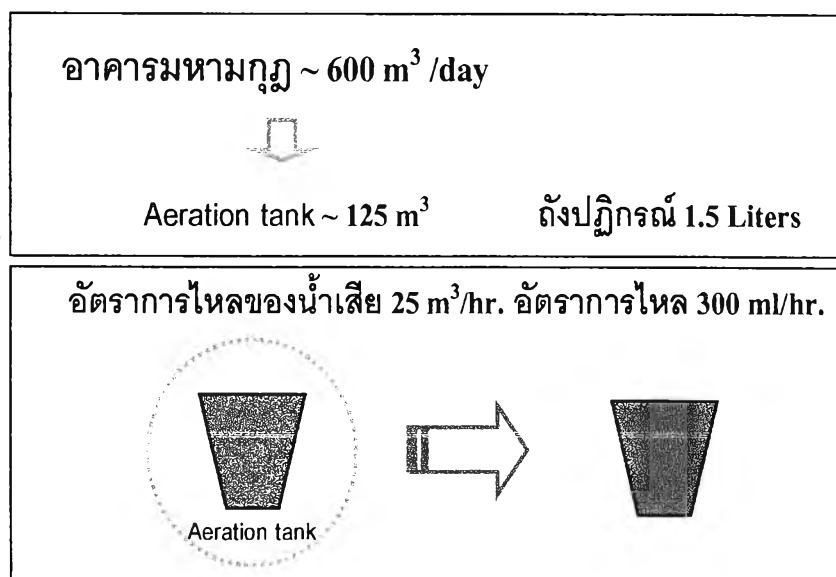
การที่สารเคมีส่วนใหญ่ มีความเข้มข้นเกือบเท่าเดิมด้วยหน่วยเป็น mg/L แสดงว่าการใช้โอโซนไม่ช่วยบำบัดสารเคมีเหล่านี้แม้จะลด COD ได้ก็ตาม

4.2.8 ประสิทธิภาพของโอโซนการบำบัดน้ำเสียในระบบจำลอง

4.2.8.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า DO

เพื่อแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนหน้านี้นี้สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียของอาคารมหามกุฏได้จริงจึงจำลองระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก ที่เดินระบบโดยด้วยสัดส่วนที่ย่อขนาดจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้อยู่ในอาคารมหามกุฏโดยใช้การผสมน้ำอิมิตัวด้วยโอโซนแทนการเติมอากาศ จากการศึกษาในหัวข้อ 4.2.7 ซึ่งเป็นการทดลองแบบกะ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่าง การผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย คือ ที่อัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตร เพราะสามารถลดค่า COD ได้ดี และทำให้แบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้รวดเร็ว แต่เมื่อนำไปปรับใช้ใน ระบบบำบัดที่มีการไหลของน้ำเสียอย่างต่อเนื่องโอโซนและ DO จะถูกเจือจางลงไปอีกอาจทำให้ไม่

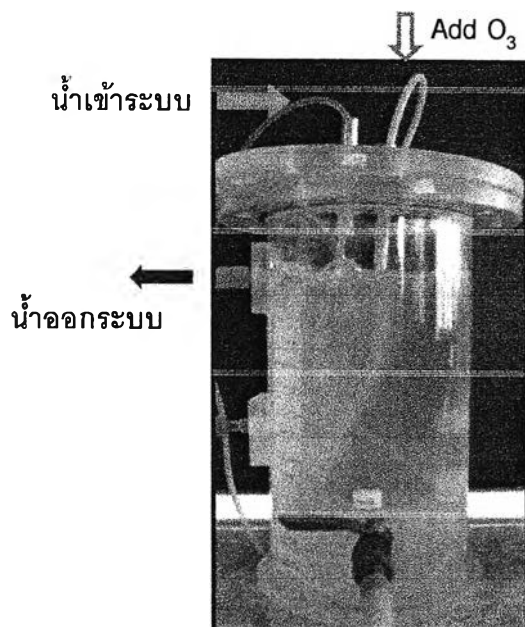
เพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ต้องมี DO ไม่น้อยกว่า 2 mg/L (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) การทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วน 1:4 แทน และเติมน้ำอิมิตัวด้วยไอโซนเมื่อ DO ลดลงมาเหลือ 3 mg/L



รูปที่ 4.19 ระบบบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลองที่ย่อขนาดจากระบบบำบัดน้ำเสียจริง

จากข้อมูลพื้นฐานระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารหมัก ซึ่งรองรับน้ำเสียประมาณ 600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ดังแสดงในรูปที่ 4.19) บ่อเติมอากาศของระบบมีขนาด 125 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น จึงมีน้ำเสียไหลเข้าระบบประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้น ทำการจำลองระบบขนาดเล็ก โดยมีรายละเอียดดังนี้

