

บทที่ 4

ผลการทดลอง และ บทวิเคราะห์

ประเภทอาคารสูง ซึ่งมักถูกกล่าวถึงให้เป็นตัวแทนอาคารส่วนใหญ่ในกรุงเทพฯ มักหมายรวมถึง อาคารธุรกิจ สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า โรงแรม คอนโดฯ ซึ่งมีกิจกรรมต่างๆของมนุษย์เกี่ยวกับ การกิน ขับถ่าย ทำงาน สันทนาการ และบันเทิง รวมอยู่ในตัวอาคาร แต่เป็นการยากที่จะชี้ชัดว่า ลักษณะน้ำเสียจากอาคารใดจะเป็นตัวแทนของทุกช่วงเวลา ในแต่ละการออกแบบของแต่ละอาคาร ซึ่งมีค่าในช่วงที่กว้าง

การเลือกอาคารที่จะใช้ในงานวิจัยเกิดขึ้นในหลายด้าน ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของงานวิจัย เช่น ลักษณะน้ำเสียที่เป็นตัวแทน สถานที่และกิจกรรมของอาคาร ด้านเทคนิค เช่น สถานที่ที่เหมาะสมจะติดตั้งชุดทดลอง และสูบน้ำเสียขึ้นมาทดลองในระยะยาว ด้านอื่นๆ เช่น ความปลอดภัยของอุปกรณ์ ผู้วิจัย ความร่วมมือจากเจ้าของสถานที่ เงินทุน ระยะทางจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเดินทาง เก็บตัวอย่าง ช่อมบำรุง และเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งเป็นการยากที่อาคารใดจะมีลักษณะตามเงื่อนไขครบในทุกข้อ

4.1 แหล่งกำเนิด และผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง (ที่ใช้ในงานวิจัยนี้)

จากการดำเนินงานวิจัยตลอดระยะเวลากว่า 1 ปี ชุดทดลองของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ติดตั้ง และเดินระบบตลอด 24 ชม. อยู่ที่ชั้นใต้ดินอาคาร 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจัดเป็นอาคารสูงประเภทสำนักงานและอาคารเรียน 20 ชั้น เหตุผลสำคัญ จำเป็นในการเลือกอาคาร 4 ในงานวิจัยนี้ได้อธิบายไว้หน้าแรกของบทแผนการดำเนินงานวิจัย

4.1.1 แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย

อาคารถูกจัดสรรพื้นที่การใช้งานออกเป็นหลายส่วน ผลการสำรวจเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

-: ส่วนของสำนักงาน และภาควิชาต่างๆ ซึ่งมีบุคคลากรเข้าทำงานอยู่เป็นประจำในเวลาราชการ เช่น วันจันทร์-วันศุกร์ ไม่เว้นปิดภาคการศึกษา

-: ส่วนของชั้นเรียน ซึ่งมีนิสิตผัดเปลี่ยนเข้าออก ใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นประจำช่วงเปิดภาคการศึกษา วันจันทร์-วันเสาร์ แต่เป็นส่วนน้อยหรือแทบไม่มีการใช้งานเลยในช่วงปิดภาคการศึกษา

-: ส่วนของห้องปฏิบัติการภาควิชาต่างๆ ได้แก่ วิศวกรรมเคมี จุลชีววิทยา และ โลหะการ ซึ่งอาจมีการทำงานได้ตลอด 24 ชม. แต่กิจกรรมจะลดลงขณะนอกเวลาราชการ หรือปิดภาคการศึกษา

-: ส่วนของห้องประชุมสัมมนา และจัดเลี้ยง ซึ่งจะมีบุคคลากร ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย มาใช้อาคารสลับกันเป็นครั้งคราว ตลอดทั้งปี

ส่วนอื่นๆ ได้แก่ ห้องช่างเทคนิค นักการ พนักงานทำความสะอาด และยาม ซึ่งจากส่วนการใช้งานทั้งหมด สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลัก ที่เกิดจากกิจกรรมของอาคาร ดังต่อไปนี้

-: น้ำเสียจากการซักโครก โถส้วมและโถปัสสาวะ เนื่องจากทุกส่วนของการใช้งานอาคารถูกใช้ในกิจกรรมของมนุษย์เกือบทั้งหมด การขับถ่ายจึงเป็นสิ่งจำเป็นทั้ง ปัสสาวะและอุจจาระ ซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสียเป็นปริมาณส่วนมากที่สุด เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด

-: น้ำเสียจากการทำความสะอาดห้องน้ำและพื้นอาคาร จะ ไม่มีกำหนดเวลาที่ตายตัว โดยจะแบ่งส่วนทยอยล้าง ไปทีละชั้นจนครบเฉลี่ย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และมีการใช้น้ำยาเคมีร่วมด้วย

-: น้ำเสียจากการชำระร่างกาย ล้างภาชนะอาหาร ปกติจะเป็นปริมาณส่วนน้อย เนื่องจากไม่มีห้องอาบน้ำและ โรงอาหาร ในอาคาร โดยตรง แต่การจัดเลี้ยงสัมมนาก็ยังคงมีเป็นครั้งคราวตลอดปี

-: น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ดังกล่าวข้างต้น อาจปะปนสารเคมี ชีวภาพ ,ของแข็งแขวนลอย ฯลฯ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่าซีไอดีในน้ำออกเพียงเล็กน้อยช่วงการทดลอง 2 ,3

-: น้ำเสียแหล่งอื่นๆ เช่น น้ำทิ้งจากการล้างคอลล์และการกลั่นตัว ของเครื่องปรับอากาศ

จากสภาพการใช้งานอาคารที่อธิบายข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ปริมาณ และความเข้มข้นของสารมลพิษ ในน้ำเสียจากอาคารสูง จะเปลี่ยนแปลงไปตาม วัน เวลา และช่วงเวลาของปี โดยมีตัวแปรสำคัญคือ ปริมาณคนที่เข้าใช้สาธารณูปโภคต่างๆ ในอาคาร โดยอาคาร 4 จะมีแหล่งกำเนิดน้ำเสียดังกล่าวข้างต้น คล้ายคลึงกับอาคารสูงโดยทั่วไป แต่มีข้อที่แตกต่าง คือ

การไม่มีศูนย์อาหาร ทำให้ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำกว่าอาคารสูงขนาดใหญ่ การศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ในการกำจัดไนโตรเจน จะสังเคราะห์ซีไอดีเพิ่มให้น้ำเสียโดยใช้น้ำตาล ซึ่งช่วยให้ได้ผลการทดลองชัดเจนยิ่งขึ้น และยังคงมีลักษณะน้ำเสียโดยรวมใกล้เคียงกับอาคารสูงอื่นๆ

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี น่าจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับน้ำเสียอาคารซึ่งช่วยเจือจาง ทำให้ส่งผลกระทบต่อระบบเล็กน้อย สังกะจาก ค่าซีไอดีในน้ำออกอาจสูงขึ้นบางช่วงเวลาในเกณฑ์ต่ำ อัตราส่วนบีไอดีต่อซีไอดีน้ำเสีย 0.63 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันซึ่งไวต่อสารเคมีเป็นพิษมีประสิทธิภาพสูง สม่ำเสมอตลอดการทดลอง เป็นต้น

บ่อพักน้ำเสารวมของอาคาร จะช่วยลดผลกระทบของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และไนโตรเจนที่เปลี่ยนแปลง โดยรองรับน้ำเสียจากท่อระบายหลักของอาคาร ก่อนปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัด ทั้งยังช่วยดักฝ้ายลอยคิวน้ำ (Scum) สะสมหนาขึ้นเรื่อยๆ โดยมีการสูบน้ำออกทิ้งทุก 2-3 ปี

4.1.2 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง (อาคาร 4 วิศวกรรมศาสตร์)

การทดลองทั้งหมดในงานวิจัย ใช้น้ำเสียจากบ่อพักรวมของอาคาร โดยสูบน้ำเสียขึ้นเก็บในถังพักของชุดทดลอง และจ่ายเข้าระบบ การทดลองระยะเวลากว่า 1 ปี เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกึ่งกลางความลึกของบ่อพักรวมของอาคาร ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียอาคารวิศวกรรม 4 สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 4.1 (ข้อมูลดิบ และช่วงเวลาในการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง (อาคาร 4 วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

| พารามิเตอร์ | จน.ข้อมูล | ค่าสูงสุด | ค่าต่ำสุด | ค่าเฉลี่ย | SD. |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| pH | 250 | 7.96 | 6.80 | 7.39 | 0.37 |
| Turbidity (NTU.) | 127 | 85 | 15 | 45.3 | 15.1 |
| Suspended Solid (mg./l.) | 128 | 168 | 22 | 87.3 | 40.6 |
| COD. (mg./l.) | 128 | 300 | 80.5 | 180 | 56.2 |
| TKN. (mg./l.) | 85 | 108 | 45.2 | 69.1 | 15.9 |
| Nitrite Nitrogen (mg./l.) | 82 | 0.02 | 0.003 | 0.010 | 0.007 |
| Nitrate Nitrogen (mg./l.) | 82 | 3.56 | 0.44 | 1.80 | 0.75 |

4.2 ผลของค่าฟลักซ์ และความเข้มข้นสลัดจ์จุดชีพ ต่อสถานะคงตัว (Steady state)

4.2.1 ค่าฟลักซ์ของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

การสร้างแรงดันเพื่อกรองน้ำผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน บางงานวิจัยที่ผ่านมาใช้ปั๊มหอยโข่ง หรือเฮดความสูงของระดับน้ำ ซึ่งที่ค่าฟลักซ์หนึ่งๆ ค่าความดันสูญเสียขณะที่เมมเบรนสะอาด (Internal pressure loss) มีค่าไม่สูงนัก แต่ในทางปฏิบัติสลัดจ์จุดชีพในถังปฏิกรณ์จะสร้างความดันสูญเสีย (External pressure lose) เพิ่มขึ้นแก่ระบบการกรอง ไม่ว่าจะออกแบบการเติมอากาศ หรือระบบหมุนเวียนน้ำให้ดีเพียงใด ฉะนั้นเมื่อความดันสูญเสียที่ผิวเมมเบรนสูงขึ้น อัตราไหลของปั๊มหอยโข่งจะลดลงไปตามกราฟสมรรถนะของปั๊ม หรือเฮดระดับน้ำการกรองจะสูงขึ้น นั่นคือค่าฟลักซ์จะลดลงตามสมการที่ 4.1 หรือปริมาตรถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และสามารถอธิบายผลกระทบที่เกิดกับระบบได้จากสมการที่ 4.2 พื้นฐานของระบบเอ.เอส.คือ อัตราส่วนสารอาหารต่อจุดชีพ (F/M) ดังนี้

$$\text{Flux (l/m}^2\text{.d.)} = (Q \times [(\text{min}_{\text{on}} + \text{min}_{\text{off}}) / \text{min}_{\text{on}}]) / A \quad (4.1)$$

$$F/M \text{ (kg.COD/kg.VSS.day)} = (Q \times S_i) / (MLVSS \cdot V) \quad (4.2)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลผ่านระบบ (ลิตร/วัน) ; \min_{on}, \min_{off} = ช่วงเวลาที่ปั๊มสูบลิน/หยุด (นาท)
 A = พื้นที่ผิวการกรองสุทธิของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน (ตร.ม.)
 S_i = ค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้า (มก./ลิตร) ; V = ปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ (ลิตร)
 $MLVSS$ = ค่าเอ็มแอลวีเอสเอส.ในถังปฏิกรณ์ (มก./ลิตร)

ในการทดลองที่ใช้ น้ำเสียจริงซึ่งมีค่าซีโอดีเข้าไม่แน่นอน ค่าอายุสัปดาห์ไม่จำกัด ถ้าระบบมีภาวะที่อัตราไหลไม่คงที่ รวมถึงระยะเวลาการทดลองไม่นานพอ จะส่งผลให้ค่าเอ็มแอลวีเอสเอส. ยังคงเปลี่ยนแปลง ระบบไม่อาจเข้าสู่สถานะคงตัวได้ ผลงานวิจัยที่ผ่านมาจึงสรุปผลการทดลองจากความคงตัวของประสิทธิภาพการบำบัด ซึ่งอาจไม่เป็นที่ยอมรับของนักวิจัยบางท่าน

การทำงานจริงการปรับเพิ่มรอบ หรือ มีระบบปั๊มสำรอง เพื่อรักษาอัตราไหลให้คงที่กระทำได้ไม่ยาก แต่ในงานวิจัยนี้เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว จึงใช้ปั๊มรีคสตา (Peristaltic pump) ซึ่งจัดอยู่ในประเภท “Positive Displacement” มีคุณสมบัติในการควบคุมอัตราไหลให้คงที่ แม้ความดันสูญเสียในระบบจะเพิ่มขึ้นในช่วงค่าหนึ่งๆ ใช้เป็นตัวสูบลินน้ำผ่านเมมเบรนออกจากระบบ

4.2.2 ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลชีพในถังปฏิกรณ์ และสลัดจ์สะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน

รูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ(MLVSS, MLSS.) ในถังปฏิกรณ์ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ที่ไม่มีการคุมอายุสลัดจ์ การทดลองที่ 1-5 ซึ่งสามารถเริ่มมีค่าสมา่เสมอคงตัวได้ในระยะเวลาเฉลี่ย 30-45 วัน แต่ผลการทดลองมีระยะเวลาประมาณ 60 วัน

ในสภาวะควบคุมที่เหมาะสม ปริมาณจุลชีพในระบบจะปรับตัวเพิ่มหรือลด อย่างอิสระไปตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์แต่ละการทดลอง จนถึงระดับ ซึ่งสมนัยกับปริมาณอาหารที่ขาดแคลน คือ สารอาหารภายนอก (น้ำเสีย) อาหารสะสมในเซลล์ และเซลล์ที่สลายตัว จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของจุลชีพในระบบ สารอาหารทั้งหมดที่ถูกใช้ไป จะถูกนำไปสร้างเซลล์ทดแทนส่วนที่ตายรวมถึงเซลล์ที่ถูกแยกออกจากการแขวนลอย มาสะสมค้างที่ผิวหน้าเมมเบรนบางส่วน (ทำนายได้จากความดันสูญเสียในการกรองที่สภาพเมมเบรนอุดตันเดียวกัน) ซึ่งจะมีอัตราเร็วหรือช้า ขึ้นกับความสัมพันธระหว่าง ค่าพลิกซ์ ระดับความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ หรือภาระบรรทุกอินทรีย์ กำลังของระบบสร้างความเป็นป่วนต่อผิวหน้าเมมเบรน (สมา่เสมอคงที่ในทุกการทดลอง) ช่วยขจัดสลัดจ์จุลชีพที่เข้าปะทะเมมเบรนให้ออกคืนกลับสู่การแขวนลอย ฉะนั้นเมื่อตัวแปรต่างๆดังกล่าวมีคุณภาพซึ่งกันและกันในแต่ละการทดลอง ความเข้มข้นเอ็มแอลวีเอสเอส. ในถังปฏิกรณ์จะสมา่เสมอคงตัวในที่สุด

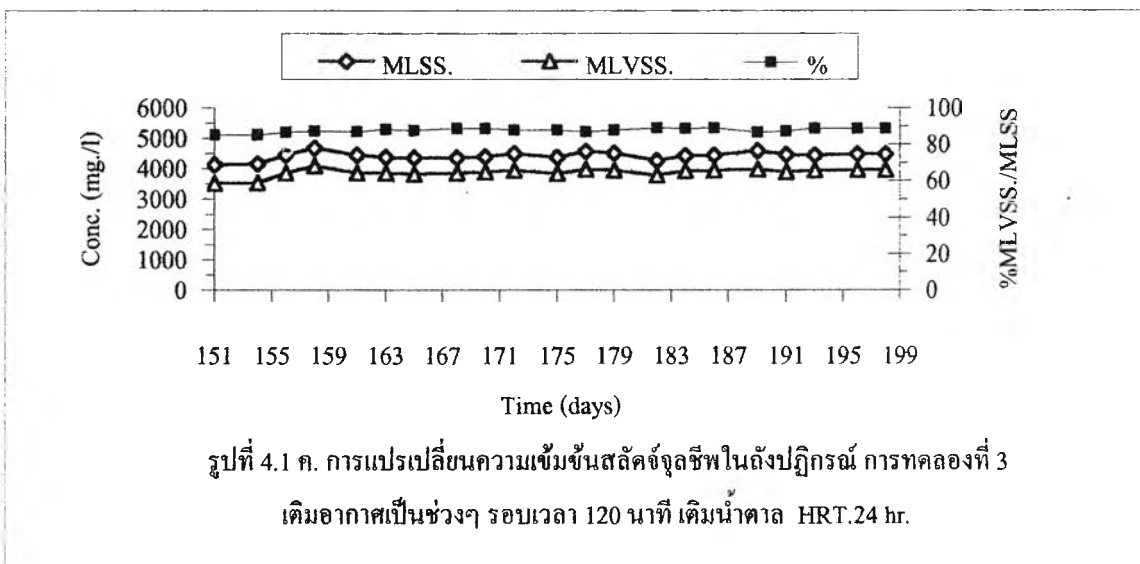
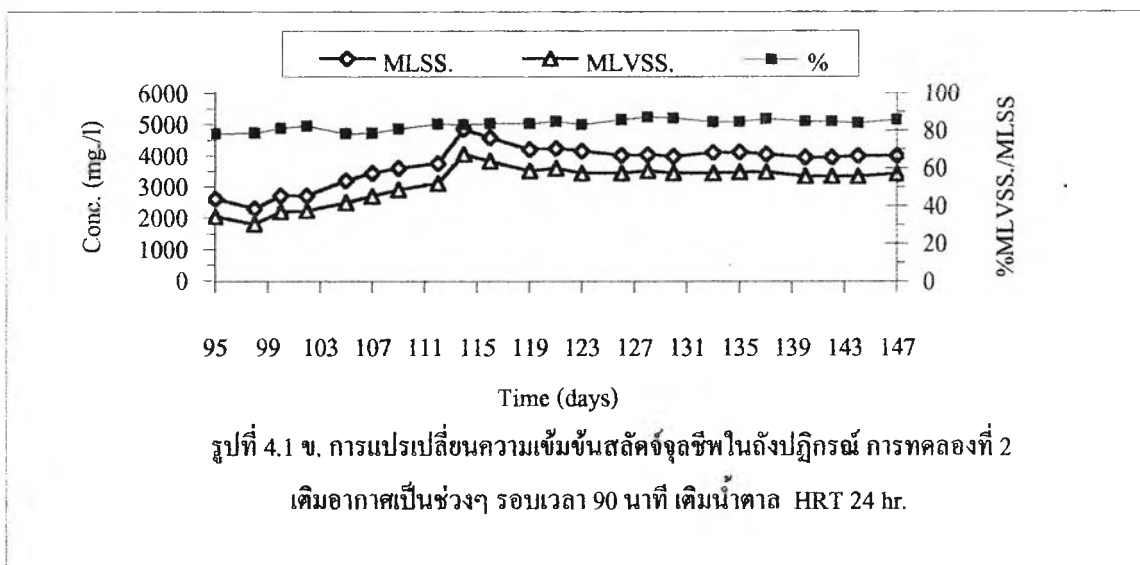
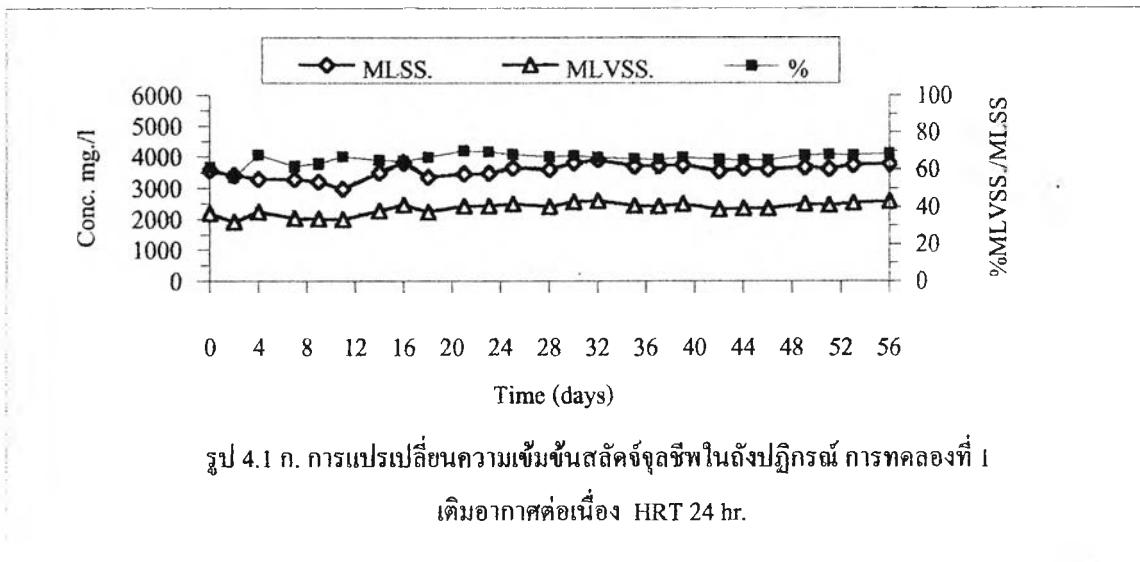
โดยทฤษฎี ค่าเอ็มแอลเอสเอส. (MLSS.) ควรปรับตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก ของแข็งคงตัวที่ ย่อยสลายไม่ได้ เข้ามากับน้ำเสีย และซากผนังเซลล์เฉื่อยจากจุลชีพที่ตาย ซึ่งจะถูกเมมเบรนกักให้สะสมใน ถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีการทิ้งสลัดจ์ ในทางปฏิบัติอาจมีการระบายสลัดจ์ทิ้งเป็นครั้งคราว แต่จากผลการทดลอง สังเกตว่า ค่าเอ็มแอลเอสเอส. คงตัวสม่ำเสมอเช่นกับ ค่าเอ็มแอลอีเอสเอส. ทั้งนี้เนื่องจากการไม่ควบคุม อายุสลัดจ์ ระบบทำงานในช่วงการเจริญแบบ เอ็นโอจินัส นิเวศน์ในถังปฏิกรณ์มี โปรโตซัว และ โรติเฟอร์ จำนวนมาก ซึ่งกินทั้งแบคทีเรีย และฟลอคสลัดจ์จุลชีพเป็นอาหาร รวมถึงการสะสมของสลัดจ์จุลชีพที่ผิว ผนังเมมเบรนเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอที่ละน้อย ค่อยเป็นค่อยไป จนเมื่อมีการล้างเมมเบรนจะเป็นการนำ สลัดจ์ส่วนเกินทิ้งไปในตัว โดยไม่กระทบต่อความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ แกว่นลอยในถังปฏิกรณ์ หรือ ประสิทธิภาพของระบบทางชีวภาพใดๆ

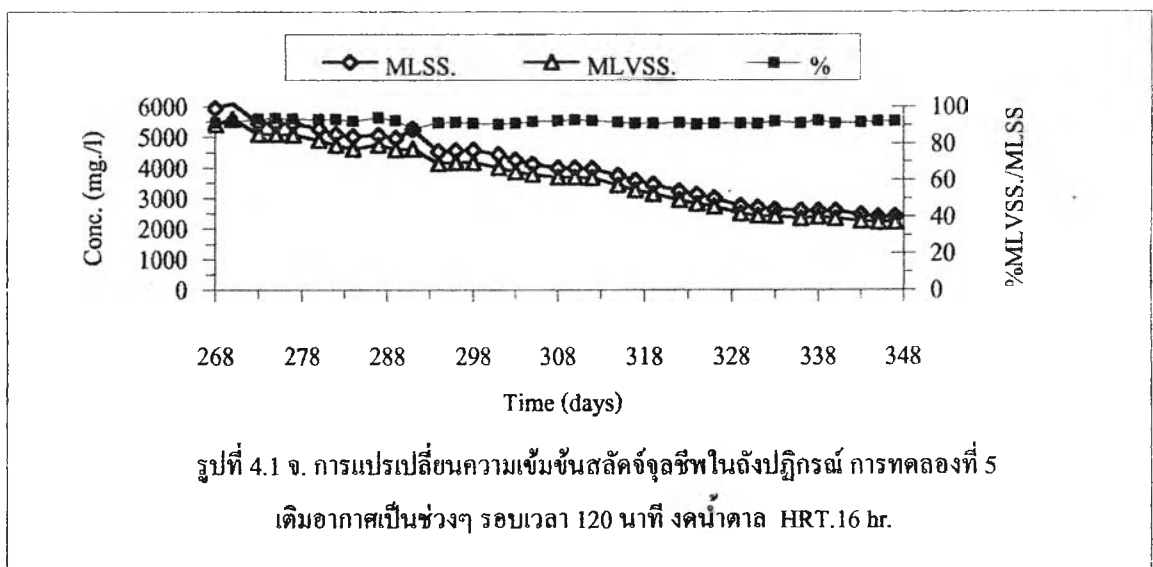
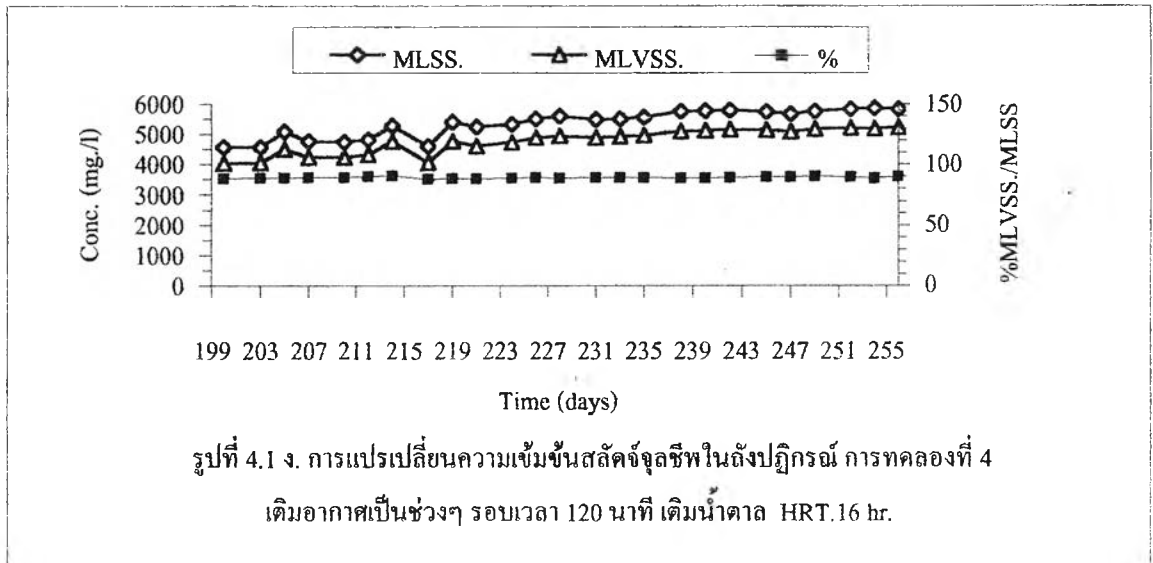
จะเห็นได้ว่าเมมเบรนทำหน้าที่ดั่งเช่นถังตกตะกอนที่สอง การกรองน้ำผ่านเมมเบรนจะ ทิ้งสลัดจ์จุลชีพความเข้มข้นสูงค้างไว้ที่ผิวเมมเบรน กระแสปั่นป่วนที่สร้างแรงเฉือนต่อเมมเบรนจะขจัด สลัดจ์คืนกลับสู่การแขวนลอย เสมือนการหมุนเวียนสลัดจ์ ซึ่งระบบทั้งหมดจะทำงาน ได้อย่างสม่ำเสมอ คงตัวไปตามสภาวะของแต่ละการทดลอง

-: การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 1 กับ 2 และเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3 กับ 4 ค่า เอ็มแอลอีเอสเอส. ปรับสูงขึ้นจากผลการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาณได้แก่ การเติมน้ำตาล ลดค่าเวลากักเก็บ ตามลำดับ สารอาหารถูกใช้ในการสร้างเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างอิสระ แหล่งอาหารทั้งหมด ไม่เพียงพอต่อจำนวนจุลชีพในระบบ เมื่อการเจริญเติบโตสมมูลกับ การตาย การสะสมของสลัดจ์ และ การถูกขจัดออกจากผิวผนังเมมเบรน ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพแขวนลอยในถังปฏิกรณ์จะคงตัวในที่สุด

-: การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ 4 กับ 5 ค่าสลัดจ์จุลชีพ ปรับต่ำลงจากผลการลดภาระ บรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาณ (งดให้น้ำตาล) จุลชีพขาดแคลนอาหารอย่างฉับพลัน และคายลดจำนวน กระทั่งสมนัยกับแหล่งอาหารที่มี โดยมีปัจจัยต่างๆสมดุลกัน เหมือนดังการทดลองที่ 1-4 ดังกล่าว

ถึงแม้ว่าน้ำเสียจริงจากถังพักรวมของอาคารในแต่ละวัน จะไม่อาจควบคุมความเข้มข้นสารมลพิษ ต่างๆ ได้ แต่ก็แปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงความเข้มข้น ตามช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน จึงไม่ส่งผลกระทบทันทีทันใด ต่อประสิทธิภาพ หรือความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพของระบบ ซึ่งมีค่าสม่ำเสมอ และปรับตัวอยู่ในช่วงแคบๆ ดั่งเช่นระบบเอ.เอส. ที่บำบัดน้ำเสียจริง ฉะนั้นการทดลองระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ กับน้ำเสียจริง ที่มี การควบคุมปริมาณถังปฏิกรณ์ และค่าฟลักซ์ให้คงที่ได้ เมื่อสามารถดำเนินระบบให้มีประสิทธิภาพการ กำจัด และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพคงตัว ก็อาจกล่าวได้ว่า ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแฝง (Pseudo steady state) ซึ่งในงานวิจัยนี้ของนุโลมกล่าวว่า ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) ในแต่ละการทดลอง





4.3 ผลของตัวแปรในการทดลอง ต่อการทำงานของไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน

ผลการทดลองรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า ค่าความดันในการกรองผ่านไมโครฟิลเตรชันเมมเบรน มีความสัมพันธ์กับ ค่าฟลักซ์ และ ความเข้มข้นสัคคัจจุลชีพ ซึ่งอาจอธิบายได้โดยสมการที่ 4.3 ก-ค

$$P = P_m + P_d \quad 4.3 \text{ ก}$$

$$\text{Flux} = P / \mu(R_m + R_d) \quad 4.3 \text{ ข}$$

$$P = P_m + P_d = \text{Flux} \times \mu(R_m + R_d) \quad 4.3 \text{ ค}$$

โดยที่ P_m = ความดันในการกรองผ่านเมมเบรน (Internal pressure lose , KPa)

P_d = ความดันสูญเสียจากสัคคัจจุลชีพที่ผิวหน้าเมมเบรน (External pressure lose, KPa)

P = ความดันสูญเสียรวม (Total pressure lose, KPa)

R_m, R_d = ความต้านทานของ เมมเบรน และสัคคัจจุลชีพที่ผิวเมมเบรน ตามลำดับ (m-1)

μ = ความหนืดของไหล แปรผันตามความเข้มข้นสัคคัจจุลชีพ ในถังปฏิกรณ์ (KPa-sec.)