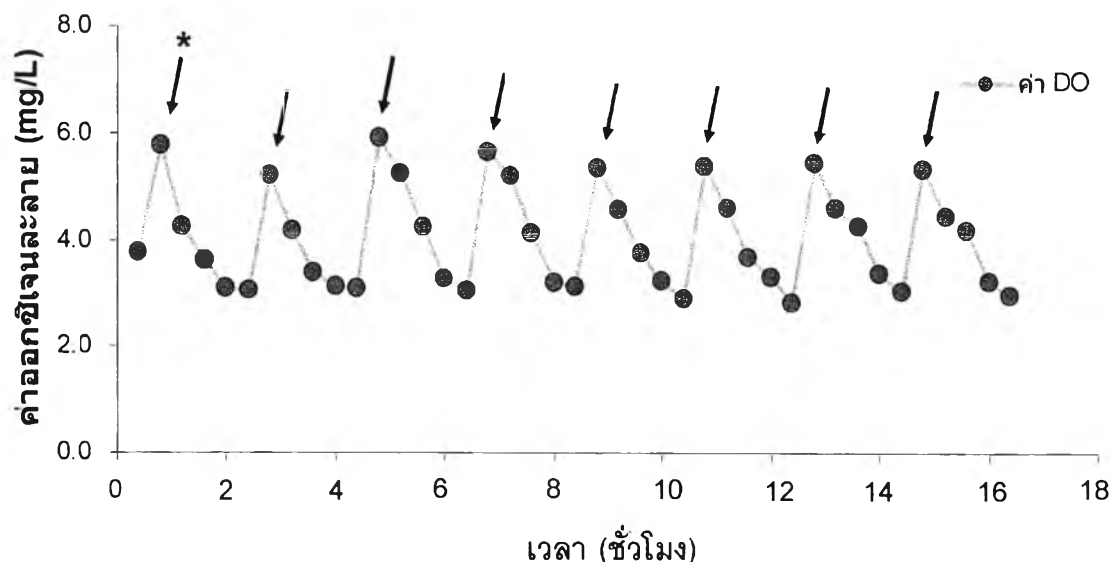
- ใช้ถังปฏิกรณ์ปริมาตรใช้งานขนาด 1.5 ลิตร ทำจากอะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร (ดังแสดงในรูปที่ 4.20)
- สูบน้ำเสียเข้าระบบด้วยอัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
- ระยะเวลาพักทางจุลศาสตร์ (HRT) 5 ชั่วโมง
- เมื่อเริ่มเดินระบบ ช่วงที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น COD 115 mg/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นของน้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวมของอาคารหมัก ช่วงที่ 2 ใช้น้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวม อาคารหมัก
- ก่อนผสมน้ำอิมิตัวด้วยไอโซนลงในถังปฏิกรณ์จะต้องปล่อยน้ำในถังปฏิกรณ์ออก 300 มิลลิลิตร เพื่อรักษาปริมาตรให้คงที่ 1.5 ลิตร



รูปที่ 4.20 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และ จุดน้ำเข้า น้ำออก และจุดเติมน้ำไอโชน

ในการทดลองเบื้องต้น จะต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเติมน้ำไอโชนลงในน้ำเสีย เมื่อเริ่มทำการทดลอง ผสมน้ำที่เติมไอโชนเป็นเวลา 20 นาที ทำการวิเคราะห์ค่า DO ทุกๆ 30 นาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21 พบว่า อุณหภูมิน้ำเสียตลอดการทดลอง คือ $30.31 \pm 0.24^{\circ}\text{C}$ และค่า DO ในน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นหลังการผสมเฉลี่ย 5.52 ± 0.24 mg/L จนเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ค่า DO ในน้ำมีค่าลดลงเหลือ 3.00 ± 0.10 mg/L

ดังนั้น จึงต้องทำการผสมน้ำเติมไอโชนทุกๆ 2 ชั่วโมง เพื่อรักษาระบบให้มีค่า DO มากกว่า 2 mg/L ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่แบคทีเรียยังคงดำรงชีวิตอยู่ได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) ผลการทดลองนี้ได้ค่า DO แตกต่างจากการทดลองแบบกะ เนื่องจากค่า DO ที่เวลา 3 ชั่วโมง ยังคงสูงถึง 5.45 ± 0.11 mg/L ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการไหลเวียนของน้ำเสียเข้าออกระบบตลอดเวลา



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงของค่า DO ในน้ำเสียหลังการผสม

หมายเหตุ * → คือ จุดที่มีการเติมน้ำไอโซนลงในถังปฏิกรณ์อีกครั้ง

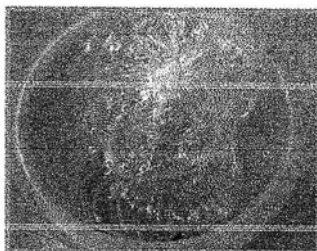
จากผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่า

- (1) สัดส่วนน้ำเติมไอโซนกับน้ำเสียที่เหมาะสมคือ 1:4 โดยปริมาตร
- (2) ค่า DO ในถังปฏิกรณ์ลดลงเหลือประมาณ 3 mg/L เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2 ชั่วโมง

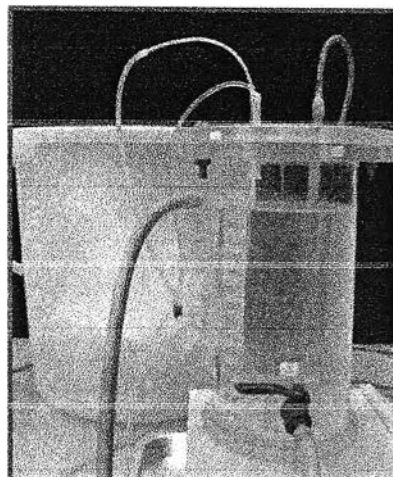
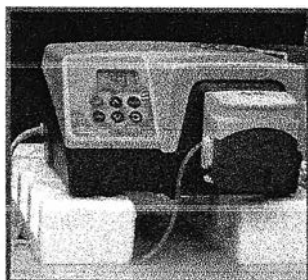
ดังนั้น จึงทำการเติมน้ำเติมไอโซนลงในถังปฏิกรณ์ทุกๆ 2 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ คือ ความเข้มข้นไอโซนหลังการผสม, ค่า DO, ค่า COD และจำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิต โดยเวลาที่ทำการวิเคราะห์ทุก 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. ดังนั้น จึงทำการเติมไอโซนวันละ 5 ครั้ง

โดยช่วงที่ 1 ทำการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น COD 115 mg/L จากนั้น นำน้ำเสียสังเคราะห์หอบด้วยเครื่องนึ่งไอน้ำที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30 นาที และทำการสูบน้ำเข้าระบบด้วยอัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.22

น้ำเสียสังเคราะห์
COD 115 mg/L

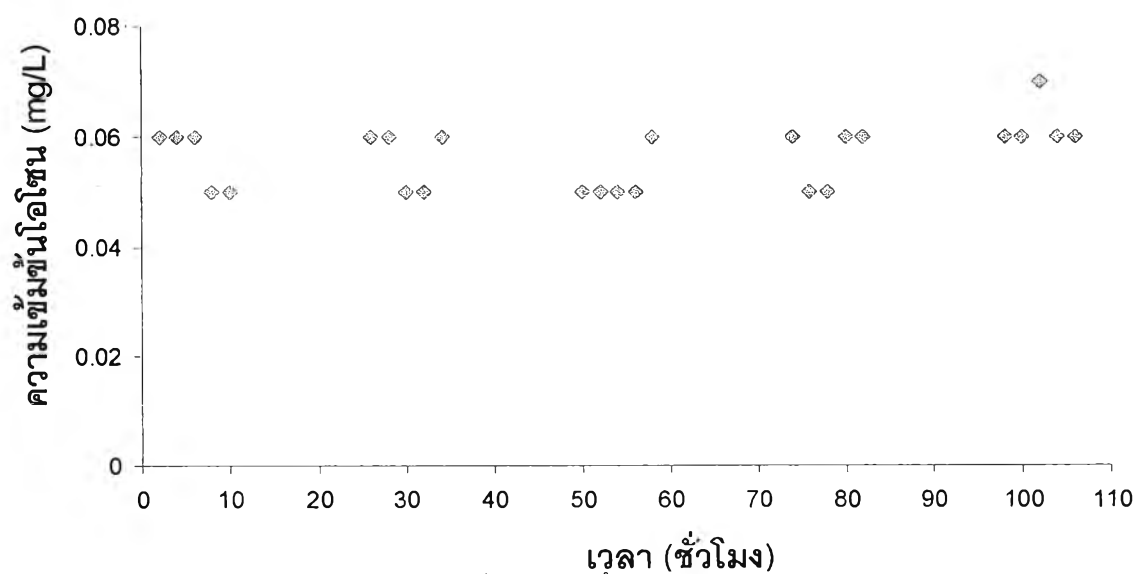


น้ำเสียอัตราการไหล
300 ml/hr.