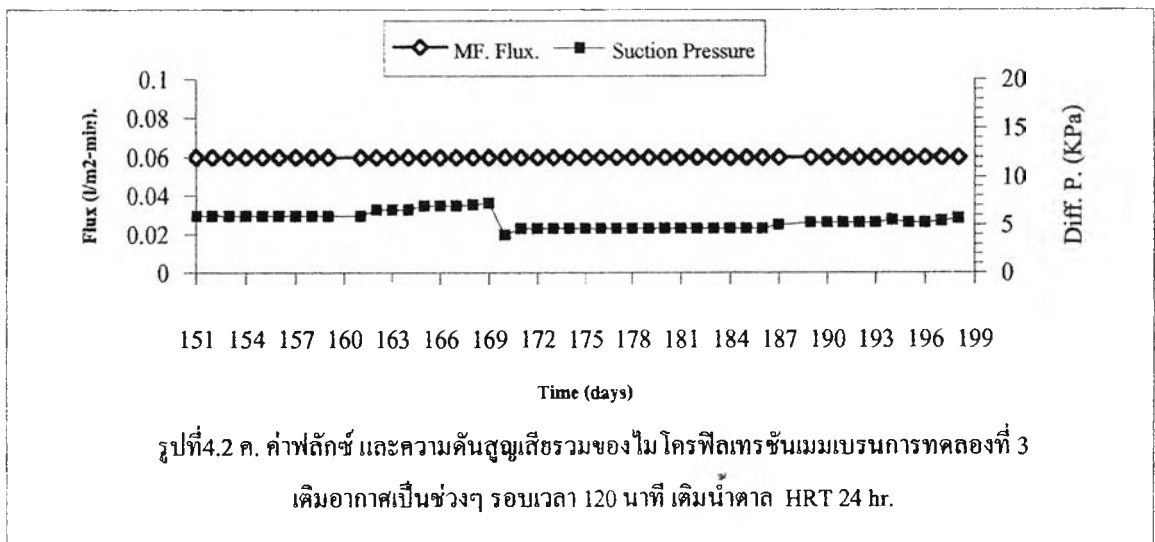
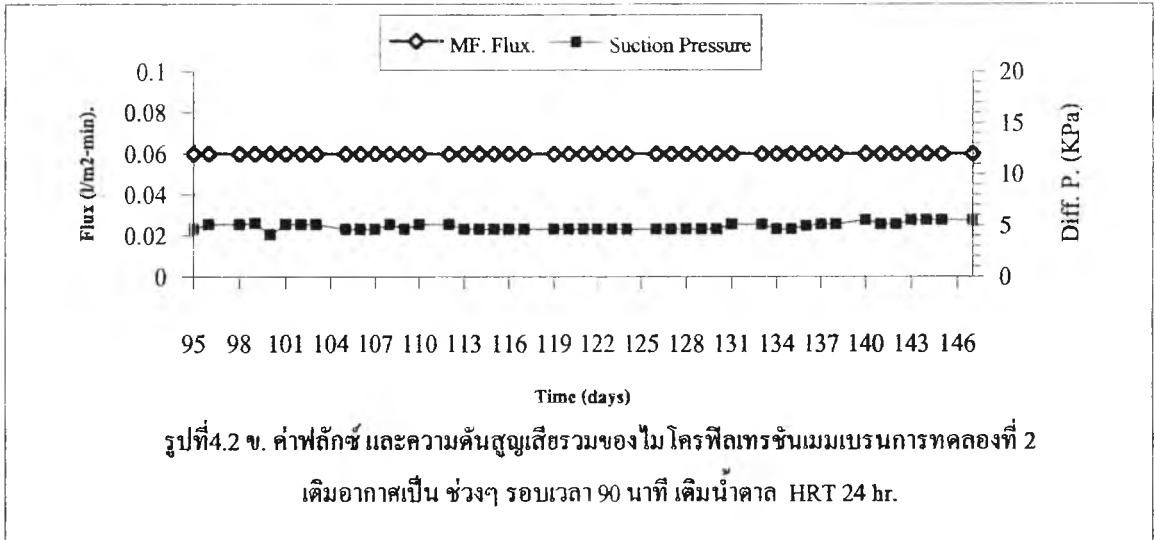
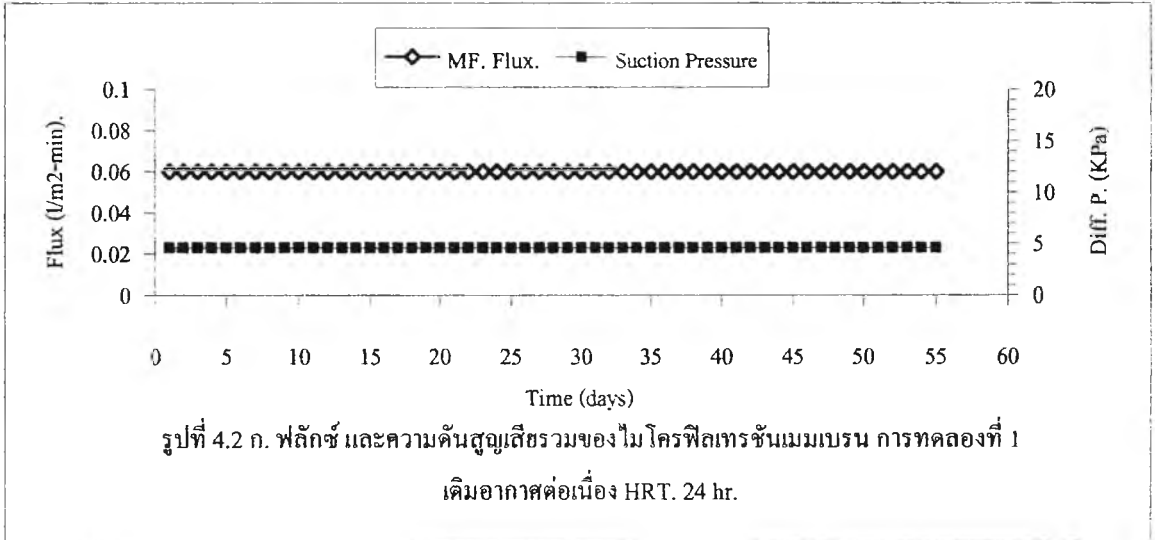
จากสมการ เมื่อแรงเฉือนซึ่งเกิดจากการเติมอากาศ และหัวฉีดน้ำหมุนเวียนภายใน ที่กระทำต่อผิวหน้าเมมเบรนเท่ากัน การออกแบบให้เมมเบรน มีค่าฟลักซ์สูง หรือระบบมีความเข้มข้นสัคคัจจุลชีพสูง จะส่งผลกระทบต่อทั้ง ค่าความดันในการกรองผ่านเมมเบรน และค่าความดันสูญเสียจากสัคคัจจุลชีพ ยังผลให้ความดันสูญเสียรวมของระบบการกรองสูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปผลจากรูปที่ 4.2 ได้ดังตารางที่ 4.2

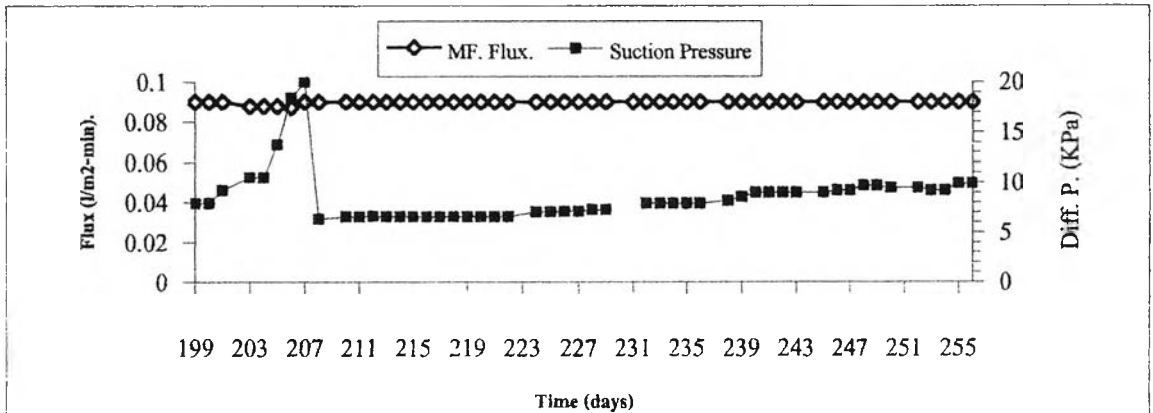
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ แรงดันในการกรอง และความเข้มข้นสัคคัจจุลชีพ

| การทดลอง ที่ | ค่าฟลักซ์ (ลิตร/ตร.ม.นาท) | MLSS./ MLVSS. เฉลี่ยที่สถานะคงตัว (mg/l.) | ความดันในการกรองผ่าน เมมเบรน กับความเข้มข้น สัคคัจจุลชีพขณะที่วัด | | ความดันสูญเสีย โดยรวมสูงสุด P_{max} (KPa.) |
|-----------------|------------------------------|---|---|---------------|--|
| | | | P_m (KPa.) | MLSS. (mg/l.) | |
| 1 | 0.06 | 3,704 / 2,460 | 4.60 | 3,200 | 4.60 / (-) |
| 2 | 0.06 | 4,030 / 3,440 | 4.60 | 4,000 | 5.50 / (-) |
| 3 | 0.06 | 4,460 / 3,920 | 4.60 | 4,350 | 5.3 / (7.24) |
| 4 | 0.09 | 5,790 / 5,170 | 6.30 | 4,770 | 9.9 / (18.4) |
| 5 | 0.09 | 2,570 / 2,350 | 7.90 | 5,060 | 14.5 / (22.4) |

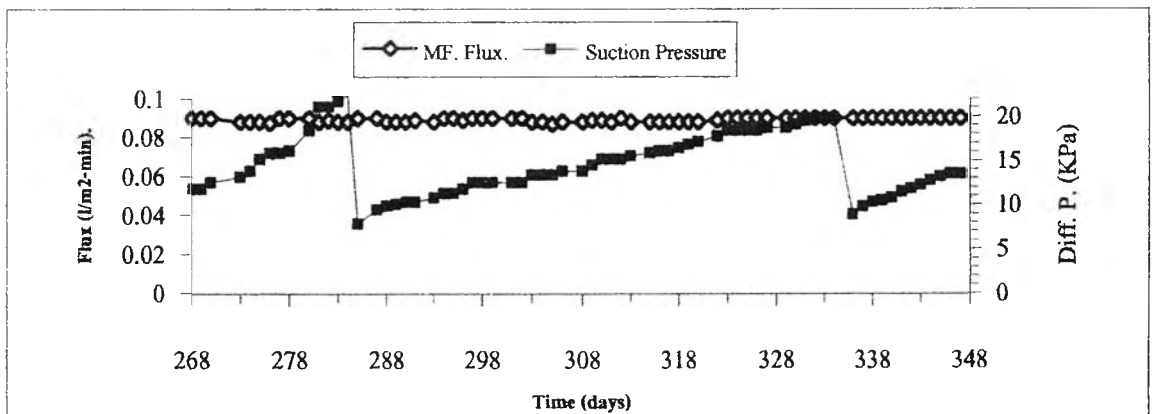
หมายเหตุ : ค่า P_m = ความดันทำงานขณะเมมเบรนสะอาด หรือหลังการล้าง

ค่า P_{max} = ความดันเมื่อสิ้นการทดลอง และ () ความดันสูงสุดสุดท้ายก่อนการล้างเมมเบรน





รูปที่ 4.2 ง. ค่าฟลักซ์ และความดันดูดเฉลี่ยรวมของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน การทดลองที่ 4
 เดิมอากาศเป็นช่วงๆ รอบเวลา 120 นาที เดิมน้ำคาส HRT.16 hr.



รูปที่ 4.2 จ. ค่าฟลักซ์ และความดันดูดเฉลี่ยรวมของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน การทดลองที่ 5
 เดิมอากาศเป็นช่วงๆ รอบเวลา 120 นาที เดิมน้ำคาส HRT 16 hr.

4.3.1 ผลของค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ

จากตารางที่ 4.2 แต่ละการทดลองจะควบคุมค่าฟลักซ์ อัตราการเติมอากาศ ฉีดพ่นอากาศ และอัตราไหลผ่านหัวฉีดน้ำหมุนเวียนภายใน ให้สม่ำเสมอคงที่ ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 1-3 รูปที่ 4.2 ก.-ค. คำเนิการทดลองที่เวลากักเก็บ 24 ชม. พบว่าที่ค่า ฟลักซ์ 0.06 ลิตร/ตร.ม.นาที่ ความดันสูญเสียในระบบการกรองมีความคงตัว ระบบทำงานได้นานกว่า 6 เดือน โดยไม่มีการหยุดล้างเมมเบรน จะเห็นว่า การปรับตัวเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ จากการทดลองที่ 1 มาถึงการทดลองที่ 2 และ 3 จะไม่ส่งผลกระทบต่อความดันในการกรองผ่าน (Pm.) แต่ความต้านทานของสลัดจ์สะสมที่ผิวเมมเบรน (Rd) ปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆทำให้ ความดันสูญเสียของระบบการกรอง ปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก 4.6 มาเป็น 5.5 KPa เมื่อสิ้นการทดลองที่ 2 และ วันที่ 172 ช่วงกลางการทดลองที่ 3 ความดันเพิ่มขึ้นเป็น 7.24 KPa และได้ทำการหยุดล้างเมมเบรนเป็นครั้งแรก

การทดลองที่ 1 ระบบทำงานแบบเติมอากาศต่อเนื่อง ค่าฟลักซ์ ภาระสารอินทรีย์ 0.13-0.24 kg.COD/m³.d ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ มีค่าต่ำ ความดันสูญเสียในระบบกรองคงที่ แสดงว่า กระแสอากาศปั่นป่วนจะกำจัดการสะสมของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน ได้ดี ความต้านทานไม่สะสมเพิ่มความดันสูญเสียเมื่อสิ้นการทดลอง (Pmax) ยังคงมีค่าเท่ากับความดันในการกรองผ่านเมมเบรน (Pm)

การทดลองที่ 2,3 ระบบเริ่มทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆด้วยรอบเวลา 90 ,120 นาที และมีการเติมน้ำตาล จากภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่ม 0.42-0.56 kg.COD/m³.d ทำให้ค่าสลัดจ์จุลชีพ ปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งความดันสูญเสียมีแนวโน้มขยับตัวเพิ่มในการทดลองที่ 2 แสดงว่า ปริมาณกระแสอากาศ การหมุนเวียนน้ำภายใน เริ่มมีอัตราการกำจัดออกน้อยกว่าอัตราการสะสม ของสลัดจ์ที่ผิวเมมเบรน ทำให้ความต้านทาน (Rd) เริ่มมีค่าสะสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันสูญเสียรวม (Pmax) เพิ่มขึ้นดังกล่าว

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 3 กับ 4 จากรูปที่ 4.2 ค. และ ง. การลดค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์จาก 24 ชม. มาเป็น 16 ชม. นั่นคือ การเพิ่มค่าฟลักซ์ให้กับไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน จาก 0.06 มาเป็น 0.09 ลิตร/ตร.ม.นาที่ และจากอัตราไหลผ่านที่สูงขึ้น จะเป็นการเพิ่มค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.5-0.75 kg.COD/m³.d. ทำให้ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ ซึ่งแปรผันกับค่าความหนืด ปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก 4,400 ในการทดลองที่ 3 เป็น 5,800 มก./ล เมื่อเข้าสู่สถานะคงตัวในการทดลองที่ 4 ผลกระทบต่อการทำงานของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน จากสภาวะดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้

การเพิ่มค่าฟลักซ์ ทำให้อัตราการซึมผ่าน และความต้านทานของเมมเบรน (Rm) สูงขึ้น ส่งผลให้ความดันในการกรองผ่านเมมเบรน (Pm) เพิ่มขึ้นจาก 4.6 มาเป็น 6.3 KPa และ ในขณะเดียวกัน

ความเข้มข้นสัลไฟด์จูลซีฟ และความหนืดของน้ำ ก็ปรับตัวสูงขึ้น เป็นผลให้ทั้ง อัตราเร็วและความเข้มข้น ในการสะสมตัวของสัลไฟด์จูลซีฟที่ผิวของเมมเบรนเพิ่มขึ้น ไปพร้อมๆกัน ในขณะที่แรงเฉือนกระทำต่อผิว หน้าเมมเบรนยังมีค่าคงเดิม ทำให้ความต้านทาน (Rd) และความดันสูญเสียจากสัลไฟด์สะสมปรับตัวสูงขึ้น ความดันสูญเสียรวมระหว่างการทดลองจึงค่อยๆปรับตัวสูงขึ้นตามกราฟแสดงผล

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 4 กับ 5 รูปที่ 4.2 จ. ระบบยังคงทำงานที่ค่าฟลักซ์ 0.09 ลิตร/ตร.ม.นาที่ ทดการะบรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตรเป็น 0.12-0.36 Kg.COD./m³.d.(งดให้น้ำตาล) ทันทีทันใด ความเข้มข้นสัลไฟด์จูลซีฟลดลงจาก 5,850 มาเป็น 2,400 มก./ล. ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และที่ 5 ตามลำดับ โดยมีการหยุดล้างเมมเบรนระหว่างช่วงที่ค่าสัลไฟด์จูลซีฟเท่ากับ 5,060 มก./ล. พบว่า

ค่าฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้น และการอุดตัน ดันการทดลองที่ 4 ทำให้ความเข้มข้นสัลไฟด์จูลซีฟที่เพิ่มสูง เริ่มมีผลต่อความดันในการกรองผ่าน (Pm.) โดยปรับตัวเพิ่มจาก 6.3 เป็น 7.9 KPa ในการทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ และพบว่า ที่ปลายการทดลองที่ 5 แม้ว่าความเข้มข้นสัลไฟด์จูลซีฟ จะลดลง เหลือ 2,400 มก./ล. ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับการทดลองอื่นๆ ทำให้อัตราการสะสมสัลไฟด์เพิ่มใหม่ที่ผิวของ เมมเบรนลดลง แต่ความต้านทานของสัลไฟด์ที่สะสมค้างอยู่เดิม ที่ระบบการสร้างแรงเฉือนไม่สามารถ กำจัดออกได้ จะทำให้ความดันสูญเสียรวม(Pmax) ยังคงมีค่าสูงที่ 14.5 KPa

การสะสมอัดตัวของสัลไฟด์จูลซีฟที่ผิวหน้าเมมเบรน จนความดันสูญเสียรวมเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วสังเกตได้จากการทดลองที่ 4 ก่อนการล้างเมมเบรนรูปที่ 4.2 จ. เนื่องจากเมมเบรนมีการสะสม ของสัลไฟด์ที่ผิวหน้าอยู่เดิม การปรับเพิ่มค่าฟลักซ์ทันทีทันใด ทำให้ป้มสร้างแรงดันกระทำต่อเมมเบรนเพิ่ม สัลไฟด์จึงกระชับตัวกับผิวหน้าเมมเบรนขึ้นกระชั้นกัน ซึ่งดังที่เคยกล่าวไว้ การควบคุมค่าฟลักซ์ให้ คงที่ ป้มจะสร้างแรงดันเพิ่มชดเชยความดันสูญเสียที่เกิด ยิ่งทำให้สัลไฟด์อัดตัวแน่นเป็นชั้นแข็ง เกิดการอุดตันใน รูของเมมเบรน แม้ความดันยังไม่เพิ่มถึงความดันวิกฤติ ซึ่งคาดว่าเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ความดันในการ กรองผ่าน (Pm.) สูงขึ้น และความสามารถของแรงเฉือนในการยับยั้งการเพิ่มของความดันสูญเสียคือยล งคังการทดลองที่ 5 รูป 4.2 จ. ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้โดยการฉีดล้างน้ำเพียงอย่างเดียว

4.3.2 ผลของการเติมอากาศ ฉีดพ่นอากาศ ป้มหมุนเวียนน้ำ และรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ

การออกแบบระบบการสร้างแรงเฉือนต่อผิวหน้าเมมเบรน ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ สามารถยับยั้งการสะสมตัวของสัลไฟด์จูลซีฟ เมมเบรนทำงานได้ที่ค่าฟลักซ์สูงสุด แรงดันต่ำสุดคงที่ และ รับภาระความเข้มข้นสัลไฟด์จูลซีฟได้ในช่วงกว้าง แต่อาจไม่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ จึงขออธิบายถึง ข้อพิจารณาในการหาจุดเหมาะสมในการออกแบบระบบการสร้างแรงเฉือน ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ

ภาวะบรรทุทุกสารอินทรีย์และไนโตรเจนสูงสุด-ต่ำสุด หมายถึง การเปลี่ยนแปลงอัตราไหล ความเข้มข้นซีโอดี ทีเคเอ็น และสัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยปริมาณอากาศที่เติมให้ระบบ จะมีอัตราไหลไม่เกินความต้องการออกซิเจนในทางปฏิบัติ ของกระบวนการทางชีวภาพ ที่ภาวะบรรทุทุกสูงสุดในการทดลอง (Qmc.) โดยสร้างความปั่นป่วนให้ผิวหน้าเมมเบรนได้สูงสุด ด้วยหลักการสร้างความหนาแน่นในการเติมอากาศ (Intensity) ให้มีค่าสูงสุด และมีการกวนผสมในถังปฏิกรณ์อย่างทั่วถึง

การเติมอากาศและฉีดพ่นอากาศ : จำนวนอัตราไหลอากาศที่สามารถสร้างความรุนแรง ในการกำจัดสัลเฟอร์ที่ผิวหน้าเมมเบรน (Qsc.) มีค่าประมาณ 75-100 ลิตร/นาที่ ในขณะที่ค่า "Qmc." มีค่า 25 ลิตร/นาที่ การเลือกใช้ค่า "Qsc" ออกแบบ ระบบจะคงตัวได้นานโดยมีการบำรุงรักษาน้อย แต่ใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายกำลังไฟฟ้าสูง ฉะนั้นเพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ รูปแบบของระบบเติมอากาศที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่

-: ระบบหลัก เติมอากาศเพื่อกระบวนการชีวภาพ และสร้างกระแสปั่นป่วนเพื่อยับยั้งการสะสมตัวของสัลเฟอร์ที่ผิวหน้าเมมเบรน เติมอากาศผ่านหัวฉีด ติดตั้งรวมกลุ่มอยู่ใต้เมมเบรน ค่า "Qmc." 20 ลิตร/นาที่ ที่ 0.11 บาร์ ใช้ออกแบบการเติมอากาศ โดยอาจเกิดสัลเฟอร์ที่ผิวหน้าเมมเบรนได้ในอัตราต่ำ แต่ควบคุมไม่ให้เกิดการอุดตัน ค่า "Qsc." 75 ลิตร/นาที่ ที่ 1.5 บาร์ ออกแบบระบบฉีดพ่นอากาศผ่านหัวฉีดคอคอด ที่ความดันรวมในท่ออากาศจะเปลี่ยนเป็นความดันความเร็วฉีดพ่นอากาศสร้างกระแสปั่นป่วนที่มีกำลังสูงกว่าเพื่อกำจัดสัลเฟอร์สะสม โดยระบบนี้ไม่ทำงานตลอดเวลา

-: ระบบเสริม เติมอากาศเพื่อกระบวนการทางชีวภาพ และเร่งปรับสภาวะจากสภาพที่ไม่มีออกซิเจนอิสระแต่มีไนเตรทเหลืออยู่ (แอนน็อกซิด) ให้เป็นสภาพแอโรบิก ค่าซีโอสูงกว่า 2 มก./ล. ในเวลารวดเร็วโดย ป้อนลมและหัวฟุ้งกระจายโดยรอบกันถึงปฏิกรณ์ สร้างฟองอากาศเม็ดเล็ก มีความรุนแรงน้อย แต่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนสูง มีอัตราไหลประมาณ 10 ลิตร/นาที่

ปั๊มสูบน้ำหมุนเวียนภายใน : จากกันสู่ส่วนบนของถังปฏิกรณ์ ผ่านหัวฉีดน้ำสร้างแรงเฉือนปะทะผิวหน้าเมมเบรน และสร้างการกวนผสมในช่วงแอนน็อกซิดไปพร้อมกัน พบว่าปั๊มขนาด 1/3 แรงม้า อัตราไหล 25 ลิตร/นาที่ ผ่านหัวฉีดคอคอดขนาด 5/16" 3 หัว สร้างการกวนผสมได้น้ำได้ทั่วถึง ปฏิกรณ์ โดยไม่ส่งเสริมการถ่ายเทออกซิเจนจากบรรยากาศ แต่แรงเฉือนกระทำต่อเมมเบรนจะลดลงไปตามระยะห่างส่วนบนถึงกันถึง เมมเบรนส่วนล่างจะมีแนวโน้มที่จะเกิดสัลเฟอร์สะสมได้มากกว่า ในทางปฏิบัติซึ่งไม่ถูกจำกัดพื้นที่ การใช้ใบพัดกวนจะใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่ความปั่นป่วนเท่ากัน

ผลกระทบของระบบการสร้างแรงเฉือนดังกล่าว และรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ ต่อความดันสูญเสียรวมของระบบการกรองผ่านเมมเบรน สามารถอธิบายได้ดังนี้

การทดลองที่ 1 : ระบบมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำที่สุด ด้วยค่าพีล็กซ์ และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพต่ำ การเติมอากาศต่อเนื่อง และฉีดพ่นอากาศ ที่ออกแบบ สามารถกำจัดการสะสมของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน ได้อย่างสิ้นเชิง โดยรักษาความดันสูญเสียให้คงที่ได้ตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 4.2 ก.