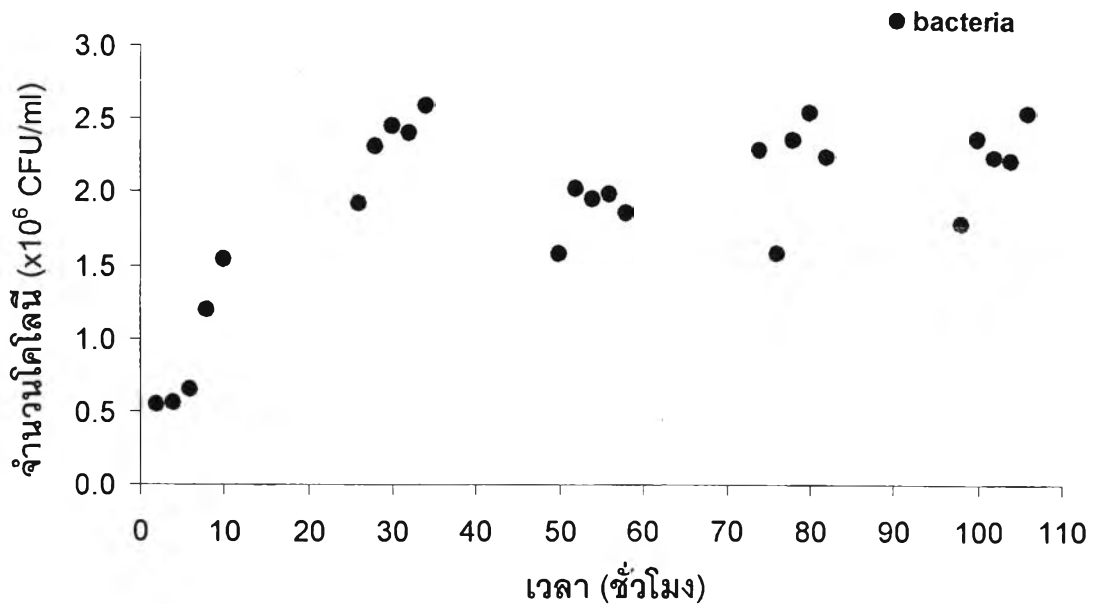


รูปที่ 4.22 แสดงการเดินระบบช่วงที่ 1 โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ในการทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนหลังการผสมในถังปฏิกรณ์, ค่า DO หลังการผสมทุกๆ 30 นาที, ค่า COD และจำนวนแบคทีเรียในน้ำออกจากระบบ (ภาพผนวกที่ จ.1) แสดงดังรูปที่ 4.23, 4.24, 4.25 และ 4.26

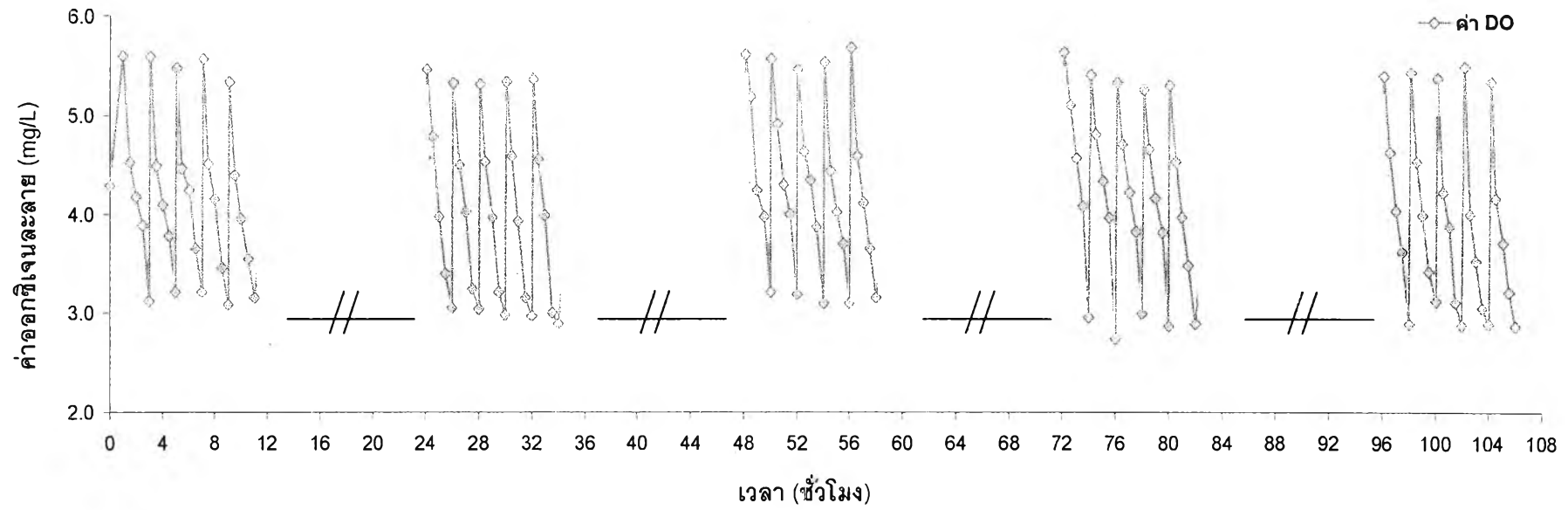


รูปที่ 4.23 แสดงความเข้มข้นของโอโซนเมื่อผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์



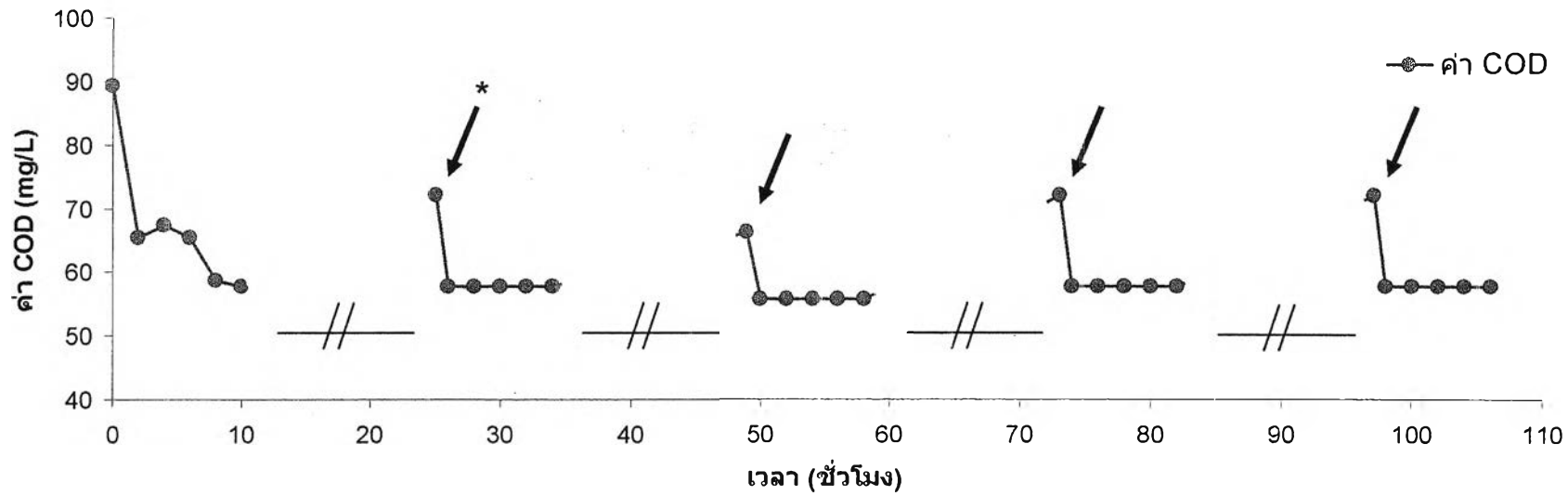
รูปที่ 4.24 แสดงจำนวนแบคทีเรียจากน้ำออกระบบในน้ำเสียสังเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำเติมโอโซน 20 นาทีตลอดการทดลอง มีค่า 0.14 ± 0.01 mg/L และมีค่า DO เฉลี่ย 8.85 ± 0.28 mg/L เมื่อทำการผสมน้ำเสียแล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนในถังปฏิกรณ์ พบว่า มีความเข้มข้น 0.06 ± 0.01 mg/L ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวไม่เป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ โดยเมื่อวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียในน้ำออก ผลแสดงให้เห็นว่ายังคงมีแบคทีเรียอยู่ในระบบและเมื่อวิเคราะห์ค่า DO พบว่า หลังการผสมน้ำเสีย ค่า DO เท่ากับ 5.44 ± 0.12 mg/L และลดลงเหลือ 3.02 ± 0.13 mg/L เมื่อเวลา 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโอโซนนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองแบบกะ แต่มีจำนวนแบคทีเรียมากกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากมีการเดินระบบต่อเนื่อง ทำให้มีสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในการเจริญเติบโตมากพอ ส่งผลให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนได้มากกว่า เมื่อพิจารณาค่า COD ของน้ำออกระบบ พบว่า ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ที่ชั่วโมงที่ 28 ของการทดลอง โดยค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 58.09 ± 2.86 mg/L และเมื่อคิดประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 49.48% ต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.25 แสดงค่า DO ในน้ำเสี้ยวสังเคราะห์