การทดลองที่ 2 : เปลี่ยนรูปแบบจากการเติมอากาศต่อเนื่อง ในการทดลองที่ 1 มาเป็นการเติมอากาศ ฉีดพ่นอากาศเป็นช่วงๆ สลับกับปั๊มหัวฉีดน้ำหมุนเวียนภายใน ซึ่งความรุนแรงจะลดลงไปตามความลึกของถัง รวมถึงผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.2 ข. สังเกตได้ถึงผลกระทบต่อความดันสูญเสียที่เริ่มขยับปรับตัวขึ้น-ลง จากการเริ่มสะสมตัวของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน

เปรียบเทียบผลการทดลองที่ 2 กับ 3 : เติกระบบที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90-120 นาที ตามลำดับ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์สม่ำเสมอ จากรูปที่ 4.2 ข. และ ค. พบว่า รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที ส่งผลต่อความดันสูญเสียให้ปรับตัวเพิ่มขึ้นกว่าที่ 90 นาที ซึ่งมีการสลับเปลี่ยนการเติมอากาศ และระบบปั๊มหมุนเวียนน้ำด้วยช่วงเวลาที่เร็วกว่า มีจำนวนครั้งของการฉีดพ่นอากาศต่อวันมากกว่า และ อาจบ่งบอกถึงประสิทธิภาพที่ดียิ่งกว่า ของปั๊มหมุนเวียนน้ำภายใน เทียบกับระบบการเติมอากาศ ฉีดพ่นอากาศ ทำให้ภาพรวมของความดันทำงาน เป็นไปในลักษณะขยับขึ้น และชลด การสะสมของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน โดยความดันสูญเสียจะปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆตามกราฟ

การทดลองที่ 4 : เป็นสภาวะที่ระบบการเติมอากาศเพื่อความต้องการทางชีวภาพ และระบบการสร้างแรงเฉือน ถูกออกแบบให้รับภาระเต็มพิกัด ที่ภาระบรรทุกสูงสุด โดยมีค่าพีล็กซ์ ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพสูงสุด และจากผลการทดลองที่ 2,3 เลือกใช้รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 120 นาที แม้จะให้ผลความคงตัวของความดันสูญเสียดีกว่าที่ 90 นาที แต่ให้ผลการกำจัดไนโตรเจนดีกว่า ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.5 จากรูปที่ 4.2 ง. ความดันสูญเสียปรับตัวเพิ่มขึ้นตามการสะสมของสลัดจ์ที่ผิวเมมเบรน ดังคาด แต่ส่งผลเร็วขึ้น จากผลของการอุดตัน การเพิ่มค่าพีล็กซ์อย่างกระทันหัน ทำให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงต้นของการทดลอง ดังกล่าวข้างต้น

การทดลองที่ 5 : รูปที่ 4.2 จ. ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (ซี ไอดีเข้า) และความต้องการออกซิเจนทางชีวภาพลดลง แต่ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพที่ค่อยๆปรับตัวลดลงยังมีค่าเฉลี่ยสูงตลอดการทดลอง ทำให้ระบบสร้างแรงเฉือนกระทำต่อผิวหน้าเมมเบรน ยังรับภาระสูงกับการสะสมของสลัดจ์ ในอัตราและความเข้มข้นเฉลี่ยที่สูง และจากการอุดตันของสลัดจ์ค้างในรูของเมมเบรน ต้นการทดลองที่ 4 ทำให้การสะสมของสลัดจ์เพิ่มในอัตราเท่าเดิม จะส่งผลให้ความดันสูญเสียเพิ่มเร็วขึ้น

ข้อบกพร่องของระบบฉีดพ่นอากาศ จากเหตุสุดวิสัยเกิดขึ้นต้นการทดลองที่ 2 ปั๊มลมอัดอายุชราชุดเดียวที่มี เกิดรอยรั่วตามคัทที่หาไม่พบในถังเก็บลม การดัดแปลงระบบไฟฟ้าควบคุมเพื่อไม่ให้

มอเตอร์ขับเคลื่อนหนัก ทำให้สภาวะการทำงานต่ำกว่าที่ออกแบบ (Q_{sc} มีค่าประมาณ 50 ลิตร/นาที่ ที่ความดัน < 1 บาร์) ประสิทธิภาพการกำจัดสัคส์สะสมระหว่างช่วงเดิมอากาศ และ การหมุนเวียนน้ำคือยกลง โดยเฉพาะการทดลอง 4 และ 5 ความดันสูญเสียรวมควรมีอัตราการเพิ่มขึ้นช้ากว่าผลที่ได้

4.4 การบำบัดน้ำเสียอากาศสูงด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ แบบเดิมอากาศต่อเนื่อง (การทดลองที่ 1)

ระบบทำงานที่ค่าเวลากักเก็บ 24 ชม. โดยมีอัตราการไหลน้ำเสียผ่านระบบ 7.10 ลิตร/ชม. ปรับอัตราการไหลของปั๊มคูดให้มีค่า 0.24 ลิตร/นาที่ ขณะปั๊มทำงาน 10 นาที หยุด 10 นาที เมมเบรนจะทำงานที่ค่าฟลักซ์ 0.06 ลิตร/ตร.ม.นาที่ เริ่มการทำงานโดยสัคส์จุลชีพจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา ด้วยค่าเอ็มแอลเอสเอส และวีเอสเอส. ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 3,580 2,180 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็น 60.9 %

ทำการบำบัดน้ำเสียจริงจากอาคารสูง โดยมีค่า ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.13-0.24 Kg.COD./m³.d. ไม่มีการเติมสารอาหาร และสารอินทรีย์เพิ่ม ไม่ควบคุมอายุสัคส์ และมีการเติมอากาศแบบต่อเนื่อง 24 ชม. ด้วยอัตราไหลอากาศจากปั๊มลม 25 ลิตร/นาที่ ความดัน 0.1 บาร์ การฉีดพ่นอากาศ (Jet aeration) 2 ครั้ง/วัน 5นาที่/ครั้ง ด้วยอัตราไหลจากปั๊มลมอัด 75 ลิตร/นาที่ ความดัน 1.5 บาร์ สั่งการทำงานด้วยมือ

ระยะเวลาการทดลองที่ 1 ทั้งหมด 60 วัน ติดตามการทำงาน และ เก็บข้อมูล อย่างต่อเนื่อง พบว่า ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) อย่างสิ้นเชิงตั้งแต่วันที่ 34 โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าพารามิเตอร์ลักษณะน้ำทิ้ง และ ความเข้มข้นสัคส์จุลชีพ สม่ำเสมอคงที่ ผลการทดลองเฉลี่ยที่สถานะคงตัวแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองที่ 1 ค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัว

| EXP | DO. | Temp. | pH | Turbi. | SS. | COD. | MLSS | VSS. | TKN. | NO ₂ | NO ₃ | % |
|------|--------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|-----------------|-------|
| 1 | mg./l. | C | | NTU. | mg./l. | mg./l. | mg./l. | mg./l. | mg./l. | mg./l. | mg./l. | Nitri |
| Inf. | - | - | 7.32 | 38.6 | 51 | 167 | 66.4% | | 61.3 | 0.016 | 2.0 | |
| Rec. | 3.00 | 28.3 | 7.00 | - | - | - | 3,704 | 2,461 | 222 | - | - | 98.2 |
| Eff. | - | - | 7.25 | 0.14 | 0.47 | 14.7 | | | 1.0 | 0.031 | 59.5 | |

หมายเหตุ : ผลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยช่วงวันที่ 34-60 ของการทดลอง

$$TKN_{cell} = TKN_{rec.} - TKN_{eff.} \text{ (mg./l.)}$$

4.4.1 อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และพีเอช

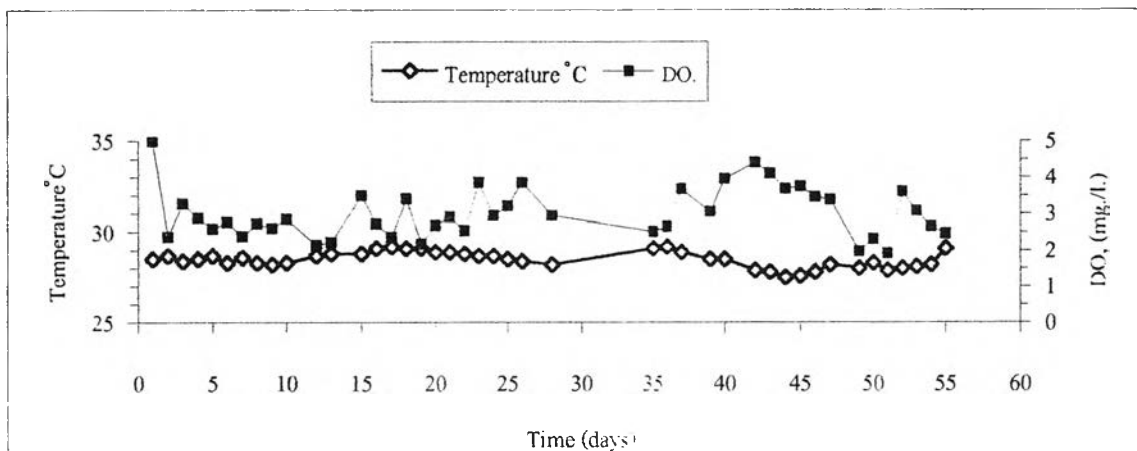
อุณหภูมิ จากรูปที่ 4.3 อุณหภูมิน้ำในถังปฏิกรณ์จะแปรผันไปตามอุณหภูมิจนบรรยากาศไม่มีการควบคุม แต่ระบบบำบัดน้ำเสียของอาคาร 4 ติดตั้งอยู่ชั้นใต้ดิน เป็นพื้นที่ปิดล้อม กำแพงหนา และไม่มีลมไหลผ่านปะทะ จึงมีอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ อุณหภูมิภายในไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก การทดลองที่ 1 อยู่ช่วงเดือนกันยายน ถึงพฤษภาคม อุณหภูมิภายนอกอาคารเย็นที่สุด อุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 27.5-29.2°C ค่าเฉลี่ยที่สภาวะคงตัว 28.3°C ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ไนตริไฟเคชัน ความหนืดของน้ำในถังปฏิกรณ์ หรือค่าออกซิเจนละลาย ที่สังเกตได้เลย

ออกซิเจนละลาย จากรูปที่ 4.3 เนื่องจากการทดลองที่ 1 มีค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ค่าที่สุด และระบบทำงานแบบเดิมอากาศต่อเนื่อง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจึงใช้เพียง ระบบเดิมอากาศหลักได้โมดูลยูนิต สำหรับทั้งกระบวนการทางชีวภาพ และสร้างแรงเฉือนที่ผิวหน้าเมมเบรนพร้อมกัน พบว่า ระบบเดิมอากาศหลัก สามารถสร้าง และคงค่าออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์มากกว่า 2 มก./ล. ตลอดการทดลอง เพียงพอต่อการกำจัดสารอินทรีย์ และ ไนตริไฟเคชัน มีค่าดีโอ.อยู่ในช่วง 2.10-4.10 มก./ล. แปรเปลี่ยนไปตามการะบรทุกสารอินทรีย์ และ ทีเคเอ็น ในน้ำเสียแต่ละวัน

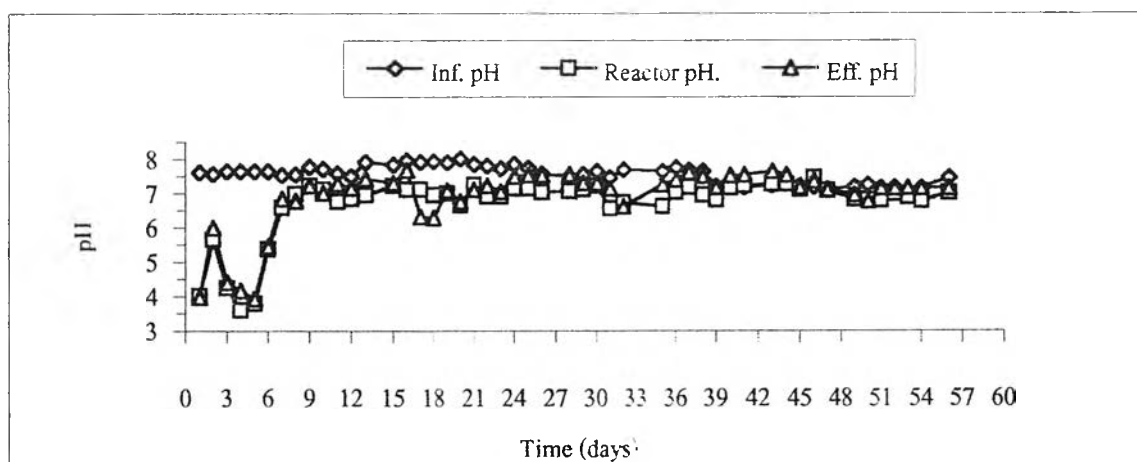
ค่าออกซิเจนละลายในแต่ละวันจะควบคุมให้ไม่ต่ำกว่า 2 มก./ล. เพื่อไม่ให้เกิดการจำกัดปฏิกิริยาทางชีวภาพ แต่ระบบไม่มีการติดตั้งดีโอเซ็นเซอร์ เพื่อควบคุมค่าออกซิเจนละลายที่เกินความจำเป็น แต่จะยกประ โยชน์ให้กับการสร้างแรงเฉือนในการกำจัดสลัดจ์สะสม เพื่อความคงตัวของเมมเบรนดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.3 ผลของการฉีดพ่นอากาศซึ่งทำงานตามรอบเวลาช่วงสั้น พบว่าให้ประโยชน์ในการขยับยั้งการสะสมสลัดจ์ที่ผิวเมมเบรน มากกว่าการเติมอากาศ เนื่องจากอัตราไหลและความดันอากาศที่สูง ฟองอากาศเม็ดใหญ่ รุนแรง ผ่านเมมเบรนด้วยความเร็วสูง ลอยถึงผิวน้ำในเวลาสั้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนต่ำกว่า

พีเอช รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ตลอดการทดลองที่ 1 เนื่องจากระบบมีอายุสลัดจ์ยาวนาน และการทำงานแบบเดิมอากาศต่อเนื่อง ค่าดีโอที่สูง จะเกิดปฏิกิริยาไนตริไฟเคชันประสิทธิภาพสูง ซึ่งการออกซิไดซ์แอมโมเนียในโตรเจน 1 มก./ล. ใช้ความเป็นด่าง 7.10 มก./ล. น้ำเสียจากอาคาร 4 มีค่าทีเคเอ็นอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าน้ำเสียชุมชนทั่วไป คือ 45-90 มก./ล. การเกิดไนตริไฟเคชันที่สมบูรณ์จะใช้เวลาเป็นด่างถึง 320-650 มก./ล. ขณะที่น้ำเสียซึ่งมีที่มาจากน้ำประปามีค่าความเป็นด่างตามมาตรฐานการประปานครหลวง 30-500 มก./ล. และน้ำเสียมีพีเอชอยู่ในช่วง 7.5-8.0 จึงมีความเป็นด่างทั้งหมดอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ฉะนั้น

$$\text{Alkalinity (mg/L CaCO}_3\text{)} = \text{HCO}_3^- - \text{H}^+ ; (\text{ไม่มีในรูป CO}_3^{2-} \text{ และ OH}^{-1}\text{)}$$



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิ และออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์ การทดลองที่ 1
เดิมอากาศต่อเนื่อง HRT. 24 hr.



รูปที่ 4.4 การแปรเปลี่ยนค่าพีเอชใน น้ำเสียเข้า ถังปฏิกรณ์ และน้ำทิ้ง การทดลองที่ 1
เดิมอากาศต่อเนื่อง HRT. 24 hr.

อาจอธิบายได้ว่า ความเป็นค่าในน้ำเสียถูกใช้หมดไปกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มสูงขึ้น ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ปรับลดลง จากรูป 4.3 ด้านการทดลอง ไม่มีการควบคุม ค่าพีเอชสามารถลดต่ำถึง 4.3 ซึ่งผลการทดลองช่วง 7 วันแรกพบว่า ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น สามารถเกิดได้ 80-97 % แม้พีเอชต่ำเพียง 4.3 อาจอธิบายได้ว่า น้ำเสียนั้นมีความเป็นด่างเดิมไม่เพียงพอรักษา ค่าพีเอชให้คงที่ แต่ความเป็นค่าถูกใช้หมดพอดีกับค่าที่เคเอ็นที่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ไป

ฉะนั้นเพื่อไม่ให้ความเป็นค่าเป็นตัวจำกัดปฏิกิริยาทางชีวภาพ ให้ระบบมี ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และ ไนตริฟิเคชั่นคงตัวสูงสุด รวมถึงน้ำใสที่ออกจากระบบ มีค่าพีเอช ที่เหมาะสมในการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ จึงต้องมีการปรับพีเอชโดยใช้ โซเดียมไบคาร์บอเนต เติมเพิ่มค่า ความเป็นค่า ควบคุมพีเอชในถังปฏิกรณ์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 6.5-7.5 (วิธีการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข.) และตรวจสอบโดยพีเอชมิเตอร์ ซึ่งสะดวกในการทำงานประจำวันมากกว่า การคำนวณจากผลวิเคราะห์ ค่าที่เคเอ็น และความเป็นค่าในน้ำเสียจริง ในทางปฏิบัติการใช้ พีเอชเซ็นเซอร์ กับระบบเดิมสารเคมี อัลด โนมัตติ จะควบคุมค่าพีเอชได้สม่ำเสมอคงตัวยิ่งขึ้น

จะเห็นได้ว่า ระบบบำบัดระบบทุกที่เคเอ็นในช่วง 0.045-0.09 kg.TKN./m³.d ภาระระบบสารอินทรีย์ 0.134-0.24 kg.COD./m³.d การเติมอากาศอย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นที่ สมบูรณ์ สิ้นเปลืองโซเดียมไบคาร์บอเนตควบคุมพีเอชเฉลี่ย 10.4 g.NaHCO₃ / g.TKN.oxidize.

4.4.2 การกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอย

สารแขวนลอย หมายถึง น้ำหนักของของแข็ง ที่เหลือค้างบนกระดาษกรองใยแก้วขนาดรู กรองมาตรฐาน 0.1-0.45 μm . ที่ผ่านการอบแห้งที่ 105°C ต่อปริมาณน้ำตัวอย่างที่นำมากรอง

ความขุ่น หมายถึง สิ่งที่กั้นทางเดินของแสงที่ผ่านน้ำนั้น เกิดจากสารห้อยแขวน ที่มีหรือ ไม่มีชีวิต ขนาดตั้งแต่ มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า 0.0002 - 0.1 μm . จนถึงขนาดหยาบ 0.1-1 μm .

เห็นได้ว่าการมีอยู่ของสารแขวนลอย และความขุ่น มีสาเหตุที่เหมือนกันคือ อนุภาคสาร ขนาดต่างๆปะปนอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งสามารถถูกกำจัดออกจากน้ำได้โดยกระบวนการชีวภาพเมมเบรน ดังนี้

ของแข็งแขวนลอย : รูปที่ 4.5 ไม่มีผลกระทบต่อค่าเอส.เอส. ในน้ำออกที่สังเกต ได้จากการแปรเปลี่ยนค่าเอส.เอส. ในน้ำเสียเข้า มีค่าเฉลี่ย 51 มก./ล. ในทางทฤษฎีกระดาษกรองมาตรฐาน ในการตรวจวัดค่าเอส.เอส. มีขนาดรูเท่ากับรูของเมมเบรน ซึ่งผลที่ได้ควรกำจัดเอส.เอส. ได้อย่างสิ้นเชิง แต่จากผลการทดลอง ช่วงแรกเริ่มรับภาระแรงดันของเมมเบรน ของแข็งแขวนลอยมีค่า 1-5 มก./ล. ค่า

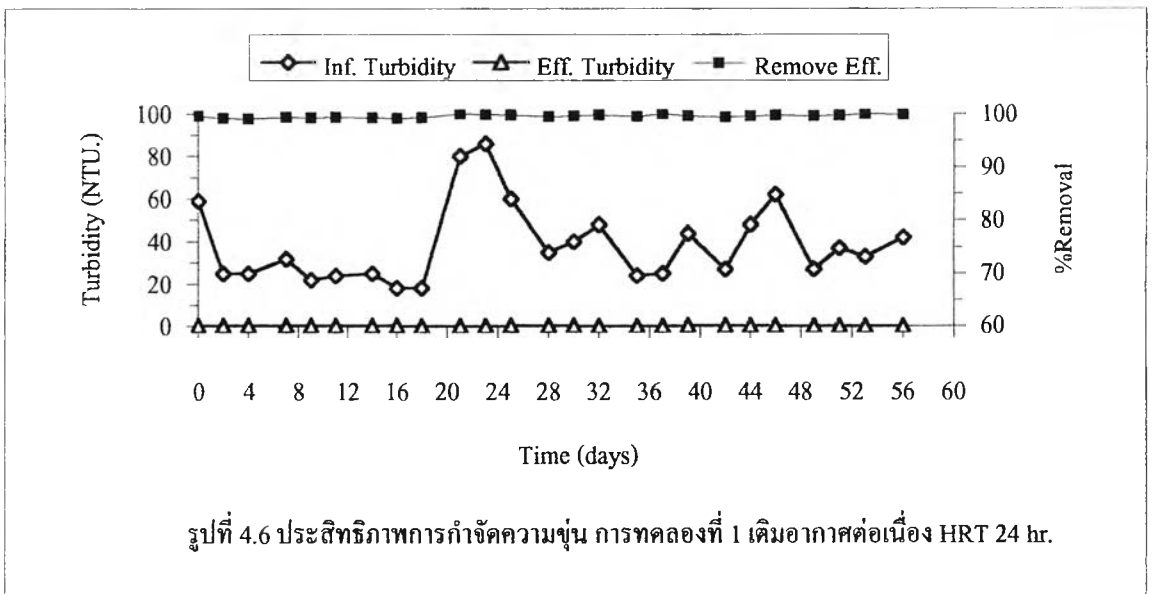
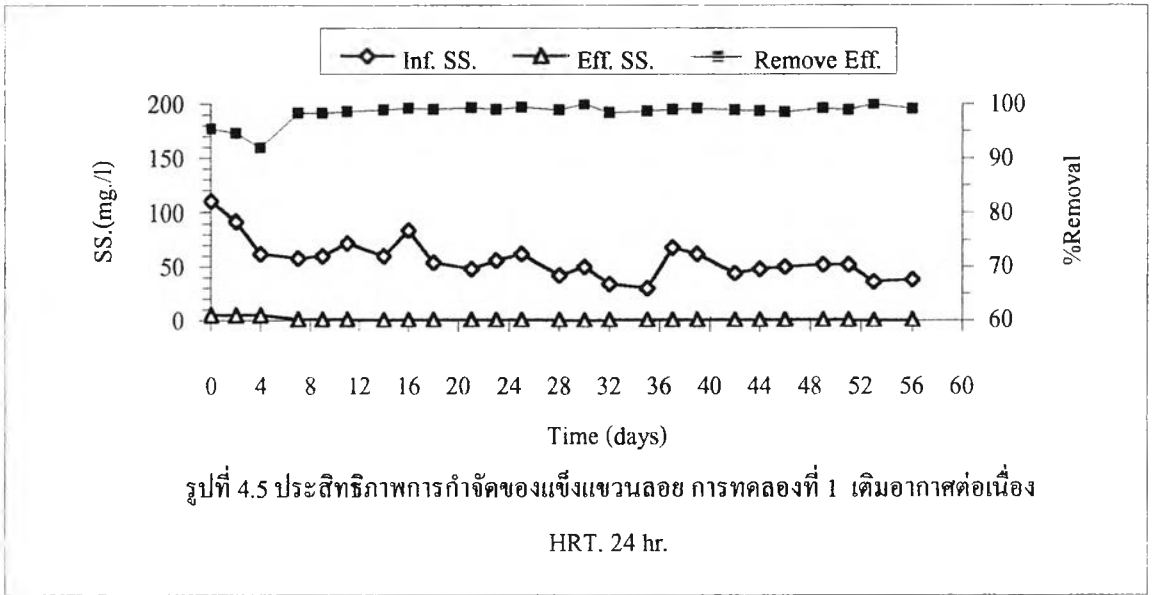
เฉลี่ยที่สภาวะคงตัว 0.47 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัด 99.1 % ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความคาดเคลื่อนของเบสลิ้งค์น้ำหนักกระดาษกรองที่สูญหายขณะอบแห้ง เป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง น้ำตัวอย่าง 500 มล. หรือประสิทธิภาพที่อาจไม่สมบูรณ์ของเมมเบรนเอง

ความขุ่น : จากรูปที่ 4.6 ไม่มีผลกระทบต่อค่าความขุ่นในน้ำทิ้งที่สังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในน้ำเสียเข้า ซึ่งมีค่าเฉลี่ยในกระแสเข้า ออก 38.6 และ 0.47 NTU. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น 98.8% จากการกักแยกอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.1 μm . ออกจากน้ำในถังปฏิกรณ์ และความขุ่น 0.47 NTU. ที่เหลือแสดงถึงการมีอนุภาคขนาดเล็กกว่าหลุดออกไป

ในการทดลองนี้ ไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนที่ใช้เป็นแบบ “Hydrophilic” มีคุณสมบัติในการดูดซับคอลลอยด์ รวมถึงผลของระบบการสร้างความปั่นป่วนที่ผิวหน้าเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพ ทำให้การสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคต่างๆ จนก่อตัวเป็นชั้นเค้ก ไม่สังเกตพบได้ ฉะนั้นกลไกการกักแยกอนุภาคสารอินทรีย์ หรือสารแขวนลอยต่างๆ เพียงอย่างเดียวคือ การกรองดักค้ำ (Sieve) และเมมเบรนที่ใช้มีขนาดรูระบุ 0.1 μm .

อนุภาคในน้ำเสียอาคารที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายทางชีวภาพ ทั้งที่มีขนาดเล็ก และใหญ่กว่าขนาดรูของเมมเบรนจะถูกย่อยสลายดูดซึมเข้าในเซลล์เพื่อการเจริญเติบโต และหรือคงอยู่ในรูปของเอ็มแอลวีเอสเอส. ซึ่งเมมเบรนสามารถกักแยกได้อย่างสิ้นเชิง ส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก และย่อยสลายไม่ได้ที่มีขนาดใหญ่จะถูกเมมเบรนกักไว้ โดยส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ในรูปสารคงตัว (Fix Solids) ผสมรวมกันเป็น เอ็มแอลเอสเอส. ซึ่งด้วยอายุสลัดจ์ที่ยาวนาน สารที่ย่อยได้ยากจะถูกสลายลดปริมาณลง และอนุภาคทั้งหมดที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูเมมเบรน ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อย จะสามารถรอดผ่านรูของเมมเบรนไปได้

ระบบที่ไม่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ อนุภาคในน้ำเสียที่ย่อยไม่ได้ หรือย่อยได้ยาก และซากผนังเนื้อเยื่อของเซลล์ที่ตาย จะสะสมค้ำในถังปฏิกรณ์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ในทางปฏิบัติต้องมีการระบายสลัดจ์ออกทิ้งเป็นครั้งคราว จากรูปที่ 4.1 หน้า 62 การทดลองที่ 1, 2-4, 5 มีอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอส.ต่อเอสเอส. เพิ่มขึ้น 67, 85-89 และ สูงสุด 91% ตามลำดับ เนื่องจาก สลัดจ์หัวเชื้อที่นำมาเริ่มเดินระบบช่วงเวลาดังกล่าว อาจมีสารคงตัวปนอยู่สูง แต่ช่วงต้นการทดลองขึ้นคั้น สลัดจ์หลุดออกจากระบบโดยไม่ตั้งใจ เมื่อระบบปรับตัว จุลชีพเติบโตขึ้นใหม่ในรูปเอ็มแอลวีเอสเอส. ทำให้อัตราส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้น รวมถึงการสะสมของสลัดจ์ที่ผิวเมมเบรน การหยุดล้างเมมเบรนเพื่อนำสลัดจ์ที่สะสมออก เมื่อความดันสูญเสียถึงขีดจำกัดระหว่างการทดลอง (2-6 เดือน/ครั้ง น้อยและยังถือว่าอายุสลัดจ์ไม่จำกัด) และการกินฟล็อกเป็นอาหารของ ไพร โครทิว และ โรติเฟอร์ จะเป็นการช่วยให้อัตราส่วนดังกล่าวปรับตัว และคงตัวอยู่ในระดับสมดุลปกติ คือ 85-90%



4.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ ซีโอดี

จากรูปที่ 4.7 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง การวิเคราะห์กระทำให้รูปของ ซีโอดีทั้งหมด โดยน้ำเสียจริงเข้ามีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 133-240 มก./ล. เฉลี่ย 186 มก./ล. ระบบจะมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.134-0.24 Kg.COD./m³.d. เปลี่ยนไปในแต่ละวัน ผลการทดลองที่ 1 เริ่มเดินระบบครั้งแรก พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสามารถคงตัวสม่ำเสมอ ตั้งแต่ช่วงต้นการทดลอง ก่อนที่ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพจะเพิ่มขึ้น ถึงขีดจำกัดของสารอาหาร และคงตัว 2 สัปดาห์ มีค่าซีโอดีเฉลี่ยที่สถานะคงตัวในน้ำออก 14.7 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัด 90.7%

สังเกตได้ว่าสัปดาห์แรก เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มเดินระบบ และค่าพีเอชที่ลดต่ำอย่างมาก ค่าซีโอดีในน้ำออกมีค่าสูง 32-42 มก./ล. แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง เมื่อจุลชีพและสภาวะในถังปฏิกรณ์ได้ปรับสภาพให้เหมาะสม ในอีก 1 สัปดาห์ น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น และมีค่าซีโอดีสม่ำเสมอในช่วง 8-20 มก./ล. ตลอดการทดลอง โดยประสิทธิภาพการกำจัด คุณภาพน้ำออก เป็นอิสระจากค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และการแปรเปลี่ยนค่าซีโอดีในน้ำเสียเข้าแต่ละวัน สามารถอธิบายได้จากการทำสมดุลมวล จุลชีพและสารอาหาร ในถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ ที่สถานะคงตัว (Metcalf & Eddy, 1991) คือ

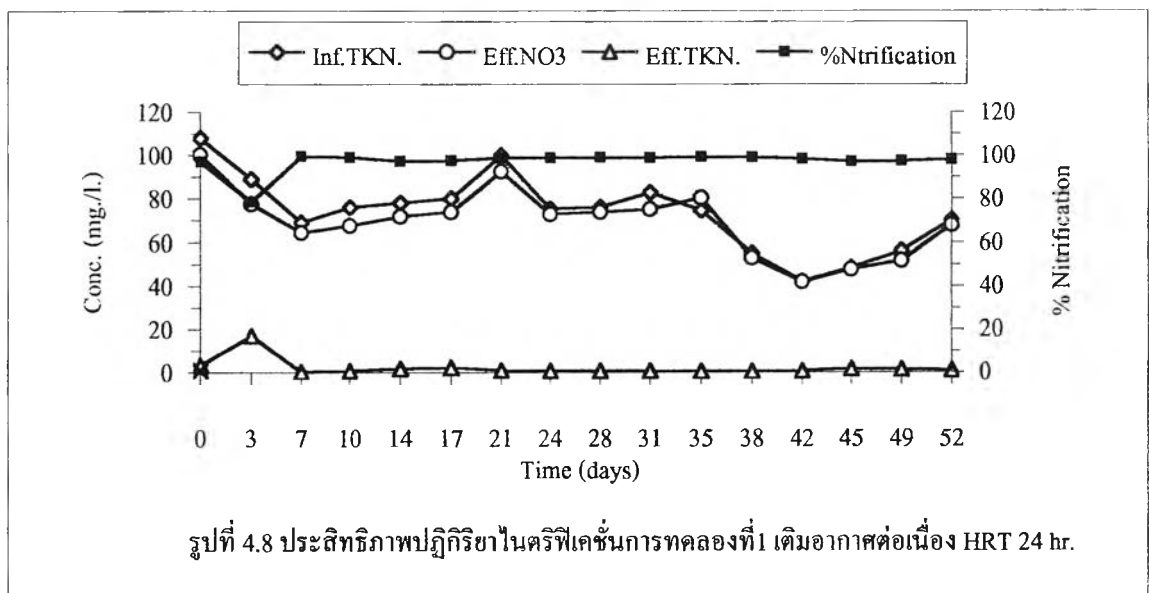
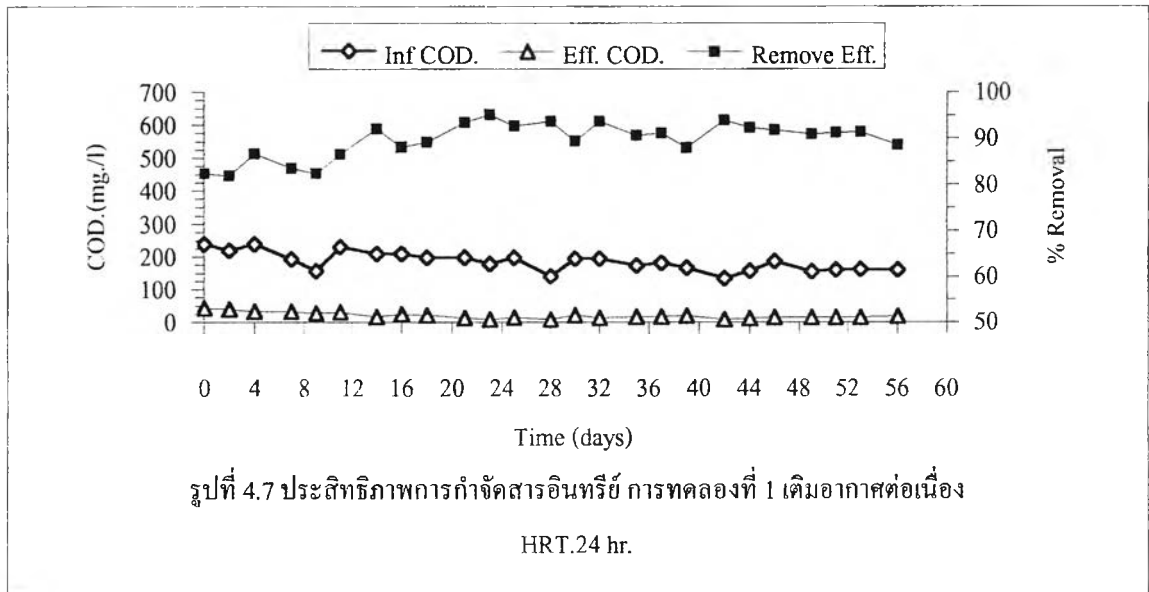
$$X = Y\theta_c(S_0 - S) / \tau(1 + \theta_c K_d) \quad \text{และ} \quad S = K_s(1 + \theta_c K_d) / \theta_c(YK - K_d) - 1 \quad (4.3 \text{ ก.})$$

และเมื่อไม่ควบคุมอายุสลัดจ์ ($\theta_c = \infty$) จะได้ว่า

$$X = Y(S_0 - S) / \tau K_d \quad \text{และ} \quad S = K_s K_d / (YK - K_d) - 1 \quad (4.3 \text{ ข.})$$

สมการที่ 4.3 ก. แสดงให้เห็นว่า ค่าอายุสลัดจ์ ยังคงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ (X) ค่าเวลากักเก็บ (τ) หรือปริมาตรถังปฏิกรณ์ และเป็นตัวแปรเดียวที่มีผลกระทบโดยตรงต่อค่าซีโอดีในน้ำออก (S)

สมการที่ 4.3 ข. แสดงให้เห็นว่า ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลง มีผลกระทบโดยตรงต่อความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพในถังปฏิกรณ์ ดังเช่นสมการที่ 4.2 ที่สภาวะการทำงาน และสารอาหารหนึ่งๆ ซึ่งค่ายิลด์ (Y) และค่าคงที่การสลายตัว (K_d) คงที่ ระบบจะปรับสภาวะให้อัตราร่วมสารอาหารต่อจุลชีพ (F/M) คงที่ โดยไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อค่าซีโอดีในน้ำออก ซึ่งอาจจะเป็นการเหมาะสมที่จะใช้ อัตราร่วมสารอาหารต่อจุลชีพ ในการออกแบบถังปฏิกรณ์ของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ เมื่อไม่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ ซึ่งจะมีการคำนวณหาในหัวข้อที่ 4.5.11 ที่ค่าเอ็มแอลวีเอสเอส. เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว



4.4.4 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน และสมดุลมวลไนโตรเจน

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงประสิทธิภาพปฏิกริยาไนตริฟิเคชันของระบบ ในการกำจัด หรือ เปลี่ยนไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ให้กลายเป็นไนโตรเจนในรูป ไนไตรท์ และไนเตรท โดยน้ำเสียจริงเข้าระบบมีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 42-100 มก./ล. แปรเปลี่ยนไปในแต่ละวัน และมีค่าเฉลี่ย 73.8 มก./ล.

ผลการทดลองพบว่า สามารถเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน ได้ตั้งแต่ช่วงต้นการทดลอง แต่ประสิทธิภาพยังไม่สม่ำเสมอ ประกอบกับการไม่ควบคุมพีเอช ความเป็นค่างในน้ำเสียไม่เพียงพอ ดังกล่าวในหัวข้อ 4.4.1 ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ปรับลดลงอยู่ในช่วง 4.3-4.7 ตลอดสัปดาห์แรก จากนั้นได้ปรับเพิ่มและควบคุมค่าพีเอชให้มีค่าในช่วง 6.5-7.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ควบคุมค่าดีโอ.ให้มากกว่า 2 มก./ล. ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน มีประสิทธิภาพคงตัว 97-99% ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 จนตลอดการทดลอง

ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยที่สถานะคงตัวในน้ำเสียเข้า น้ำทิ้งออก 61.5 และ 1.0 มก./ล. ตามลำดับ ทีเคเอ็นที่ถูกกำจัดจะเปลี่ยนรูปเป็น ไนไตรท์และไนเตรทในโตรเจน จากกราฟสังเกตได้ว่า ความเข้มข้นรวมในกระแสน้ำออกเพิ่มขึ้น ใกล้เคียงกับค่าทีเคเอ็นที่หายไป ซึ่งบางส่วนจะถูกใช้ไปในการสร้างเซลล์ เมื่อระบบอยู่ในสถานะคงตัว ทีเคเอ็นที่ถูกใช้สร้างเซลล์ จะเท่ากับของที่เซลล์ตายปล่อยออก และปฏิกริยาดีไนตริฟิเคชัน อาจเกิดได้เล็กน้อยในชั้นฟล็อกสะสมบริเวณผิวหน้าเมมเบรน

ค่าทีเคเอ็นในน้ำออกตลอดการทดลองมีค่าในช่วง 0.3-2.17 มก./ล ซึ่งไม่อาจสรุปว่าเกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันได้สมบูรณ์ อาจเป็นเพราะ ค่าทีเคเอ็น และประสิทธิภาพไนตริฟิเคชันที่สูง พีเอชจึงมีแนวโน้มที่จะลดลงได้ตลอด โดยเฉพาะเวลากลางคืน แม้จะมีการปรับพีเอชในเวลากลางวัน ค่าซีโอไซด์ต่อทีเคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสียเข้ามากกว่า 2.5 มีผลต่อปริมาณไนตริไฟอิงค์แบคทีเรีย น้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีเจือจางมากกับน้ำเสียอาคารแต่ไม่ถึงขั้นยับยั้งปฏิกริยา ทั้งหมดนี้อาจส่งผลกระทบต่อปฏิกริยาไนตริฟิเคชันได้

ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 1 ระบบจะมีอัตราปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะเท่ากับ 0.026 g.TKN./g.VSS.d หรือ (Kim,Jeong-Hun, 1991) เสนอผลการทดลองระบบบำบัดชีวภาพเมมเบรนแบบเดิมอากาศต่อเนื่อง ไม่คุมอายุสลักซ์ อัตราส่วนไนตริไฟอิงค์ในสลักซ์จุลชีพ 0.097-0.104 และ 0.031-0.039 ที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อทีเคเอ็น 2.5 , 5.0 ตามลำดับ สร้างกราฟประมาณค่าแนวโน้ม โดยเปรียบเทียบความเป็นไปได้กับ “Metcalf - Eddy” ในรูปที่ 4.38 หัวข้อ 4.5.11 ที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อทีเคเอ็นเฉลี่ย 2.74 ค่าสัดส่วนไนตริไฟอิงค์ของการทดลองที่ 1 คือ 0.0882 จำนวนอัตราปฏิกริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะได้ 0.295 วัน⁻¹

การทำสมดุลมวลของทีเคเอ็น : ใช้ผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ ทำสมดุลมวลไนโตรเจนทั้งหมดในรูปการกำจัดหรือเปลี่ยนรูปทีเคเอ็น ไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพ

ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ตั้งแต่ช่วงต้นการทดลอง จนระบบเข้าสู่สถานะคงตัว แสดงวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{เข้า} - \text{ออก} - \text{สะสม} = \text{ปฏิกิริยา}$$

$$\text{จัดรูปเป็น} \quad \text{TKN.i} - \text{TKN.e} - \text{TKN.cell} = (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_e - (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)_i + \text{N}_2\text{gas} \quad (4.4 \text{ ก.})$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \text{TKN.i} - \text{TKN.e} - \text{TKN.cell} = \text{Nitrification} \quad (4.4 \text{ ข.})$$

โดยที่ TKN.i, e = อัตราการไหล x ความเข้มข้นที่เคเอ็นน้ำเข้า และน้ำออก (มก./วัน)
 $(\text{NO}_2 + \text{NO}_3)_{i, e}$ = อัตราการไหล x ความเข้มข้นไนโตรเจนไนเตรท น้ำเข้า และออก (มก./วัน)
 $\text{N}_2\text{.gas}$ = ไนโตรเจนแก๊ส (มก./วัน)
 TKN.cell = ทีเคเอ็นที่จุลชีพใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตแบ่งเซลล์ (มก./วัน)
 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{g.TKN/g.VSS.} = (\text{TKn.react} - \text{TKn.e}) / \text{VSS}_2 \quad (4.5 \text{ ก.})$$

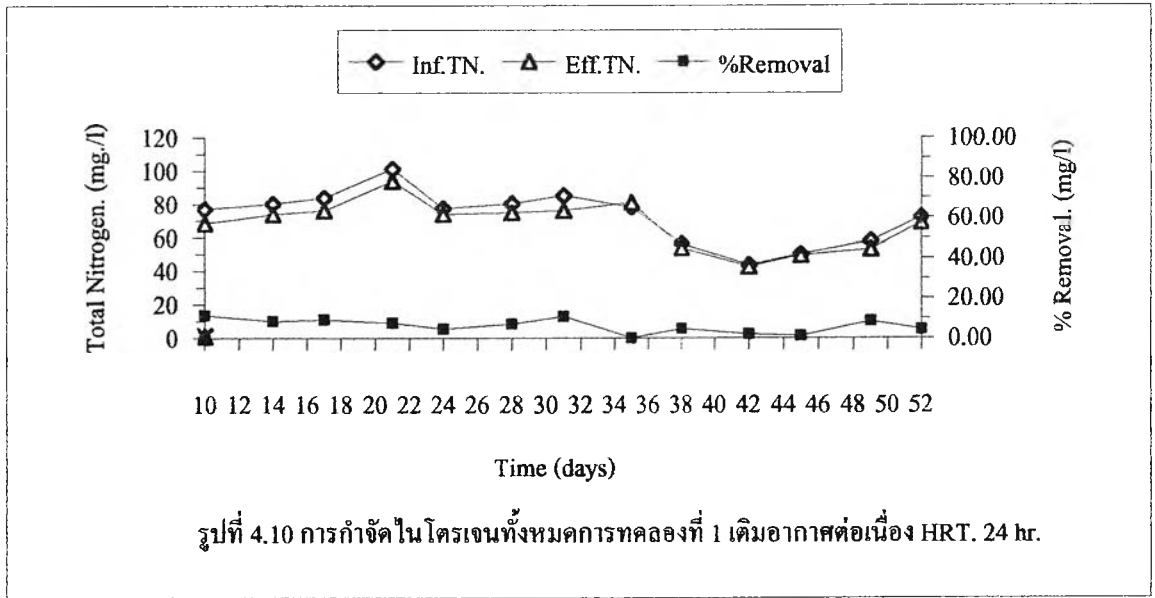
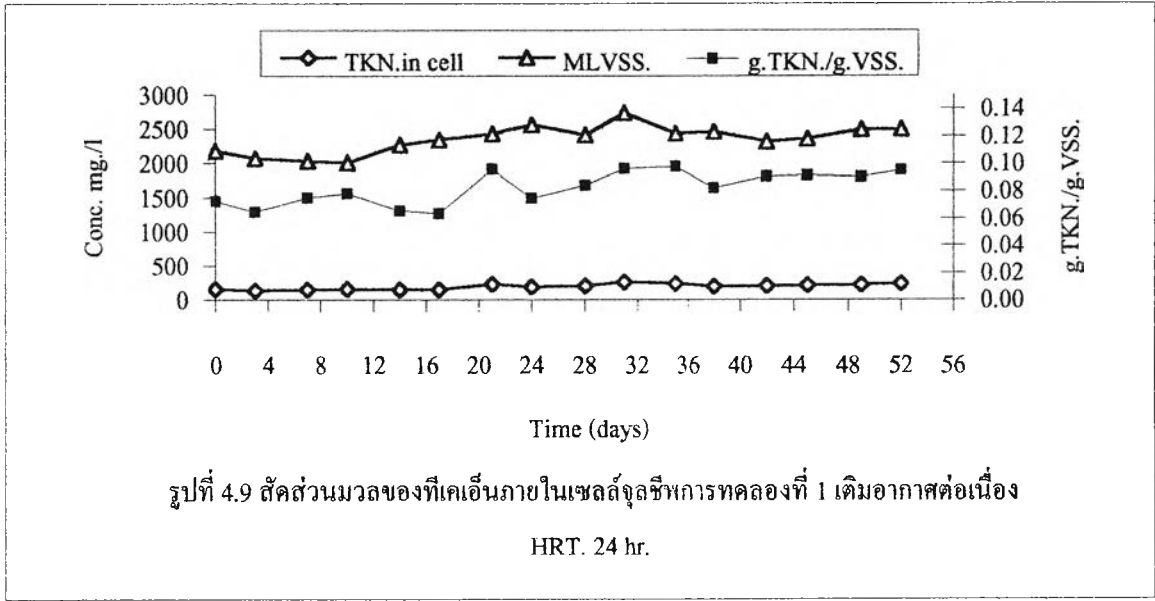
$$\text{TKN.cell} = (\text{VSS}_2 - \text{VSS}_1) / (\text{day}_2 - \text{day}_1) \times \text{Vr} \times (\text{g.TKN/g.VSS.}) \quad (4.5 \text{ ข.})$$

โดยที่ TKn.react = ทีเคเอ็นของสลัดจ์จุลชีพภายในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)
 TKn.e = ความเข้มข้นทีเคเอ็นในน้ำออก (มก./ล.)
 $\text{VSS}_{2,1}$ = ค่าเอ็มแอลไอเอสเอส. ณ.วันที่คำนวณ และวันที่ตรวจวัดค่าสูงสุด ตามลำดับ (มก./ล.)
 $\text{day}_2 - \text{day}_1$ = ระยะเวลาที่ห่างกันจากการตรวจวัดค่า $\text{VSS}_{2,1}$ (วัน)
 Vr = ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (ลิตร)

รูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลของค่า “g.TKN/g.VSS” เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว อัตราการสร้างเซลล์เท่ากับอัตราการสลาย ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพที่วัดได้จะมีค่าสม่ำเสมอ ค่า “TKN.cell” ที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ “TKN.i” จึงอาจตัดทิ้งได้ ซึ่งปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน คำนวณได้จากสมการที่ 4.6

$$\% \text{Nitrification} = \{ 1 - (\text{TKN.e} / (\text{TKN.i} - \text{TKN.cell})) \} \times 100 \quad (4.6)$$

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ที่เติมอากาศแบบต่อเนื่อง มีค่าดีไอ.ในถังปฏิกรณ์ กว่า 2-4 มก./ล. สมดุลมวลไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้สมการ 4.4 ก. และรูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในช่วงสถานะคงตัว แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (ไนโตรเจนแก๊ส) ได้ประมาณ 0-5%



4.5 การบำบัดน้ำเสียอาคารสูงด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์แบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ

ปรับเปลี่ยนจากระบบเติมอากาศแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1 เป็นแบบการเติมอากาศเป็นช่วงๆ การทดลองขั้นต้น (Pretest) สร้างสภาวะสลับกันระหว่าง แอโรบิก และ แอนน็อกซิก ให้ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ได้ด้วยถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียว จากผลการติดตามการปรับสภาวะของระบบเบื้องต้นระหว่างช่วงวันที่ 57-94 พบว่า

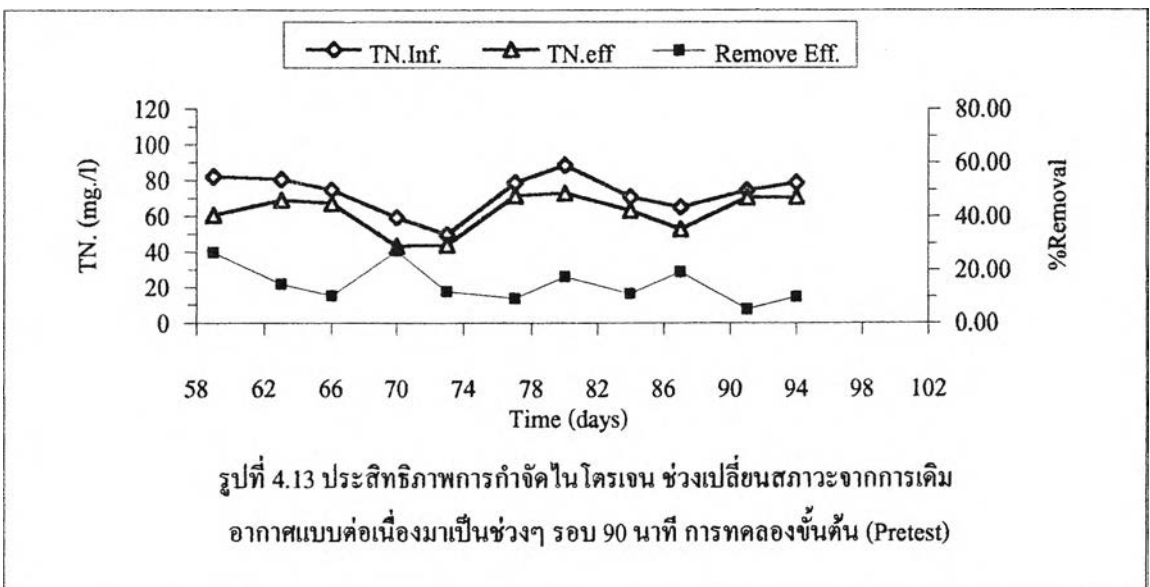
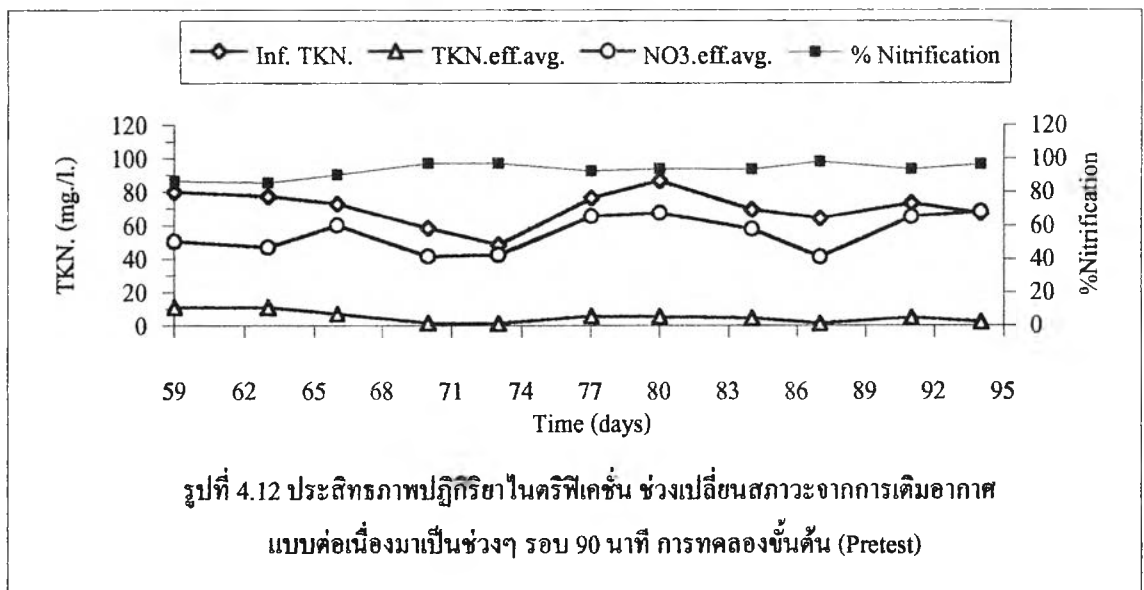
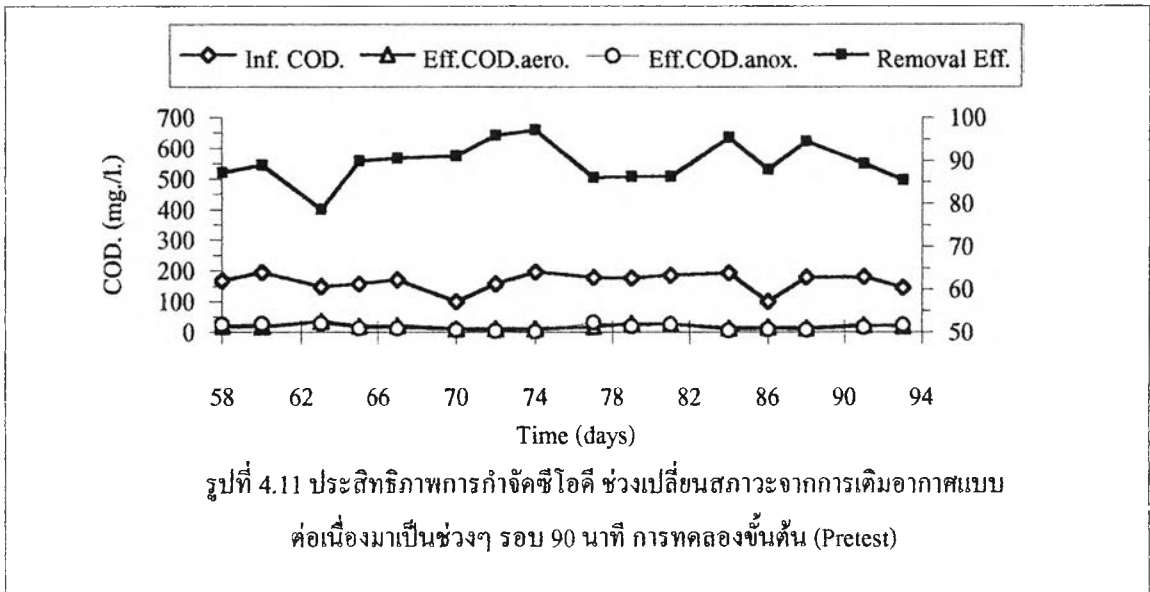
ผลกระทบการเปลี่ยนรูปแบบการเติมอากาศ จากรูปที่ 4.11 ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มีค่าเฉลี่ย 89% แต่ช่วงสภาวะแอนน็อกซิก มีแนวโน้มที่ซีโอดีน้ำออก มีค่าสูงกว่าช่วงแอโรบิกเล็กน้อย รูปที่ 4.12 แสดงผลกระทบต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ประสิทธิภาพจะลดลงเหลือ 85 % ช่วงต้น แต่ระบบสามารถปรับสภาพให้ประสิทธิภาพกลับคืนมากกว่า 95 % ใน 1 สัปดาห์ แต่ไนเตรทในน้ำออกยังมีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าที่เคเอ็นเข้า รูปที่ 4.13 ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้น้อย และมีประสิทธิภาพกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเพียง 5-27% อธิบายได้จาก