หมายเหตุ --- คือ ระยะเวลาพักและไม่ได้ทำการทดลอง

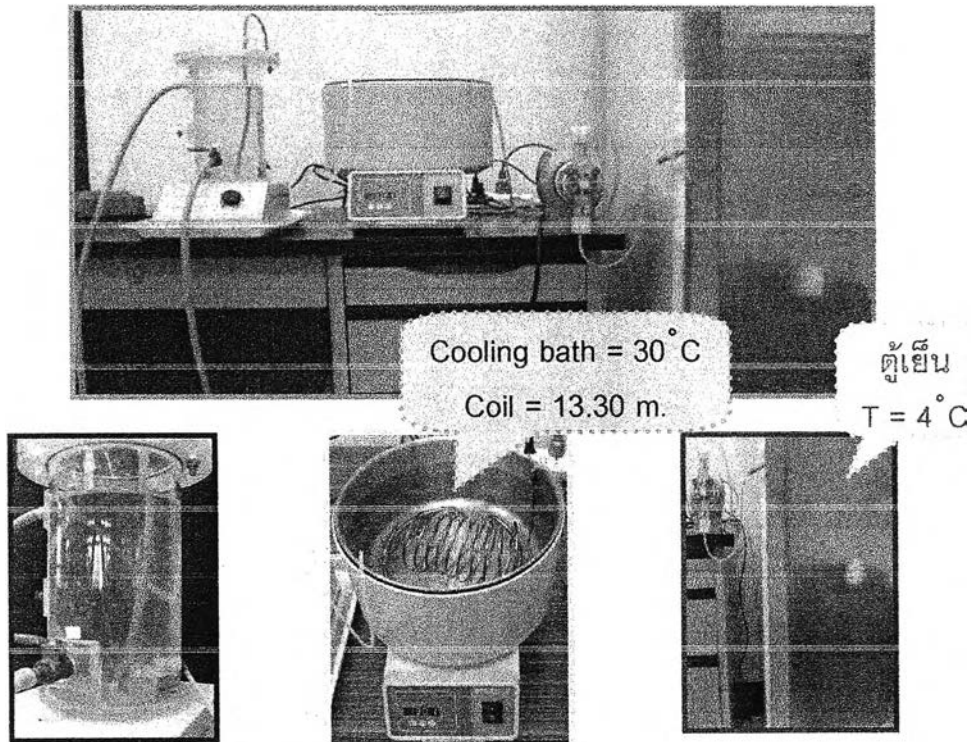


รูปที่ 4.26 แสดงค่า COD ในน้ำเสียสังเคราะห์

หมายเหตุ * → คือ จุดที่มีการเติมน้ำไอโซนลงในถังปฏิกรณ์อีกครั้ง

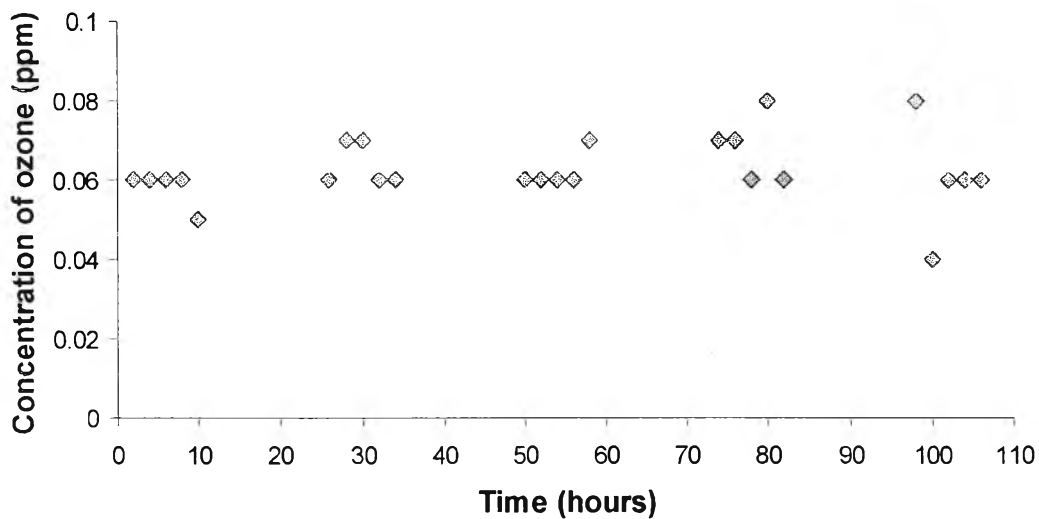
--//-- คือ ระยะเวลาพักและไม่ได้ทำการทดลอง

จากนั้น ในช่วงที่ 2 เติระบบโดยใช้น้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวม อาคารมหามกุฏ โดยทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเสียด้วยตู้เย็นแช่สารเคมี อุณหภูมิ 4°C และทำการปรับอุณหภูมิด้วย Coil ซึ่งทำจากขดลวดทองแดงยาว 13.30 เมตร ที่อยู่ใน Cooling bath ที่ปรับอุณหภูมิ 30°C ก่อนที่น้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.27