ผลวิเคราะห์ติดตามพบว่า รูปแบบการเติมอากาศส่งผลให้เกิดการคั่งพันธุ จุลชีพจาก การทดลองที่ 1 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพันธุ์แอโรบิกแท้ ไม่สามารถอยู่ในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน จะอ่อนแอ และลดจำนวนลง ระบบต้องอาศัยระยะเวลาปรับสภาวะนิเวศน์ในถังปฏิกรณ์ใหม่ ให้จุลชีพชนิดแฟลคคัลเททีฟ ซึ่งอยู่ได้ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน เจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น ในช่วงเวลาดังกล่าว จุลชีพไนตริไฟอิงค์ และเฮเทอโรโทรป พันธุ์เด่นใหม่ยังไม่เจริญเต็มที่ จึงส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และการออกซิโคซ์ซีโอดีในช่วงแอนน็อกซิกได้ ตามลำดับ ประสิทธิภาพทั้งสองปฏิกิริยาจะค่อยลงชั่วคราว

ค่าที่เคเอ็นในน้ำเสียเฉลี่ยช่วงดังกล่าว 65 มก./ล. ค่าซีโอดี 140-190 มก./ล. ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันให้เห็นผลได้อย่างชัดเจน จากวันที่ 94-268 การทดลองที่ 2-4 ได้มีการใช้น้ำตาลผสมกับน้ำเสียจริงจากอาคารสูง คิดเป็นค่าซีโอดี 250 มก./ล. เพื่อศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ทำให้น้ำเสียเข้าระบบมีซีโอดีรวมอยู่ในช่วง 330-550 มก./ล. และมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตรอยู่ในช่วง 0.41-0.75 kg.COD./m³.d.

ภายหลังจากวันที่ 268-348 การทดลองที่ 5 เมื่อจุลชีพ และระบบ ผ่านการทำงานมากกว่า 260 วัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และซีโอดี สูงสุดเท่าที่สภาวะในแต่ละการทดลอง เอื้ออำนวยอย่างเหมาะสม จะเริ่มงดการให้น้ำตาล ระบบจะทำงานด้วยแหล่งอาหารอินทรีย์จากน้ำเสียอาคารเพียงอย่างเดียว โดยมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ลดลงเหลือ 0.12-0.36 kg.COD./m³.d.

ทุกการทดลองไม่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ ซึ่งผลการทดลองที่ 2-5 จะแสดงตามลำดับดังต่อไปนี้



4.5.1 อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และ พีเอช

สรุปผลการแปรเปลี่ยนของค่าเฉลี่ย อุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และ พีเอช ระหว่างดำเนินการทดลองที่ 2-5 ช่วงวันที่ 95-348 (ชค.42-ศค.43) แสดงดังตารางที่ 4.4

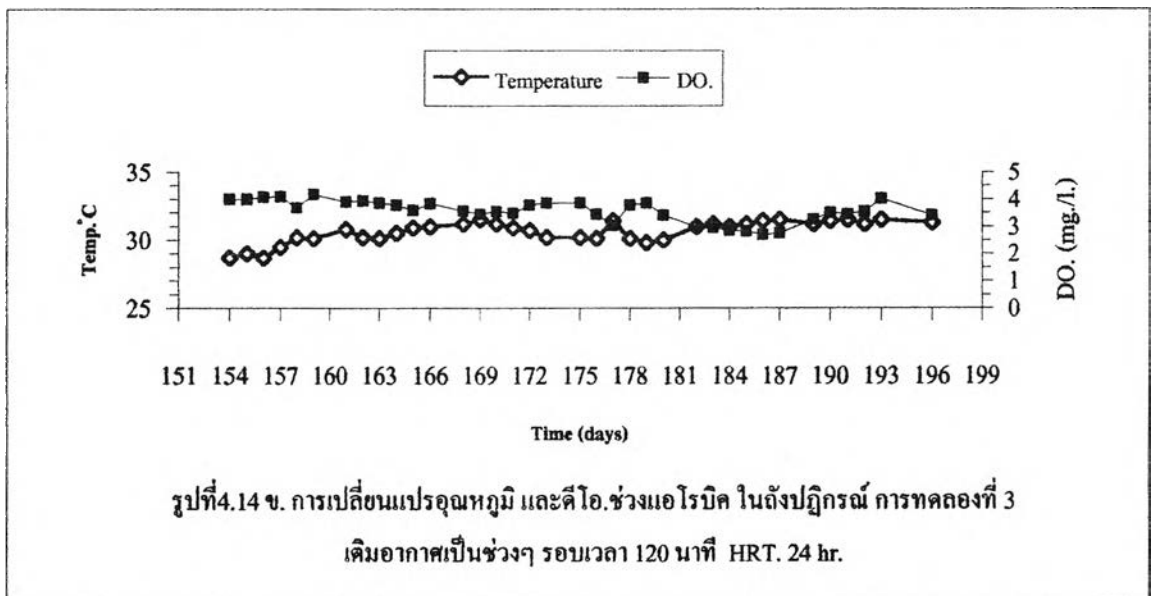
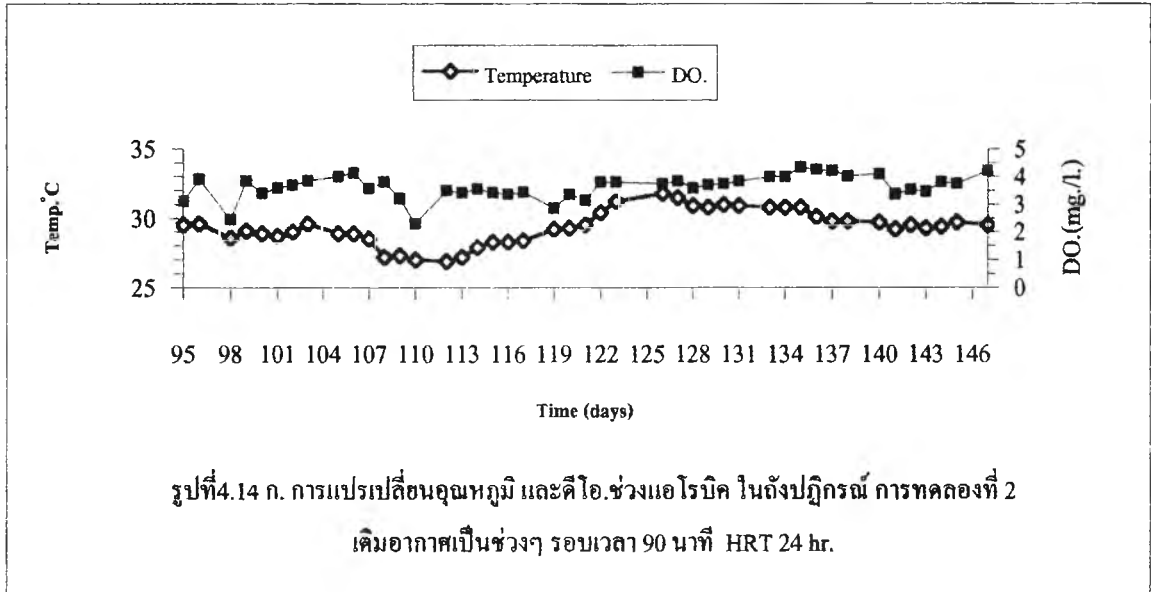
อุณหภูมิ : รูปที่ 4.14 ก.-ง. อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์แปรผันไปตามบรรยากาศ และมีสภาพต่างๆ ดังเช่นการทดลองที่ 1 หัวข้อ 4.4.1 ซึ่งจากผลการเก็บข้อมูลพบว่า การทดลองที่ 2,3 มีช่วงอุณหภูมิ 28-31.8 °C ต่ำกว่าการทดลอง 4,5 ที่มีช่วงอุณหภูมิ 30.1-32.8 °C เล็กน้อย ไปตามสภาพอากาศ ตลอดการทดลองที่ 2-5 จะมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะคงตัวในช่วง 30.3-31.4°C ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ การกำจัดซีโอดี ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน หรือดีไนตริฟิเคชัน

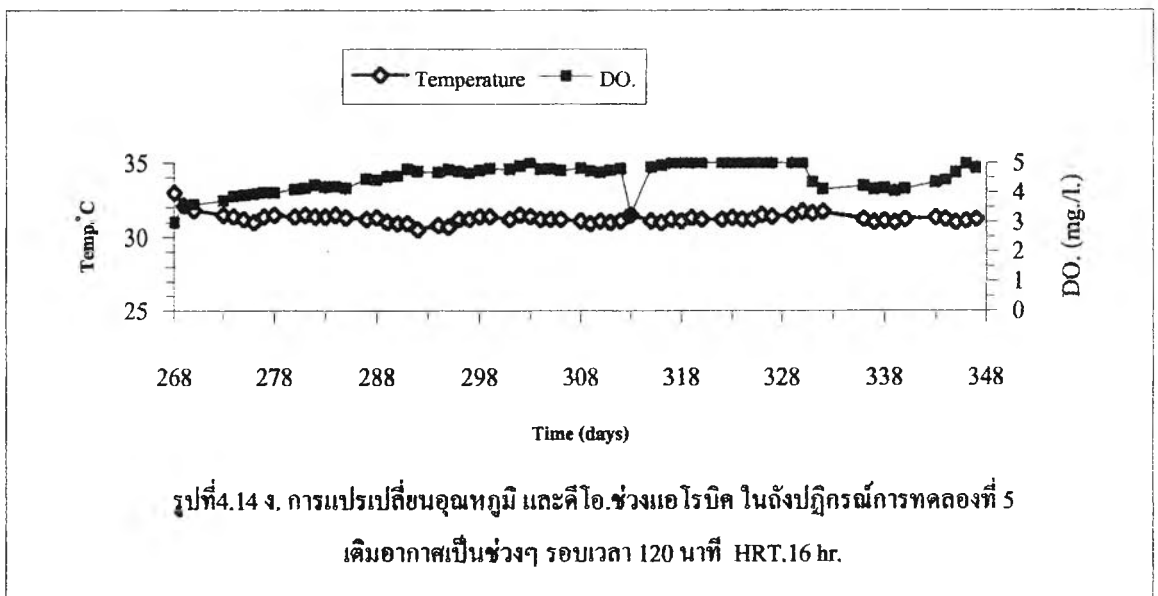
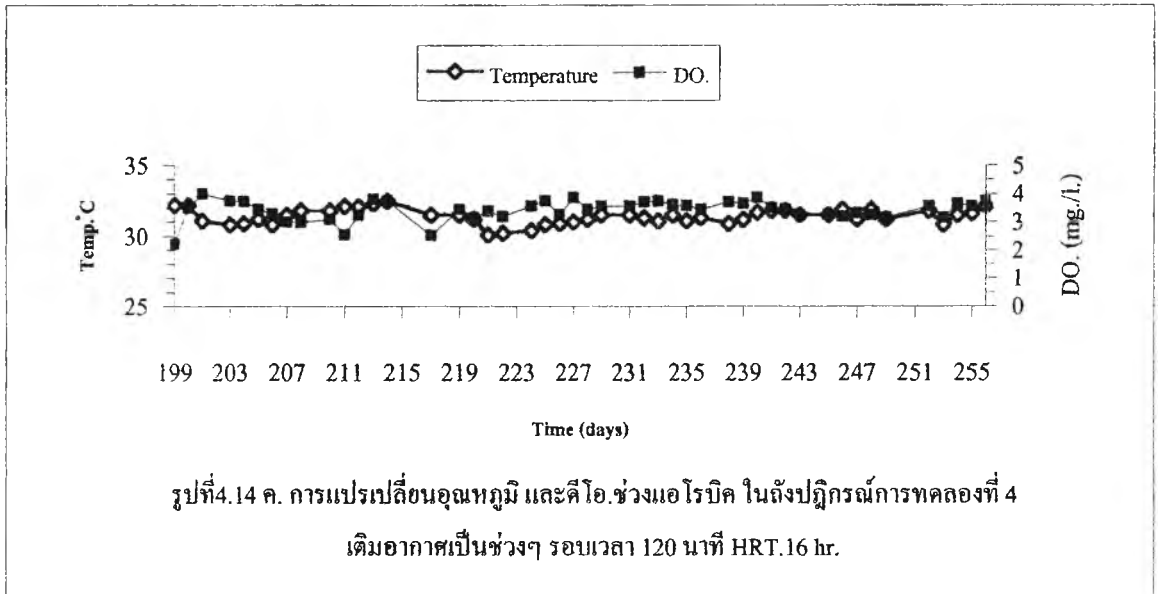
ออกซิเจนละลาย : ค่าดีไอในถังปฏิกรณ์ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุม และตรวจสอบการทำงานของระบบแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ ซึ่งจะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามค่าโออาร์พีเป็นตัวบ่งบอกสภาวะในถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามรอบเวลาทำงาน คือ สภาวะแอโรบิก ควบคุมค่าดีไอให้มีค่ามากกว่า 2 มก./ล และ สภาวะแอนน็อกซิกควบคุมค่าดีไอให้ต่ำกว่า 0.1 มก./ล เพื่อสร้างปฏิกริยาไนตริและดีไนตริฟิเคชัน ตามลำดับ ให้เกิดขึ้นพร้อมกันอย่างเป็นระบบ ดังนี้

จากรูปที่ 4.14 ก.-ง. การทดลองที่ 2 และ 3-5 จะมีรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90 และ 120 นาที ตามลำดับ เกิดสภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ด้วยเวลาเท่ากัน 8, 6 รอบ/วัน ตามลำดับ รอบเวลาแอโรบิกนับตั้งแต่ เครื่องเติมอากาศเริ่มทำงาน (ระบบหลักและเสริม) ซึ่งต้องใช้เวลาเฉลี่ยกว่า 20-30 นาที จึงสามารถเพิ่มค่าดีไอในถังปฏิกรณ์จาก 0.06 ให้สูงกว่า 2 มก./ล. และสมมูลสูงสุดที่ 3.5-4 มก./ล และรอบเวลาแอนน็อกซิกนับตั้งแต่ เครื่องเติมอากาศหยุด และปั๊มหมุนเวียนน้ำภายในเริ่มทำงาน ซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 10-15 นาที ที่ค่าดีไอในถังปฏิกรณ์ลดลงจาก 3.5-4 เหลือต่ำกว่า 0.1 มก./ล. และสมมูลต่ำสุดที่เฉลี่ย 0.06 มก./ล. ในทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และพีเอช ระหว่างการทดลอง

| การทดลองที่ (ช่วงเวลา) | อุณหภูมิ °C สูงสุด - ต่ำสุด (เฉลี่ย) | ดีไอเฉลี่ย (mg./l.) แอโรบิก - แอนน็อกซิก | พีเอชเฉลี่ย (pH) น้ำเสีย/ถังปฏิกรณ์/น้ำทิ้ง |
|---------------------------|---|---|--|
| 2 (ชค.-มค.) | 28.0 - 31.8 (30.3) | 3.64 - 0.06 | 7.16 / 7.05 / 7.30 |
| 3 (กพ.-มีค.) | 28.7 - 31.5 (30.5) | 3.46 - 0.06 | 7.21 / 6.98 / 7.23 |
| 4 (เมษ.-พค.) | 30.1 - 32.5 (31.4) | 3.41 - 0.06 | 7.12 / 7.15 / 7.26 |
| 5 (มิย.-ศค.) | 30.5 - 32.8 (31.3) | 4.15 - 0.06 | 7.82 / 7.16 / 7.27 |





จะเห็นว่ารอบเวลาที่เริ่มนับไม่ใช่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิกแท้ เพราะมีเวลาห่าง 20-30 และ 10-15 นาที จากกำลังของเครื่องเติมอากาศในการเอาชนะปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลชีพ และปฏิกิริยาของจุลชีพในการใช้ออกซิเจนอิสระให้หมด ที่จุดเริ่มต้นรอบเวลาแอโรบิก และแอนน็อกซิก ตามลำดับ ฉะนั้นเพื่อความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง และงานประจำวัน ขอนุโลมเรียกสภาพดังกล่าวว่า รอบเวลาแอโรบิก-แอนน็อกซิก และสภาวะแอโรบิก-แอนน็อกซิก

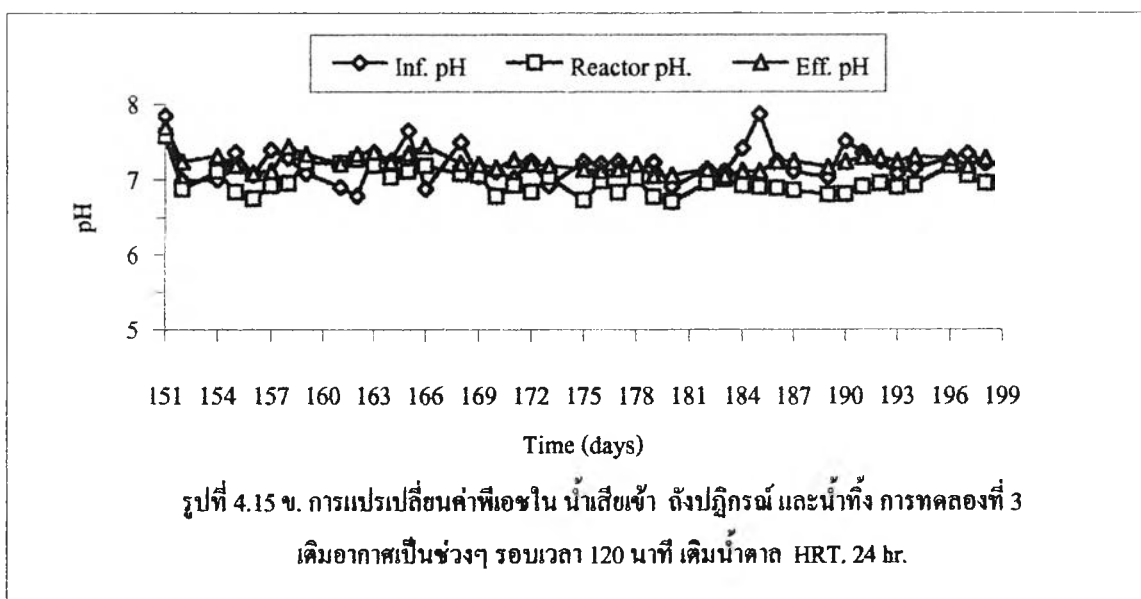
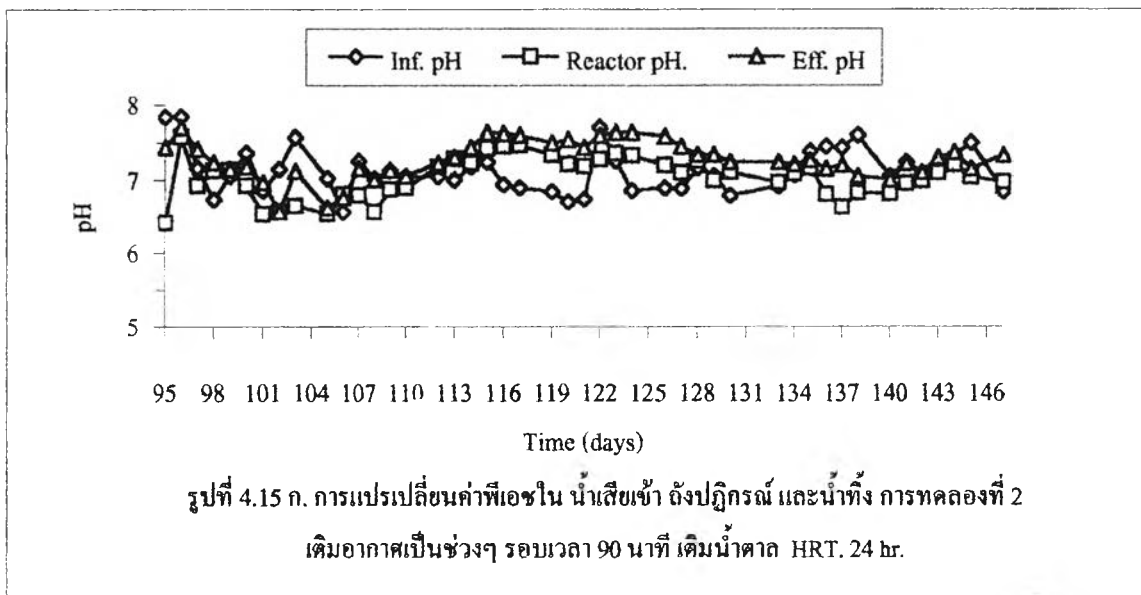
พีเอช : รูปที่ 4.15 ก.-ง. แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช การทดลองที่ 2-5 น้ำเสียอาคารที่ทดลองมีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยในช่วง 65-87 มก./ล. จากที่กล่าวในการทดลองที่ 1 ระบบทำงานแบบเติมอากาศต่อเนื่อง ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีประสิทธิภาพสูง ความเป็นด่างในน้ำเสียถูกใช้หมด ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ปรับลดลง ซึ่งต้องสิ้นเปลืองสารเคมีปรับควบคุมพีเอช $10.4 \text{ g.NaHCO}_3/\text{g.TKN.oxidize}$.