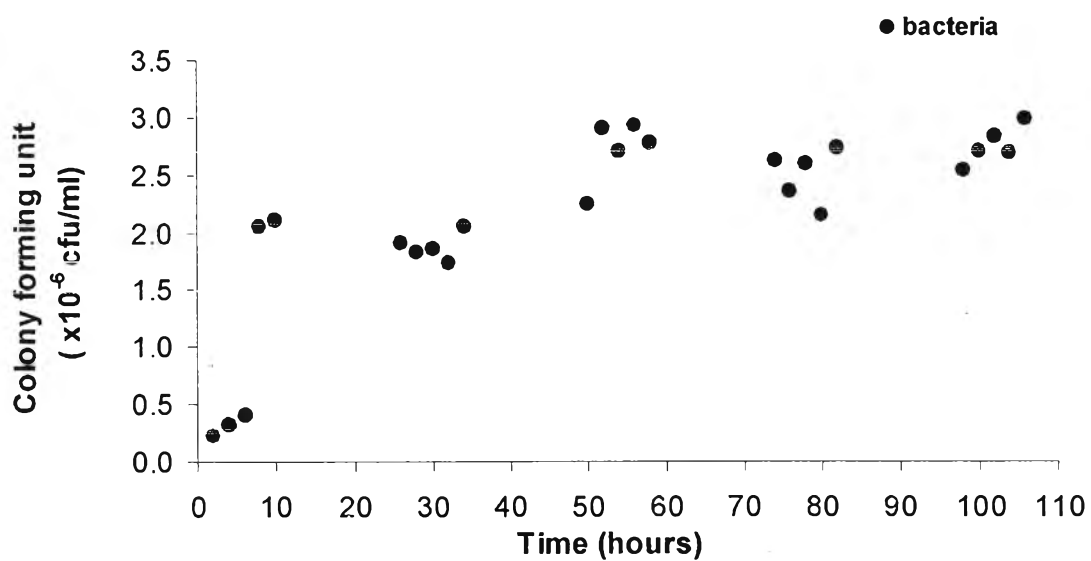


รูปที่ 4.27 แสดงการเดินระบบช่วงที่ 2 โดยใช้น้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวมอาคารมหามกุฏ

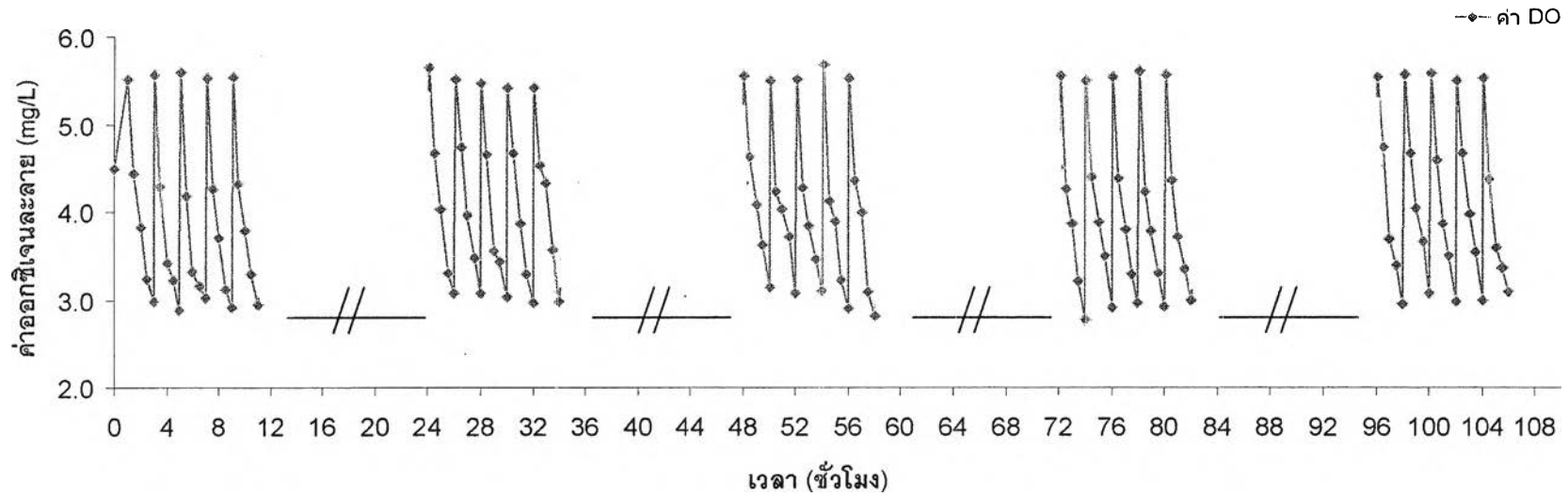
เมื่อทำการเดินระบบโดยเปลี่ยนน้ำเสียเข้าระบบจากน้ำเสียสังเคราะห์เป็นน้ำเสียรวมจากระบบบำบัดน้ำเสียอาคารมหามกุฏ สูบน้ำเสียเข้าระบบด้วยอัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เหมือนในการทดลองช่วงที่ 1 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.28, 4.29, 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ