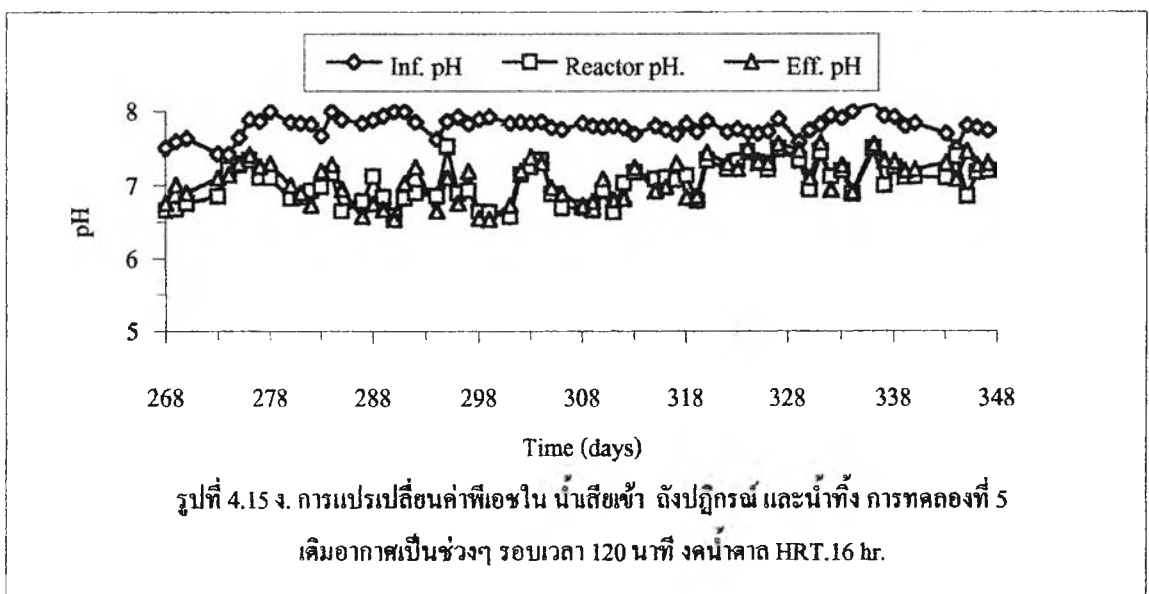
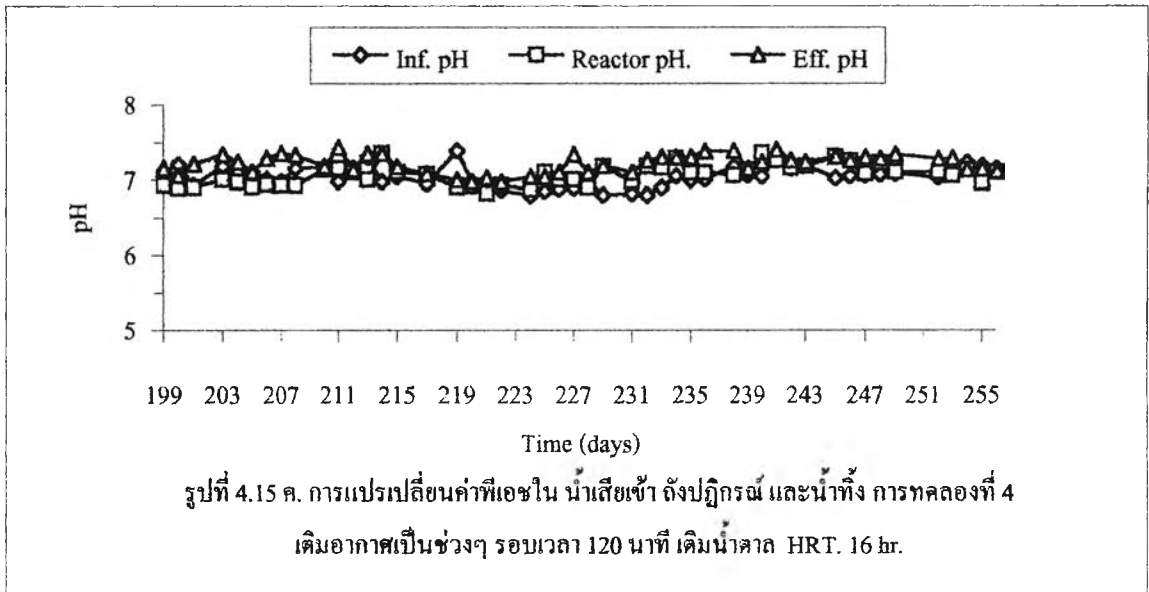
จากแนวคิดที่ว่า การรีดิวซ์ในเตรท 1 มก./ล. ได้รับความเป็นด่างกลับคืน 3 มก./ล. ของปูนขาว จากที่ใช้ไปกับปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 460-620 มก./ล. ถ้าประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันไม่ต่ำกว่า 90% จะได้รับความเป็นด่างกลับคืน 176-235 มก./ล. 38% ของที่ใช้ไป เมื่อรวมกับความเป็นด่างเดิมในน้ำเสีย ทำให้ค่าความเป็นด่างรวมเพิ่มขึ้น สามารถต้านทานหรือเป็นบัฟเฟอร์ ไม่ให้พีเอชปรับลดลงได้ง่าย ดังเช่นการทดลองที่ 1 และลดปริมาณ หรือลด การใช้สารเคมีลงได้ จากผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

การทดลองที่ 2 : ระบบทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ รอบเวลา 90 นาที จากรูปที่ 4.15 ก. พีเอชในถังปฏิกรณ์มีค่าในช่วง 6.5-7.5 โดยระบบสามารถรักษา หรือชดเชยการปรับลดของพีเอชได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องมีการปรับพีเอชทุกวัน และไม่ปรับลดอย่างฉับพลันในเวลากลางคืน ดังเช่นการทดลองที่ 1 ตลอดการทดลอง 60 วัน มีการปรับพีเอช 9 ครั้ง และใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตไป 30 กรัม/ครั้ง เฉลี่ย 5 กรัม/วัน $0.6 \text{ g.NaHCO}_3/\text{g.TKN.oxidize}$. น้อยกว่าการทดลองที่ 1 15-20 เท่า

การทดลองที่ 3 และ 4 : ระบบทำงานแบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที ค่าเวลากักเก็บ 24 และ 16 ชม. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.15 ข. , ค. ระบบสามารถปรับรักษา ระดับพีเอชในถังปฏิกรณ์ได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องเติม โซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งค่าพีเอชยังมีความคงตัว สม่ำเสมอดีกว่าการทดลองที่ 1 และ 2 โดยแปรเปลี่ยนในช่วงที่แคบกว่า 6.8-7.3 ตลอดการทดลอง

การทดลองที่ 5 : ระบบทำงานรูปแบบเดียวกับการทดลองที่ 4 จดการเติมน้ำตาลผสมน้ำเสีย ทำให้ความเข้มข้นซีโอดีปรับลดมาอยู่ในระดับเดียวกับการทดลองที่ 1 และการทดลองขั้นต้น การปรับลดลงของค่าพีเอชสังเกตได้ภายใน 2-3 วัน ความสามารถในการรักษาระดับพีเอชด้อยลงกว่าการทดลองที่ 2 จากประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันที่ลดลงกว่าครึ่ง ซึ่งถึงแม้ว่าต้องมีการปรับค่าพีเอชทุกวัน แต่จากรูปที่ 4.15 ง. ระบบยังสามารถชะลอไม่ให้พีเอชลดลงอย่างฉับพลัน ดังเช่นการทดลองที่ 1 และควบคุม





ได้ง่าย โดยมีค่าในช่วง 6.68 -7.3 ตลอดการทดลอง 80 วัน ใช้ปริมาณสารเคมีในการควบคุมพีเอชเฉลี่ยเพียง 4.2 g.NaHCO₃-/g.TKN.oxidize. ต่ำกว่าการทดลองที่ 1 2-3 เท่า

4.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย และ ความขุ่น

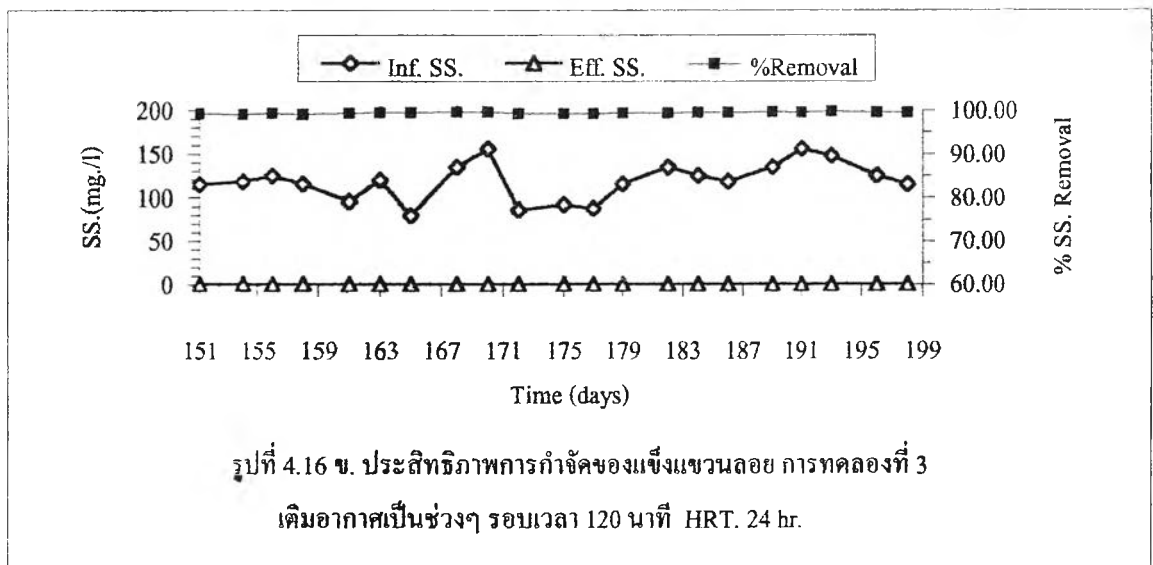
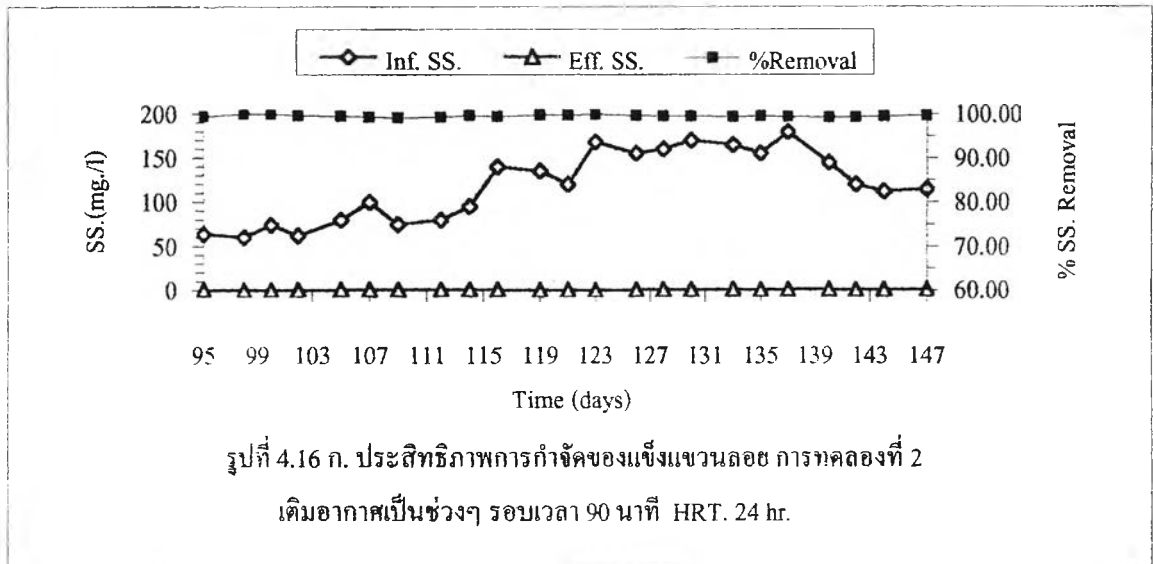
ดังที่อธิบายในหัวข้อ 4.4.2 เกี่ยวกับคำจำกัดความ และบทวิเคราะห์ผลการทดลองการกำจัดของแข็งแขวนลอย และความขุ่น ในระบบแบบเติมอากาศต่อเนื่อง สำหรับการทดลองในระบบที่เติมอากาศแบบเป็นช่วงๆ ได้ผลการทดลองการกำจัดของแข็งแขวนลอย และความขุ่น สรุปเป็นค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาทดลองดังตารางที่ 4.5

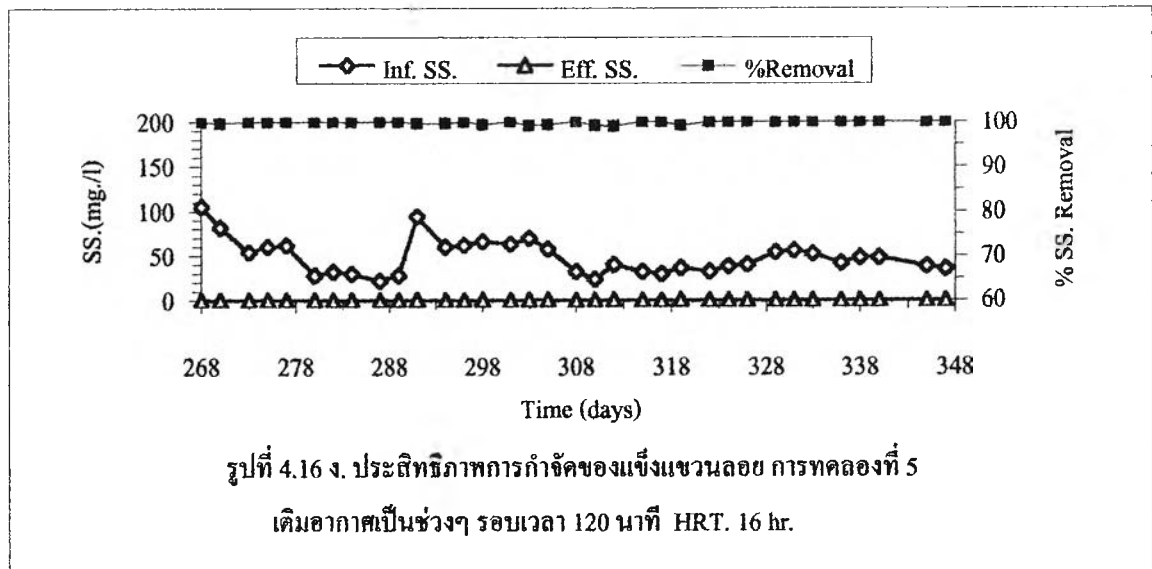
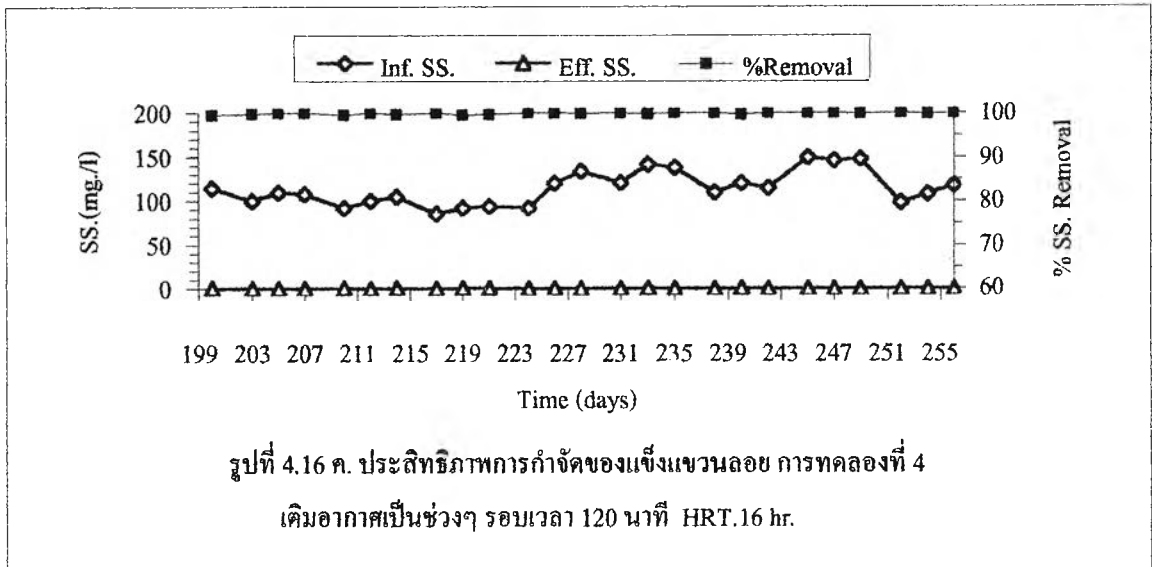
ตารางที่ 4.5 ผลวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย และความขุ่น เฉลี่ยตลอดการทดลอง

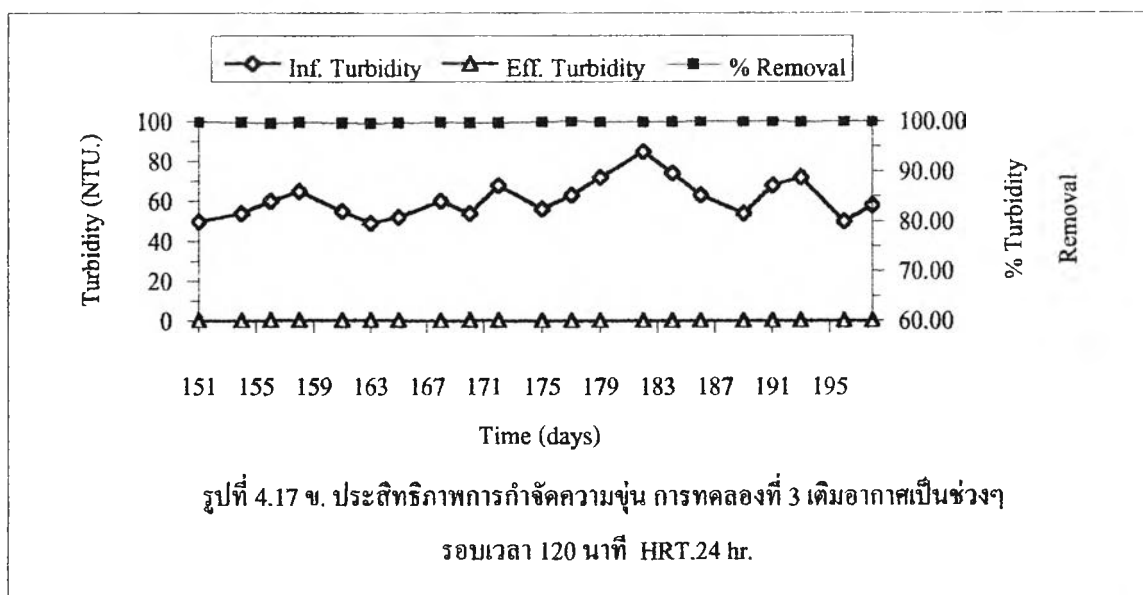
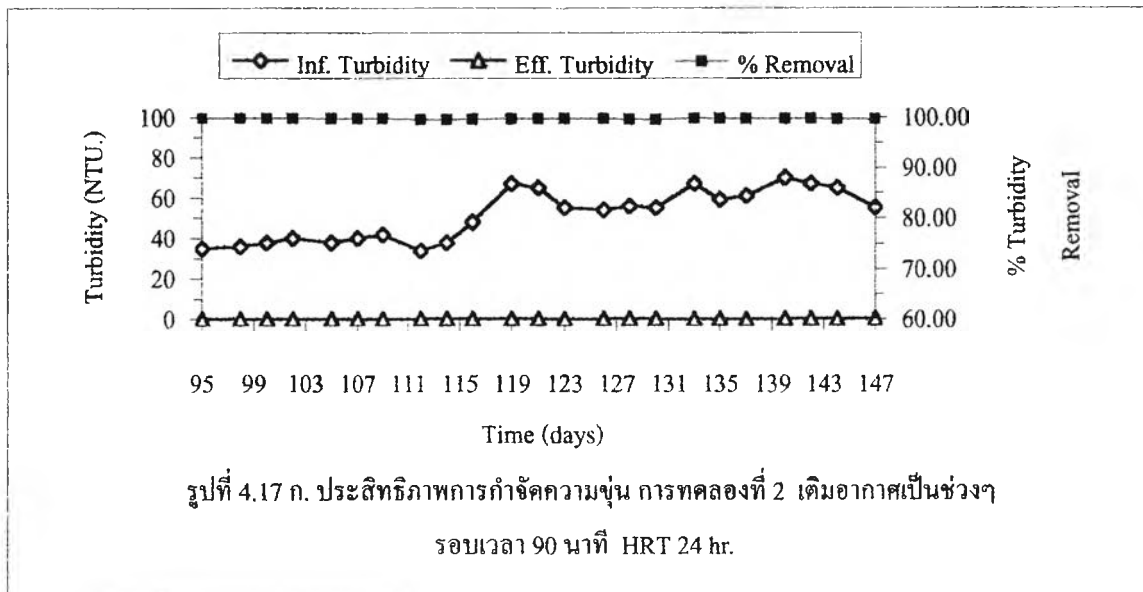
| การทดลอง ที่ | ของแข็งแขวนลอย (mg./l.) | | | ความขุ่น (NTU.) | | |
|-----------------|-------------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|
| | น้ำเสีย | น้ำทิ้ง | % กำจัด | น้ำเสีย | น้ำทิ้ง | % กำจัด |
| 1 | 55.1 | 0.5 | 99.1 | 38.6 | 0.1 | 99.6 |
| 2 | 118.7 | 0.6 | 99.5 | 51.5 | 0.1 | 99.8 |
| 3 | 119.0 | 0.7 | 99.4 | 61.0 | 0.1 | 99.9 |
| 4 | 114.4 | 0.2 | 99.9 | 45.1 | 0.1 | 99.8 |
| 5 | 48.6 | 0.1 | 99.8 | 36.1 | 0.1 | 99.7 |

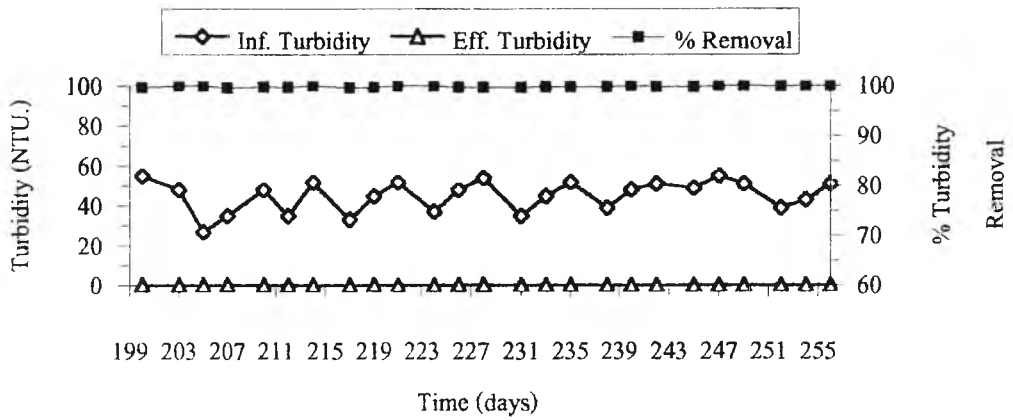
ของแข็งแขวนลอย : จากรูปที่ 4.16 ก.-ง. รูปแบบการเติมอากาศ การทดลองที่ 1 ,2 และ 3 และค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ การทดลองที่ 3 ,4 และ 5 ที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย และไม่สังเกตได้ถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียเข้า ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 91.2 มก./ล. ต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.42 มก./ล. โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 99.5% ตลอดการดำเนินงานวิจัย ซึ่งความคาดเคลื่อนในการตรวจวัดเป็นเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.2

ความขุ่น : รูปที่ 4.17 ก.-ง. การเปลี่ยนแปลง รูปแบบการเติมอากาศการทดลองที่ 1-3 และค่าการระบรทุกสารอินทรีย์ การทดลองที่ 3-5 ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น และไม่สังเกตได้ถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในน้ำเสียเข้า มีค่าเฉลี่ย 46.5 มก./ล. ต่อค่าความขุ่นในน้ำออก มีค่าเฉลี่ย 0.1 มก./ล. ประสิทธิภาพกำจัด 99.8 % ตลอดการทดลอง

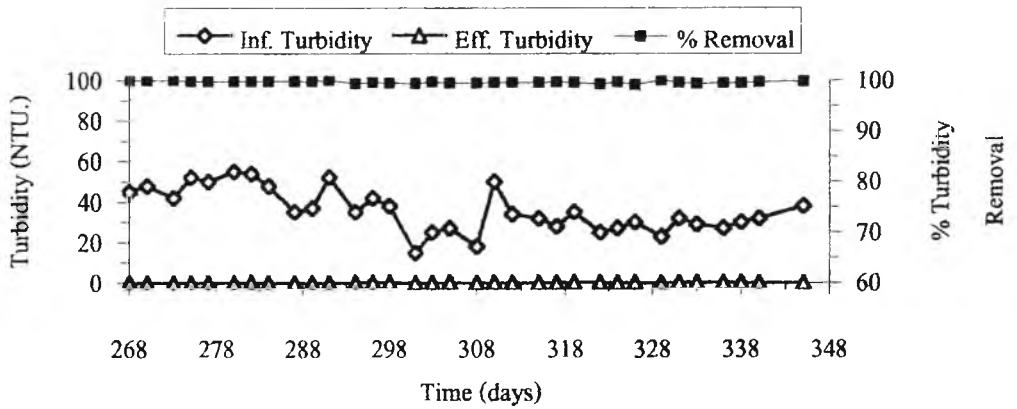








รูปที่ 4.17 ค. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองที่ 4 เดิมอากาศเป็นช่วงๆ
รอบเวลา 120 นาที HRT. 16 hr.



รูปที่ 4.17 ง. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองที่ 5 เดิมอากาศเป็นช่วงๆ
รอบเวลา 120 นาที HRT. 16 hr.

จะเห็นได้ว่าสารแขวนลอย และความขุ่น ที่เหลืออยู่ในน้ำที่ออกจากระบบ คือ อนุภาค สารขนาดต่างๆ ที่ย่อยสลายไม่ได้หรือย่อยได้ยาก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ารูเมมเบรน มีอยู่ในปริมาณน้อย และสามารถรอดผ่านรูของเมมเบรนไปได้

การทดลองนี้ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนจุลเคิม มีสมบัติในการดักจับสิ่งสกปรก แต่จะพบ การสะสมของสารอินทรีย์ และอนุภาคต่างๆ เล็กน้อยถึงมากขึ้นในช่วงการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จนก่อตัวเป็นชั้นตะกอนในการทดลองที่ 4 และ 5 ผลของชั้นอนุภาคสะสม และการอุดตันระหว่างรูเมมเบรน อาจช่วยในการปะทะกักอนุภาคบางส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูของเมมเบรน สังเกตจาก การทดลองที่ 4, 5 ค่าเฉลี่ยเอสเอส. ในน้ำออกมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และมีจำนวนครั้งที่ไม้อาจตรวจพบค่าเอสเอส. ในน้ำ ออกได้มากกว่าการทดลองที่ 1-3 แต่ไม่ได้หมายความว่า เมมเบรนจะสามารถกักแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็ก กว่ารูของเมมเบรน ได้ และกลไกหลักในการกำจัดยังคงเป็นการกรองติดค้าง (Sieve)

4.5.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี

ระบบทำงานในรูปแบบการเติมอากาศเป็นช่วงๆ มีกลไกในการกำจัดซีโอดี 2 แบบ โดย จุลชีพชนิดเฮเทอโรโทรป พันธุ์แฟลคคัลเททีภายในถังปฏิกรณ์ถังเดียว คือ

เมื่อระบบอยู่ในสภาวะแอโรบิก ค่าดีไอ.มากกว่า 1.0 มก./ล.จุลชีพจะใช้ออกซิเจนอิสระ จากการเติมอากาศ และสภาวะแอนน็อกซิก ค่าดีไอ.น้อยกว่า 0.1 มก./ล. จุลชีพดึงออกซิเจนจากไนไตรท์ และไนเตรท มาใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้พร้อมกันทั้งสองสภาวะอย่าง ต่อเนื่อง โดยค่าซีโอดีใน น้ำออกจากช่วงแอโรบิกมีแนวโน้มที่จะปรับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปลายแอนน็อกซิก ไปตามค่าไนเตรทที่ เหลือน้อยลง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี เฉลี่ยที่สถานะคงตัว

| การทดลองที่ (ช่วงเวลา) | ซีโอดีเข้า (mg./l.) | ภาระบรรทุก (kg./m3.day) | ซีโอดีน้ำออก (mg./l.) aerobic / anoxic (avg.) | ประสิทธิภาพ การกำจัด (%) |
|------------------------|---------------------|-------------------------|---|--------------------------|
| 1 (32-56) | 167.0 | 0.18 | - / - (14.5) | 91.3 |
| 2 (133-147) | 472.8 | 0.50 | 20.0 / 18.8 (19.7) | 95.8 |
| 3 (168-198) | 463.1 | 0.50 | 20.2 / 22.4 (21.3) | 95.4 |
| 4 (238-256) | 387.0 | 0.62 | 13.0 / 16.1 (14.5) | 96.3 |
| 5 (329-347) | 129.0 | 0.21 | 15.5 / 16.1 (15.8) | 87.8 |

การทดลองที่ 2 : รูปที่ 4.18 ก. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง โดยน้ำเสียจริงผสมน้ำตาล เข้าระบบมีค่าซีไออยู่ในช่วง 415-562 มก./ล. และค่าเฉลี่ย 487.8 มก./ล. ระบบมีค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.44-0.60 kg.COD./m³.d แปรเปลี่ยนแต่ละวัน ผลการทดลองพบว่า ภายหลังจากที่ระบบผ่านการปรับสภาวะดังกล่าวตอนต้นหัวข้อที่ 4.5 ค่าซีไอคือน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วง 8.1-25 และ 13-30 มก./ล ค่าเฉลี่ย 19.5 และ 19.1 มก./ล ที่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 96% สม่่าเสมอตลอดการทดลอง

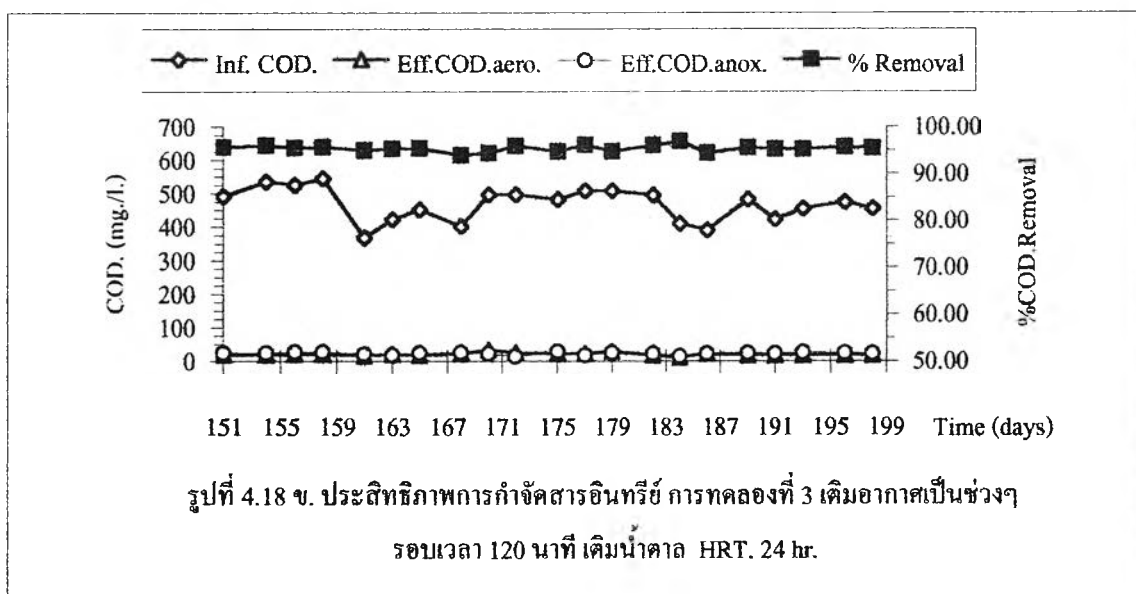
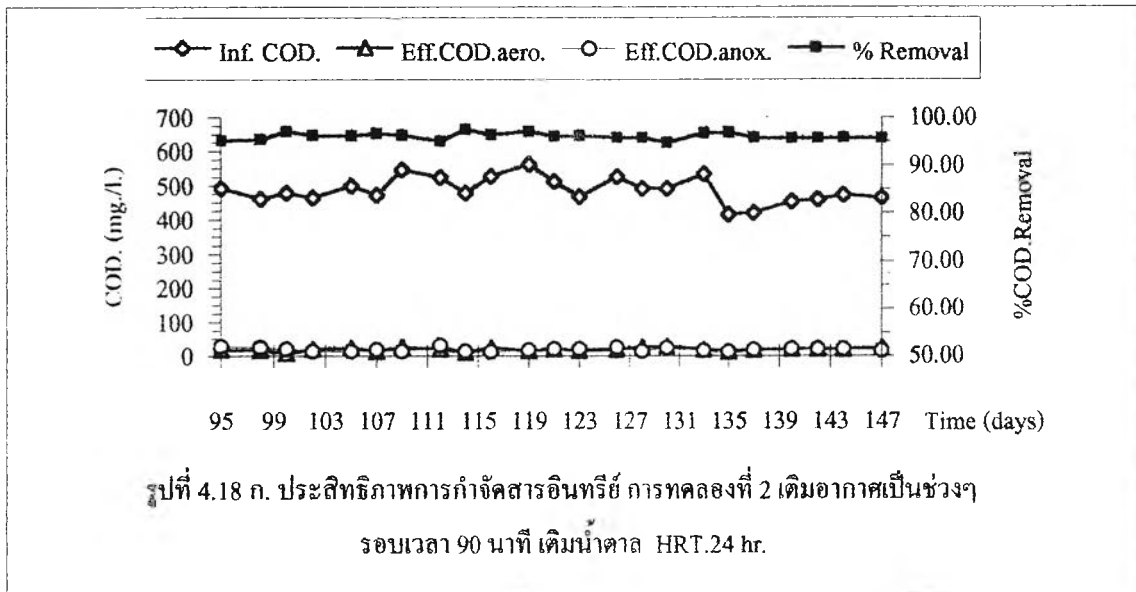
การทดลองที่ 3 : รูปที่ 4.18 ข. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ตลอดการทดลอง น้ำเสียจริงผสมน้ำตาลเข้าระบบมีค่าซีไออยู่ในช่วง 368-546 มก./ล. ค่าเฉลี่ย 468.0 มก./ล. ระบบมีค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.39-0.58 Kg.COD./m³.d แปรเปลี่ยนแต่ละวัน ผลการทดลองพบว่า ซีไอคือน้ำออกมีค่าช่วง 11-30 และ 15-25 มก./ล ค่าเฉลี่ย 20.5 และ 22.8 มก./ล ที่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 95% สม่่าเสมอตลอดการทดลอง

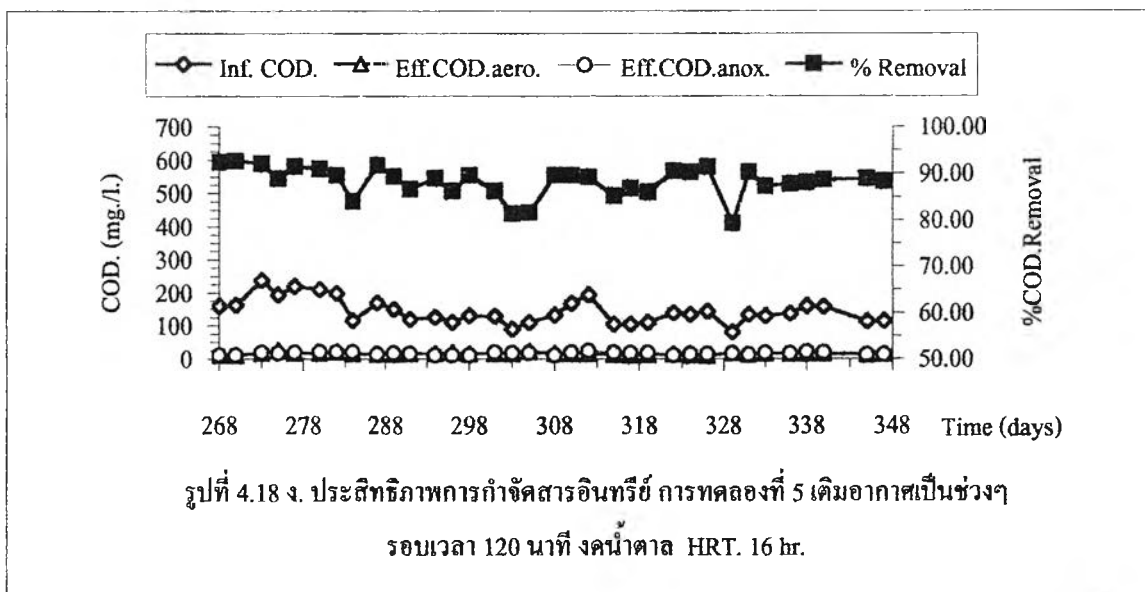
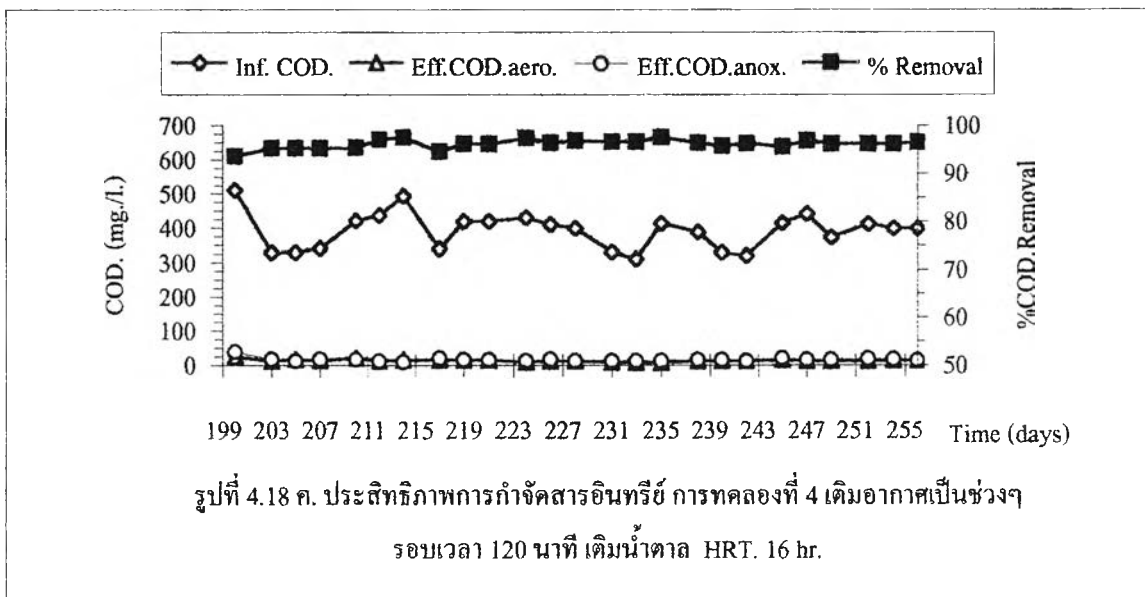
การทดลองที่ 4 : รูปที่ 4.18 ค. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ตลอดการทดลอง น้ำเสียจริงผสมน้ำตาลเข้าระบบมีค่าซีไอในช่วง 310-511 มก./ล. ค่าเฉลี่ย 393.0 มก./ล. ระบบมีค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.50-0.81 Kg.COD./m³.d แปรเปลี่ยนแต่ละวัน ผลการทดลองพบว่า ค่าซีไอคือน้ำออกมีค่าในช่วง 8.3-25 และ 8.7-21 มก./ล ค่าเฉลี่ย 13.9 และ 16.2 มก./ล ที่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 96% สม่่าเสมอตลอดการทดลอง

การทดลองที่ 5 : รูปที่ 4.18 ง. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ ตลอดการทดลอง โดยน้ำเสียอาคารจริงเข้าระบบมีค่าซีไอในช่วง 80.3-220.0 มก./ล. ค่าเฉลี่ย 144.0 มก./ล. ระบบมีค่าภาระบรทุกสารอินทรีย์เชิงปริมาตร 0.12-0.35 Kg.COD./m³.d แปรเปลี่ยนแต่ละวัน ผลการทดลองพบว่า ค่าซีไอคือน้ำออกมีค่าในช่วง 10.5-23 และ 11.3-21 มก./ล ค่าเฉลี่ย 15.7 และ 16.1 มก./ล ที่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ย 88% สม่่าเสมอตลอดการทดลอง

ผลกระทบของตัวแปรและสภาวะต่างๆ ระหว่างการทดลองที่ 1-5 ที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีไอ สามารถอธิบายได้ดังนี้

รูปแบบการเติมอากาศ ได้แก่ การเปลี่ยนจากสภาวะเดิมอากาศแบบต่อเนื่อง มาเป็นแบบเป็นช่วงๆ และการเพิ่มภาระบรทุกสารอินทรีย์จากการเติมน้ำตาลในน้ำเสียเข้า (การทดลองที่ 1 และ 2) มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำออกเล็กน้อยช่วงเริ่มปรับสภาวะ แม้ค่าซีไอเฉลี่ยเพิ่มจาก 14.5 เป็น 19.7 มก./ล. แต่จากสมการที่ 5.3 ในระบบที่มีค่าอายุสตัคจ้ยาวนาน สิ่งที่จะมีผลต่อคุณภาพของน้ำออก คือ ค่าคงที่ทาง





ผลศาสตร์ต่างๆ เมื่อสังเกตจากผลการทดลองที่ 4, 5 ค่าซีไอเฉลี่ยในน้ำออกกลับลดลง 14.5-15.8 มก./ล. การเปลี่ยนรูปแบบการเติมอากาศ และพันธุ์จุลชีพในถังปฏิกรณ์ ไม่นำส่งผลต่อค่าซีไอที่ปรับเปลี่ยน

เป็นที่สังเกตว่า ช่วงเวลาการทดลองที่ 2-3 อยู่ในช่วงเดือน พย.42-กพ.43 อยู่ใน ช่วงเปิดภาคเรียน ซึ่งมีการใช้งานอาคารเต็มพิกัด ดังได้อธิบายในหัวข้อที่ 5.1 และผลการทดลอง จะสังเกต ได้ว่า ช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าซีไอรวมในน้ำเสียเข้าสูง (น้ำคาลที่เติมคงที่ทุกการทดลอง) มีกิจกรรมภายในอาคารอย่างหนาแน่น และมีการล้างทำความสะอาดอาคารห้องน้ำบ่อยครั้ง รวมถึงกิจกรรมของห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งสามารถได้กลิ่นเจือจางปนมากับน้ำเสียบางช่วงเวลา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าซีไอในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ช่วงการทดลองที่ 1 และ 4-5 อยู่ในช่วงเดือน กย.-ตค.42 และ มีค.-สค.43 อยู่ใน ช่วงปิดภาคการศึกษาต้น และช่วงปิดถึงเริ่มเปิดภาคการศึกษาปลาย ตามลำดับ กิจกรรมภายในอาคารจะเบาบาง สังเกตได้ว่าช่วงต้นการทดลองที่ 1 ซีไอในน้ำเสียจริงมีค่าสูง แต่ลดต่ำในช่วงปลาย และตลอด การทดลองที่ 4-5 ซีไอในน้ำเสียจริงผสมน้ำคาล และน้ำเสียจริง จะมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าการทดลองอื่นๆ

รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วง 90 และ 120 นาที (การทดลองที่ 2-3) ไม่ส่งผลกระทบต่อ ใดๆต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีไอ โดยมียูเอซีไอในน้ำทิ้งออก เฉลี่ยที่สภาวะ แอโรบิก-แอนน็อกซิด 20 มก./ล. และมีประสิทธิภาพในการกำจัดกว่า 95 % สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน

การลดค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ โดยการเพิ่มอัตราการไหลผ่านระบบ หรือค่าฟลักซ์ ของเมมเบรน (การทดลองที่ 3 และ 4) และการลดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ จากการรดน้ำคาลที่ให้แก่น้ำ เสีย (การทดลองที่ 4 และ 5) ไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ โดยมีค่าซีไอในน้ำออก เฉลี่ยที่ สภาวะแอโรบิก-แอนน็อกซิด 15 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดเฉลี่ย 87-96 %

จากผลการทดลองทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ด้วยค่าอายุสลัดจ์ที่ยาวนาน ประสิทธิภาพการ กำจัดสารอินทรีย์ และค่าซีไอในน้ำออก มีความสม่ำเสมอคงตัว เป็นอิสระจากตัวแปรทั้งหมดในการ ทดลอง มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เฉลี่ยในทุกการทดลองกว่า 93% โดยค่าซีไอที่เหลือในแต่ละ การทดลองแสดงถึง ระดับสารอินทรีย์ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

งานวิจัยในลำดับต่อไป การเพิ่มการวิเคราะห์ค่า บีไอซี. และทีไอซี. จะช่วยให้ข้อสรุป ของการกำจัดสารอินทรีย์โดยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ นี้หนักแน่นยิ่งขึ้น

4.5.4 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์.

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ นำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง ด้วยถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียว ในรูปแบบของการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90 หรือ 120 นาที เพื่อสร้างสภาวะสลับกันระหว่าง แอโรบิก และ แอนน็อกซิก สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน โดยไนตริไฟอิงค์แบคทีเรีย ออกซิไดซ์ที่เคเอ็นให้กลายเป็นไนโตรท-ไนเตรท และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน โดยเฮเทอโรโทรฟแบคทีเรีย รีดิวซ์ไนโตรท-ไนเตรทให้กลายเป็นไนโตรเจนแก๊ส ตามลำดับ สลับกันไป เป็นการกำจัดไนโตรเจนออกจากรู้น้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ พร้อมการกำจัดสารอินทรีย์ และการกรองด้วยเมมเบรน ในขั้นกระบวนการเดียว

โดยทั้งสองสภาวะจะให้ผลในการกำจัดสารอินทรีย์ โดยเฮเทอโรโทรฟแบคทีเรีย พันธุ์แฟคัลเททีฟ ซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้อย่างต่อเนื่อง ตลอดการทำงานทุกสภาวะ โดยสามารถใช้ทั้ง ออกซิเจนอิสระที่ได้จากการเติมอากาศในสภาวะแอโรบิก และดึงออกซิเจนจากไนโตรท-ไนเตรท เมื่อไม่มีออกซิเจนอิสระในสภาวะแอนน็อกซิก ซึ่งในการกำจัดไนโตรเจน (รีดิวซ์ไนโตรท-ไนเตรท) ของการทดลองนี้ จะมีสารอินทรีย์เป็นตัวจำกัดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เนื่องจากทีเคเอ็นในน้ำเสียเข้ามีค่าสูง และเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันได้เกือบสมบูรณ์ ทำให้เกิดไนโตรท-ไนเตรทในปริมาณที่มากเกินไปเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีในน้ำเสีย โดยประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนขึ้นอยู่กับแหล่งอาหารอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งซีโอดีสามารถถูกใช้ไปได้กว่า 87-96 % ของที่ระบบได้รับ

รอบเวลาแอโรบิก และแอนน็อกซิก จะเริ่มนับตั้งแต่เมื่อเครื่องเติมอากาศ และปั๊มหมุนเวียนน้ำภายในทำงาน ตามลำดับ แต่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ต้องอาศัยค่าออกซิเจนละลาย (ดีโอ.) และ โออาร์พี เป็นตัวบ่งบอกสภาวะในถังปฏิกรณ์ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งสำหรับการทดลองนี้

-: สภาวะแอโรบิกแท้ มีค่าดีโอ.มากกว่า 1 มก./ล. โออาร์พีมากกว่า 20-60 mv. นับจากเริ่มรอบแอโรบิก ซึ่งใช้ช่วงเวลา 25-40 นาที ในการเพิ่มค่าดีโอจาก 0.06 ให้มีค่ามากกว่า 1-2 มก./ล. ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ทีเคเอ็นในน้ำออกจะลดลง ไนเตรทที่เกิดจะสะสมในถังปฏิกรณ์เพิ่มจากเมื่อสิ้นรอบแอนน็อกซิก ทำให้ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงค่าหนึ่งๆ ถึงแม้ว่าอาจเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในชั้นสลัดจ์สะสมที่ผิวเมมเบรนได้ แต่เป็นส่วนน้อยมาก และไม่ได้เป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ จึงถือว่าจะเกิดเพียงปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเท่านั้น

-: สภาวะแอนน็อกซิกแท้ มีค่าดีโอ.น้อยกว่า 0.1 มก./ล โออาร์พีน้อยกว่า 60-0 mv. นับจากเริ่มรอบแอนน็อกซิก ซึ่งใช้ช่วงเวลา 10-20 นาที ในการลดดีโอจาก 3-4 ให้ต่ำกว่า 0.1 มก./ล. เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันไนเตรทในน้ำออกจะลดลง และทีเคเอ็นที่เข้ามากับน้ำเสียอย่างต่อเนื่องจะสะสมในถังปฏิกรณ์จากเมื่อสิ้นรอบแอโรบิก ความเข้มข้นทีเคเอ็นในน้ำออกจะเพิ่มขึ้นในช่วงค่าหนึ่งๆ

-: ช่วงเริ่มรอบแอโรบิก แอนน็อกซิก ดีโอมีค่าในช่วง 0.1-1 และ 4.0-0.1 มก./ล. ตามลำดับ อาจตั้งสมมุติฐานได้ว่า ระบบมีสถานะที่เป็นทั้ง แอโรบิกและแอนน็อกซิก ในขณะเดียวกัน คือ มีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำพอเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน แต่ขาดแคลนออกซิเจนในชั้นฟล็อกเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้เช่นกัน (แม้ขณะค่าดีโอกำลังลดลงจาก 4 เป็น 1 และ 0.1 มก./ล. ตามลำดับ) สืบเนื่องจากช่วงเวลานี้ ความเข้มข้นไนเตรท และทีเคเอ็น ปรับตัวกลับอยู่ในระดับคงที่ และเริ่มปรับเปลี่ยนเพิ่มหรือลดไปในทิศทางตรงกันข้ามจากเดิม

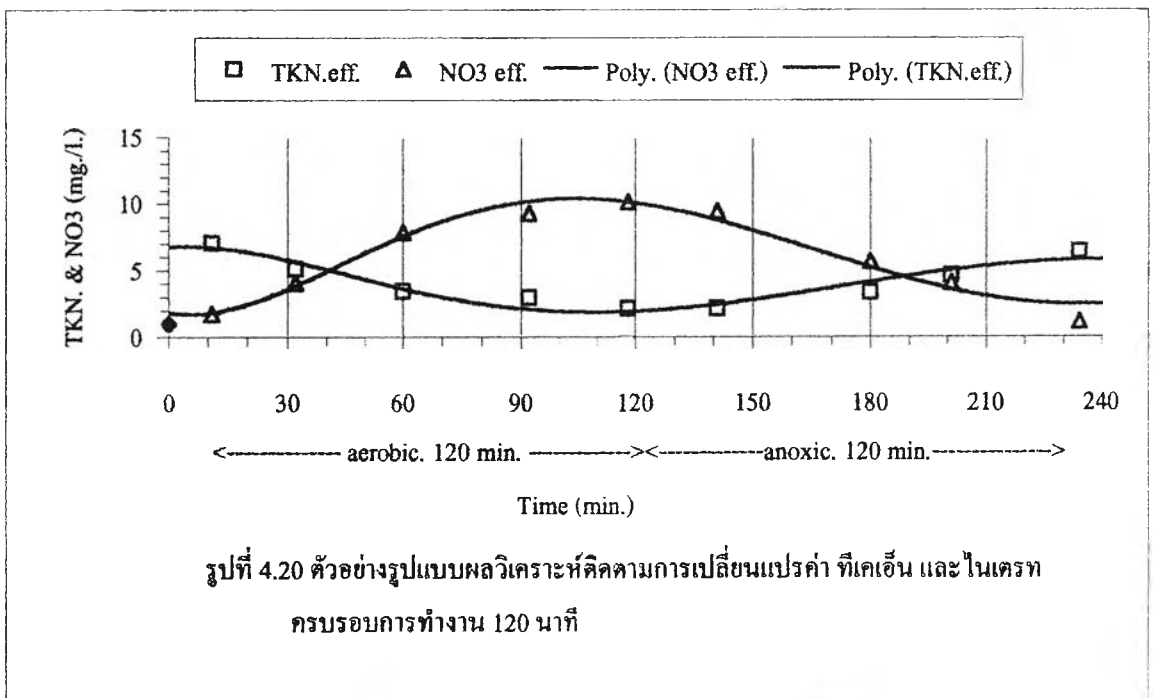
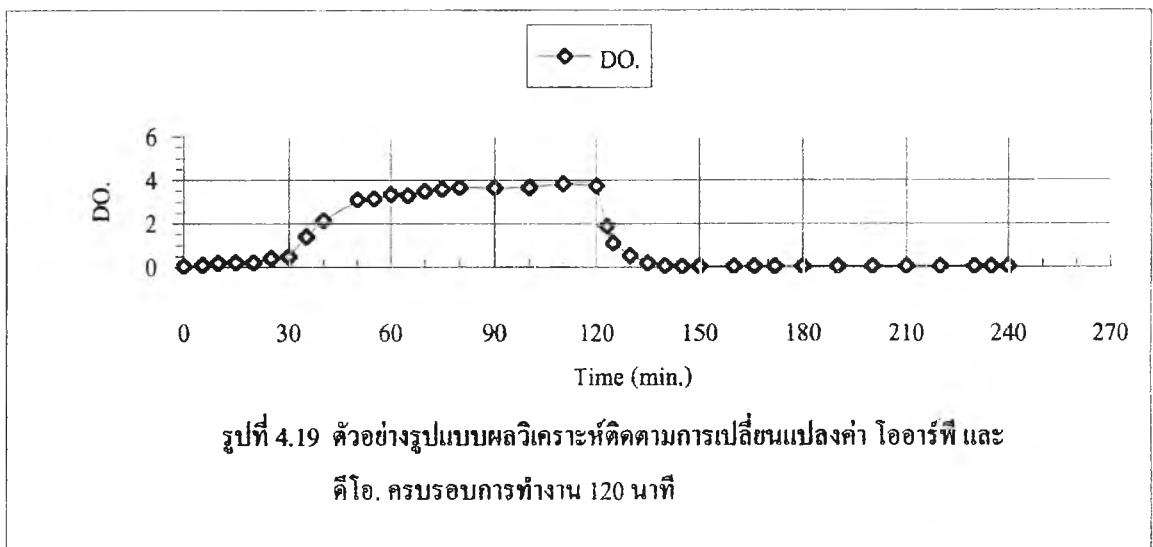
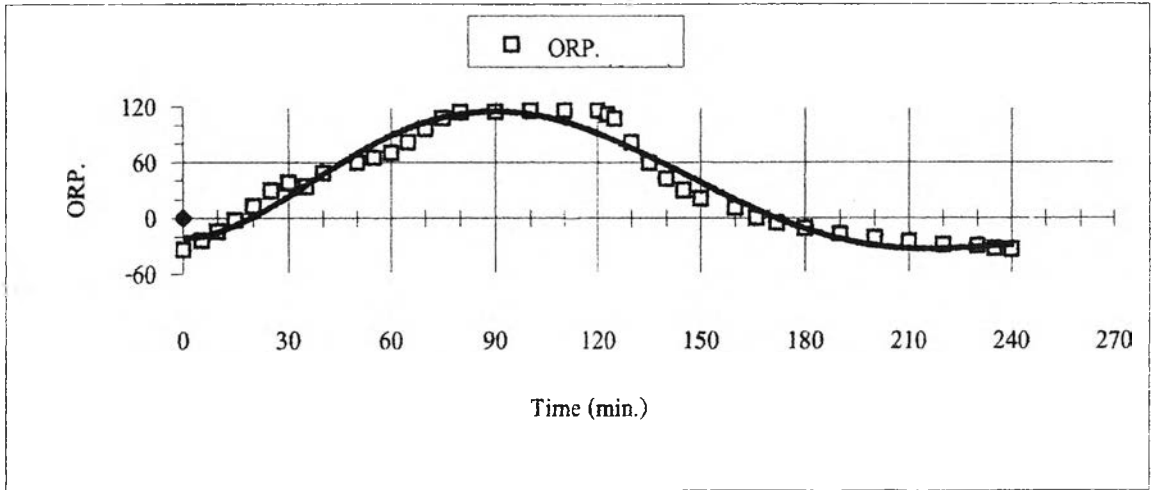
สามารถสรุปสมมุติฐานกลไกการกำจัดไนโตรเจนได้ดังตารางที่ 4.7 และ ตัวอย่างแสดงรูปแบบผลวิเคราะห์การแปรเปลี่ยน ค่าดีโอ-โออาร์พี และ ความเข้มข้นทีเคเอ็น-ไนเตรทในน้ำทิ้ง ครอบรอบการทำงาน (Effluent Profile) 120 นาที ดังรูปที่ 4.19 ,4.20 ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ทีเคเอ็น และ ไนเตรทในน้ำออกจะมีทิศทางตรงข้ามสลับกันไปในแต่ละสภาวะการทำงาน สภาวะแอโรบิก ทีเคเอ็นลดต่ำลง ไนเตรทจะสะสมเพิ่ม สภาวะแอนน็อกซิก ไนเตรทลดต่ำลง ทีเคเอ็นจะสะสมเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออกจะมีระดับต่ำลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นในน้ำเสียเข้า เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของปฏิกิริยาไนตริและดีไนตริฟิเคชันอย่างเป็นระบบ รวมไปถึงผลจากการกำจัดสารอินทรีย์ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น เรียกกระบวนการนี้ว่า ระบบกำจัดไนโตรเจนเกิดพร้อมการกำจัดสารอินทรีย์ (Simultaneous Nitrogen and Organic Removal System)