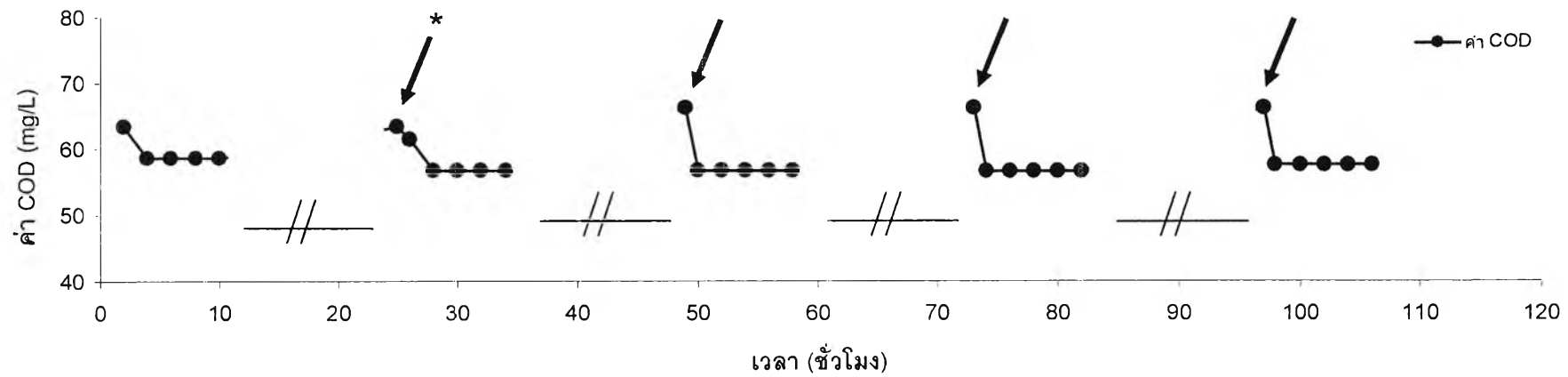
รูปที่ 4.32 แสดงความเข้มข้นของโอโซนเมื่อผสมกับน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ



รูปที่ 4.33 แสดงจำนวนแบคทีเรียจากน้ำออกระบบในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ



รูปที่ 4.31 แสดงค่า DO ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ
 หมายเหตุ --- คือ ระยะเวลาพักและไม่ได้ทำการทดลอง



รูปที่ 4.32 แสดงค่า COD ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ

หมายเหตุ * → คือ จุดที่มีการเติมน้ำไอโซนลงในถังปฏิกรณ์อีกครั้ง

--//-- คือ ระยะเวลาพักและไม่ได้ทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอโซนหลังผสมในถังปฏิกรณ์ มีค่าประมาณ 0.7 ± 0.03 mg/L ค่า DO หลังการผสม คือ 5.53 ± 0.06 mg/L และที่เวลา 2 ชั่วโมง ค่า DO เท่ากับ 2.98 ± 0.10 mg/L จำนวนแบคทีเรียที่เรี่ยน้ำออกอยู่ในช่วง 1.6×10^6 - 2.9×10^6 cfu/ml และค่าเฉลี่ย COD เท่ากับ 57.56 ± 1.62 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัด COD เท่ากับ 40.64% ต่อชั่วโมง

จากผลการทดลองทั้งหมด พบว่า น้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ มีค่า COD น้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวม เท่ากับ 115 mg/L ทั้งนี้เนื่องจาก แหล่งที่มาของน้ำเสียเกิดจากการเรียน การสอน การทำวิจัย และการใช้น้ำในห้องน้ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำเสียที่จะต้องบำบัดสูงถึง 600 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่น้ำเสียชุมชนทั่วไป เช่น บ้านพักอาศัย อัตราการระบายน้ำเสียประมาณ 150-216 ลิตร/คน/วัน หรือประมาณ 180 ลิตร/คน/วัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) แต่กิจกรรมส่วนใหญ่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้า สิ่งของภายในบ้าน การอาบน้ำ การปรุงแต่งอาหาร การล้างภาชนะ ส่งผลให้มีค่า COD และ BOD ค่อนข้างสูงกว่าน้ำเสียอาคารมหามกุฏ ระบบที่นิยมและใช้ทั่วไปในการกำจัดน้ำทิ้งชุมชน มักจะเป็นวิธีทางชีววิทยาแบบใช้อากาศ เนื่องจากวิธีนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถบำบัดน้ำได้คุณภาพดี ซึ่งปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏเป็นระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) แต่พบปัญหาการอุดตันของของเสีย และต้องซ่อมบำรุงปีละประมาณ 2 ครั้ง และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบตลอดเวลา

ดังนั้น การใช้ไอโซนแทนการเติมอากาศ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งควบคุมจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำเสียไปพร้อมๆ กัน