เนื่องจากความไว และความคาดเคลื่อนการวัด ของเครื่องดีโอ และ โออาร์พี แตกต่างกัน ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ค่าดีโอหนึ่งๆอาจวัดค่าโออาร์พีได้ในช่วงค่าหนึ่ง ของการวัดในแต่ละการทดลอง และ จะแตกต่างกันระหว่างรอบแอโรบิกที่เติมอากาศเพิ่มดีโอ (ขาขึ้น) และรอบแอนน็อกซิก ที่จุลชีพใช้ออกซิเจนละลาย ดีโอลด (ขาลง) ซึ่งอาจให้ค่าโออาร์พีในช่วงที่แตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 4.7 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์แบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ

| รอบเวลา | ดีโอ. (มก./ล.) | ปฏิกิริยา | ค่าทีเคเอ็น. | ค่าไนเตรท. |
|-------------------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| แอโรบิก (90 / 120 นาที) | 0 ---> (<1) | ปฏิกิริยาร่วม | กลับตัวลง | กลับตัวขึ้น |
| | 1 ---> (3-4) | ไนตริฟิเคชัน | ลดลง | เพิ่มขึ้น |
| แอนน็อกซิก (90 / 120 นาที) | 4 ---> (>0.1) | ปฏิกิริยาร่วม | กลับตัวขึ้น | กลับตัวลง |
| | (>0.1) ---> 0 | ดีไนตริฟิเคชัน | เพิ่มขึ้น | ลดลง |



4.5.5 สมดุลมวลของไนโตรเจนทั้งหมด

จากที่ได้อธิบายกลไกในการกำจัดไนโตรเจนหัวข้อ 4.5.4 และการเก็บตัวอย่างดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.7 ใช้ข้อมูลวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการค่า ทีเคเอ็น ไนไตรท์ ไนเตรท และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ ทำสมดุลมวลไนโตรเจนทั้งหมด ครบหนึ่งรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90 , 120 นาที จะมีรอบเวลาการทำงาน 180 , 240 นาที ตามลำดับ คำนวณหาค่าประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันดีไนตริฟิเคชัน การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนซีโอคือต่อไนโตรเจนแก๊ส ตามลำดับ ตั้งแต่ช่วงต้นการทดลอง จนระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการติดตาม ตรวจสอบ และควบคุมระบบ แสดงวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{เข้า} - \text{ออก} - \text{สะสม} - \text{ปฏิกิริยา} = 0$$

$$(TN.i - TN.cell) - (TN.e) = N_{2gas} \quad (4.7)$$

โดยที่ TN.i = ลิตร/เวลา x (ความเข้มข้น ทีเคเอ็น+ไนไตรท์+ไนเตรท น้ำเสีย) (มก./เวลา)
 TNe = ลิตร/เวลา x (ความเข้มข้นทีเคเอ็น+ไนไตรท์+ไนเตรท น้ำออก) (มก./เวลา)
 N_{2gas} . = ไนไตรท์-ไนเตรท ที่เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันกลายเป็นแก๊สไนโตรเจน หรือไนโตรเจนที่ถูกกำจัดออกจากระบบ (มก./เวลา)
 TN.cell = ทีเคเอ็นที่จุลชีพใช้เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโตแบ่งเซลล์ (มก./เวลา)
 (ถ้าระบบอยู่ในสถานะคงตัวอย่างสมบูรณ์ให้ TN.cell = 0) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$g.TKN/g.VSS. = (TKn.reactor - TKn.e) / VSS_{2} \quad (4.8 ก.)$$

$$TN.cell = (VSS_{2} - VSS_{1}) / (day_{2} - day_{1}) \times (hr.cycle / 24) \times Vr \times (g.TKN/g.VSS.) \quad (4.8 ข.)$$

โดยที่ hr.cycle = ช่วงเวลาในการทำสมดุลมวล , (เวลา)
 ตัวแปรอื่นๆ = เช่นเดียวกับสมการที่ 4.5 ข. ในหัวข้อ 4.4.4

จากสมการที่ 4.7 กระจายพจน์ต่างๆ และจัดกลุ่มใหม่ ได้เป็นสมการที่ 4.9 ดังนี้

$$(TKN.i - TKN.e - TN.cell + NO_{2,i} + NO_{3,i}) - (NO_{2,e} + NO_{3,e}) = N_{2gas}. \quad (4.9)$$

จากการทำสมดุลมวลในหัวข้อที่ 4.4.4 สามารถคำนวณประสิทธิภาพไนตริฟิเคชันได้ดังสมการที่ 4.10 จากสมดุลมวลไนโตรเจนทั้งหมดสมการที่ 4.9 เนื่องจากค่าที่เคเอ็นในน้ำออกเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์จึงไม่นำมาเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน และสามารถคำนวณประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันได้จากสมการที่ 4.11

จากสมการที่ 4.7 สามารถคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนได้จากสมการที่ 4.12 ถ้าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดสมบูรณ์ หรือที่เคเอ็นในน้ำออกน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียที่สถานะคงตัว จะสมมุติให้สมการที่ 4.11 เท่ากับ 4.12 ได้

$$\% \text{Nitrification} = \{ 1 - (\text{TKN.e} / (\text{TKN.i} - \text{TN.cell})) \} \times 100 \quad (4.10)$$

$$\% \text{Denitrification} = \text{N}_2 \text{gas.} / (\text{TN.i.} - \text{TNcell} - \text{TKN.e.}) \times 100 \quad (4.11)$$

$$\% \text{Nitrogen removal} = [1 - (\text{TN.e} / \text{TN.i.})] \times 100 \quad (4.12)$$

และสามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊สได้จากสมการที่ 4.13 ดังนี้

$$\text{COD.} / \text{N}_2 \text{gas} = (\text{COD.i} - \text{COD.e}) / (\text{TN.i} - \text{TN.cell} - \text{TN.e}) \quad (4.13)$$

โดยที่ $\text{COD.i} = \text{อัตราการไหล} \times \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเสีย (มก./เวลา)}$

$\text{COD.e} = \text{อัตราการไหล} \times \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก (มก./เวลา)}$

เนื่องจากระบบจะไม่เกิดปฏิกิริยาไนตริและดีไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ในโตรเจนทั้งหมดจะมีเหลือในน้ำทิ้ง ทำให้ไนโตรเจนแก๊สที่เกิดมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าที่เคเอ็นเข้า และสารอินทรีย์ซึ่งเป็นตัวจำกัดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ตลอดเวลา เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียจริง สูงขึ้นหรือลดลง ตามลำดับ

ดังนั้นในแต่ละการทดลอง ที่สภาวะซึ่งทุกๆปฏิกิริยามีความคงตัว จะสังเกตได้ว่า ค่าอัตราส่วนซีโอดีที่ใช้ไปต่อไนโตรเจนแก๊สที่เกิด จะมีค่ามากกว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียอย่างคงตัวและสัมพันธ์ตามกัน ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันแปรผกผันกับประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันของแต่ละการทดลอง (ค่าซีโอดีในน้ำออกเป็นอิสระจากค่าการะบบรทุกสารอินทรีย์)

4.5.6 ผลของรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆต่อการกำจัดไนโตรเจน (การทดลองที่ 2 และ 3)

ทั้งสองการทดลอง ระบบทำงานที่ค่าเวลากักเก็บ 24 ชม. มีอัตราการไหลน้ำเสียผ่านระบบ และมีปั๊มดูด 7.10 ลิตร/ชม. และ 0.24 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ ปั๊มทำงาน 10 นาที หยุด 10 นาที เมมเบรนจะทำงานที่ค่าฟลักซ์คงที่ 0.06 ลิตร/ตร.ม.นาที่ น้ำเสียจริงผสมน้ำตาลมีค่าซีโอดีรวม 415-562 , 368-546 มก./ล. ในน้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 19.3 และ 21.6 มก./ล ระบบมีการบรรทุกสารอินทรีย์ในระดับเดียวกันคือ 0.44-0.60 และ 0.39-0.58 Kg.COD./m³.d. จากการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

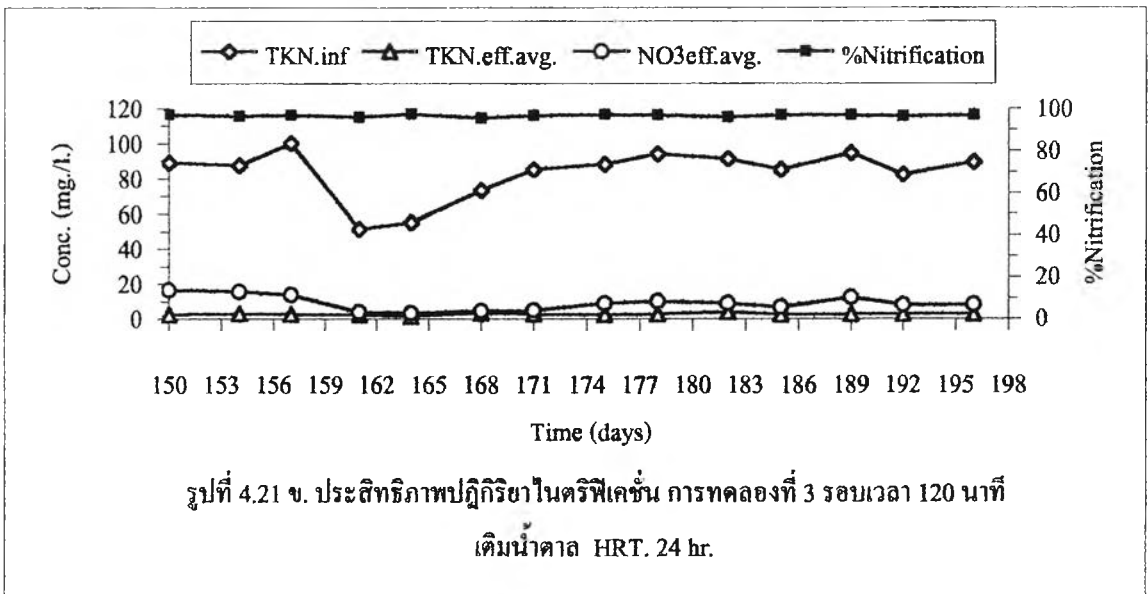
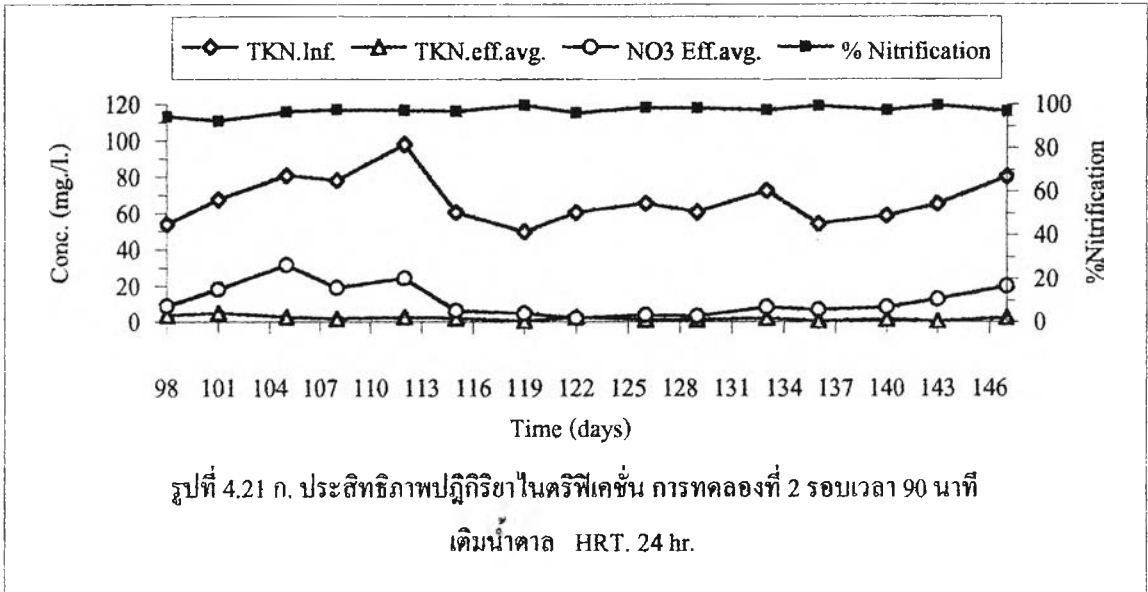
การทดลองที่ 2 : ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศแบบเป็นช่วงๆ 90 นาที โดยมีหนึ่งรอบการทำงาน 180 นาที ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 95-147

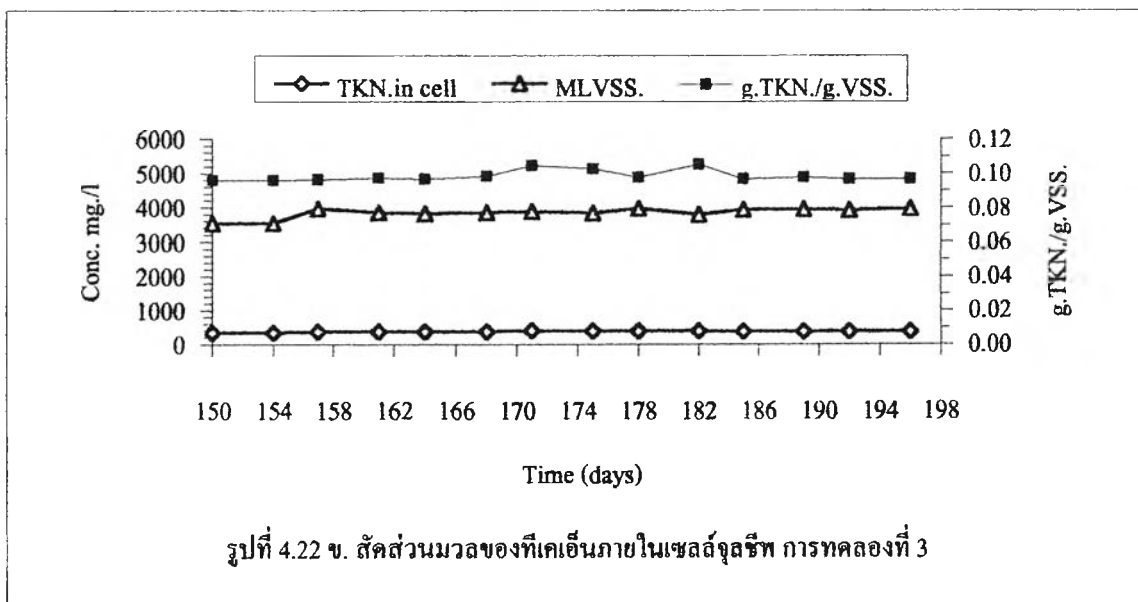
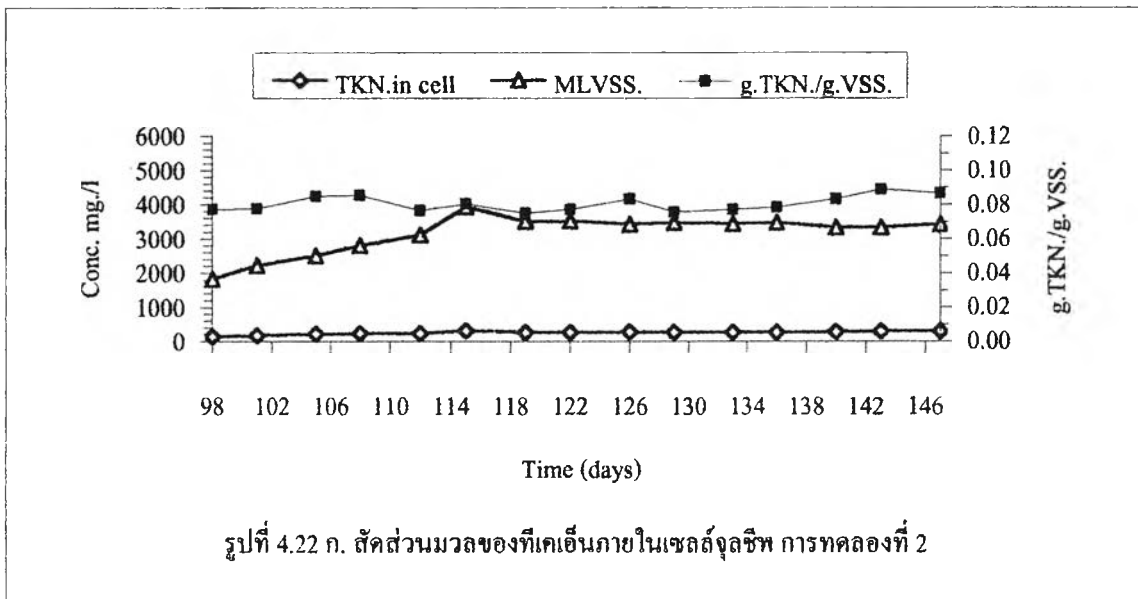
การทดลองที่ 3 : ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศแบบเป็นช่วงๆ 120 นาที โดยมีหนึ่งรอบการทำงาน 240 นาที ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 151-198

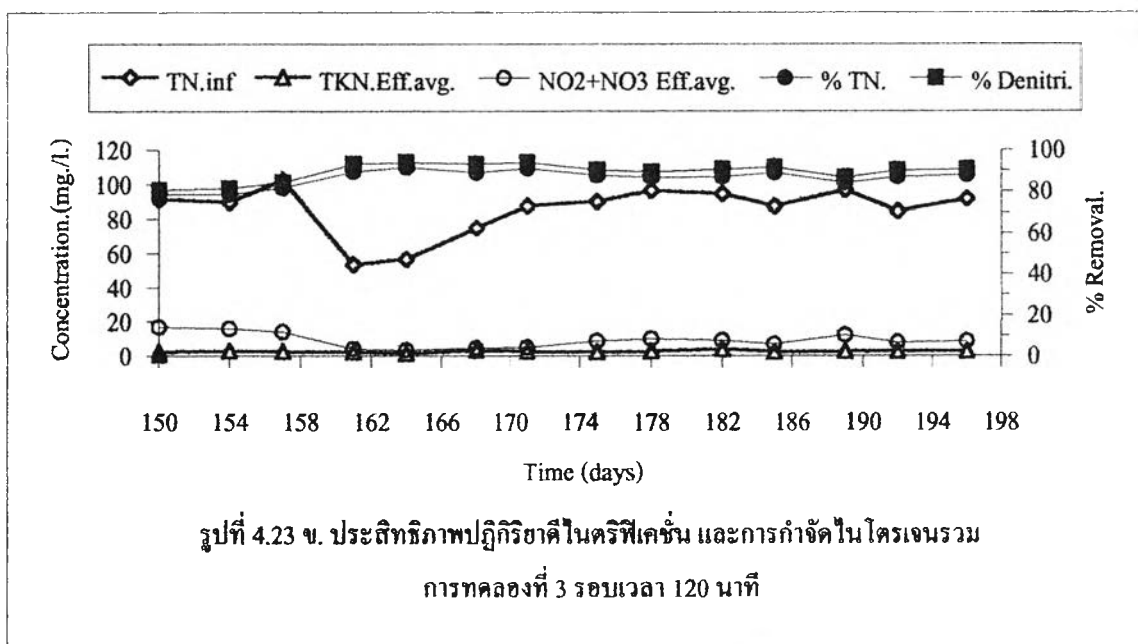
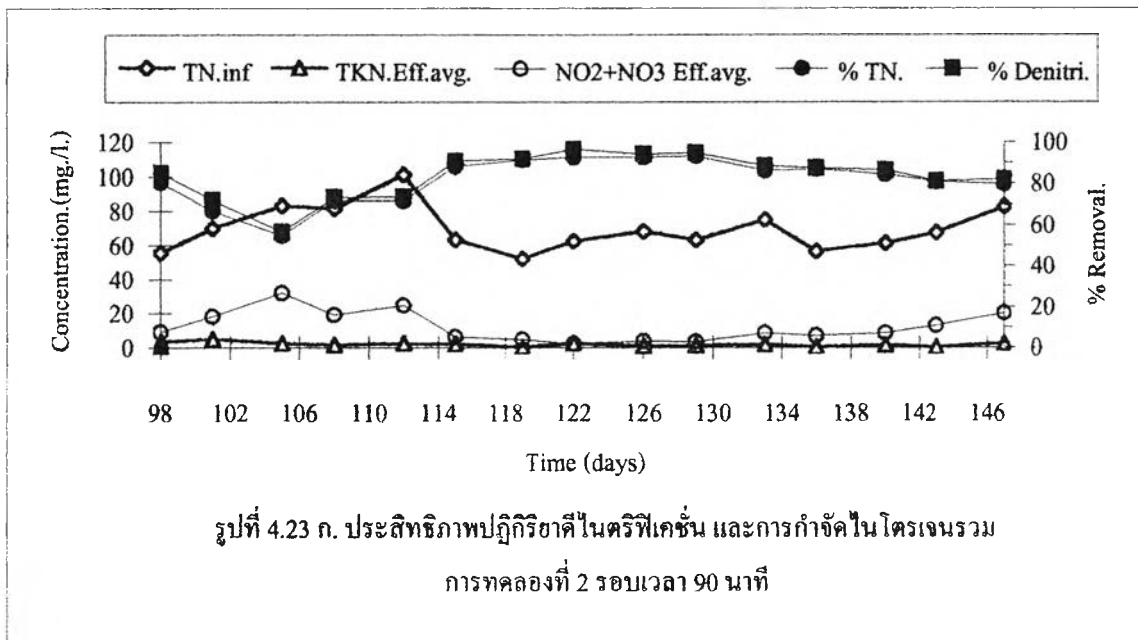
ผลของรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90 และ 120 นาที ต่อการกำจัดไนโตรเจน แสดงผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.8 พบว่า ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวอย่างสิ้นเชิงตั้งแต่วันที่ 126 และ 168 การทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ดีไนตริฟิเคชั่น ค่าวีเอสเอส. และอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส สม่ำเสมอคงตัว แสดงผลดังรูปที่ 4.21-4.24 ก และ ข. ตามลำดับ

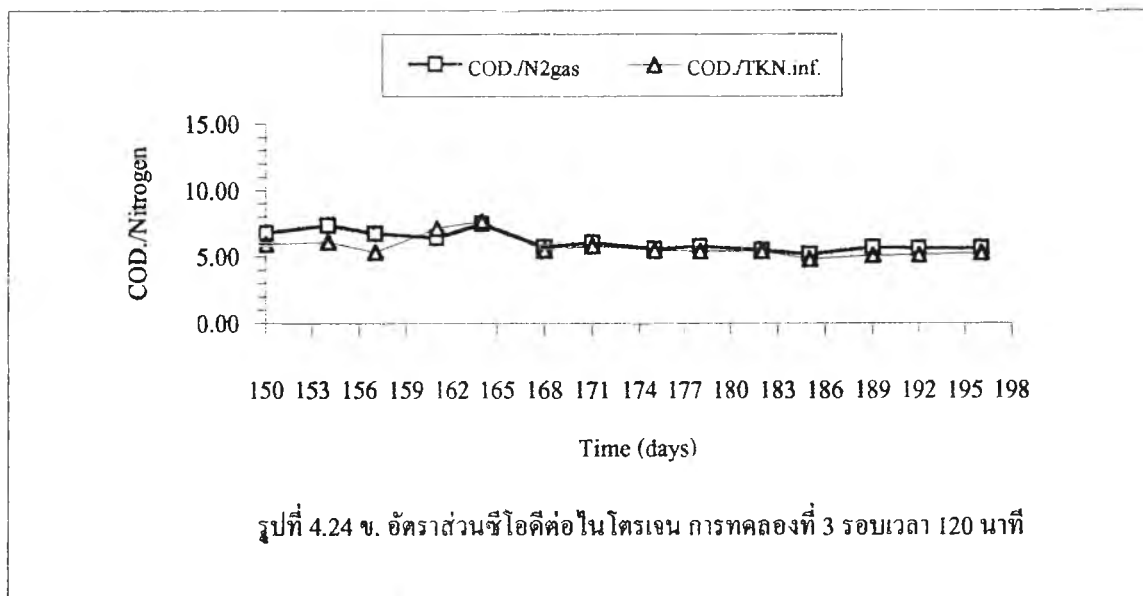
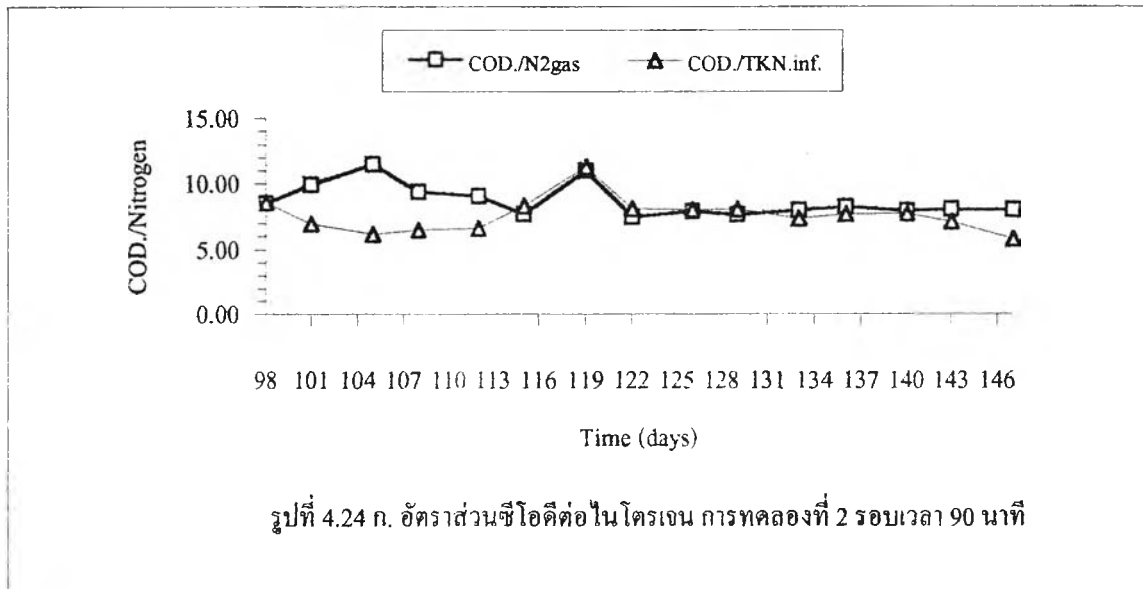
ตารางที่ 4.8 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 2 และ 3 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว

| EXP. | Spec. point. | COD. mg./l | MLSS mg./l | VSS. mg./l | TKN. mg./l. | NO2 mg./l. | NO3 mg./l. | % Nitri. | % Denitri. | % TN. | COD./ N ₂ gas |
|--------------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------|------------|-------|--------------------------|
| 2 (90) min. | Inf. | 472.4 | 85.2% | | 65.3 | 0.012 | 2.4 | | | | |
| | Rec. | - | 4,027 | 3,431 | 280 | - | - | 98.1 | 87.8 | 86.2 | 7.93 |
| | E.aero | 20.5 | | | 0.4 | 0.051 | 11.5 | | | | |
| | E.anox | 18.8 | | | 2.1 | 0.340 | 6.5 | | | | |
| | E.avg. | 19.7 | | | 1.3 | 0.196 | 9.0 | | | | |
| 3 (120) min. | Inf. | 463.1 | 87.9 | | 87.1 | 0.007 | 2.3 | | | | |
| | Rec. | - | 4,453 | 3,915 | 390 | - | - | 97.0 | 90.7 | 87.7 | 5.65 |
| | E.aero | 21.2 | | | 1.2 | 0.028 | 11.9 | | | | |
| | E.anox | 22.4 | | | 4.6 | 0.052 | 4.3 | | | | |
| | E.avg. | 21.8 | | | 2.9 | 0.040 | 8.1 | | | | |









ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน : จากรูปที่ 4.21 ก. ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ย ที่สภาวะแอโรบิก และแอนน็อกซิก ค่าที่เคเอ็นในน้ำออก ต่ำสุดและสะสมสูงสุด ตามลำดับ น้ำเสียจริงเข้าระบบมีค่าที่เคเอ็นช่วง 49.7-98.0 , 51.5-100.4 มก./ล. ค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง 67.1 83.4 มก./ล. ค่าการะบรทุกที่เคเอ็น 0.053-0.104 , 0.055-0.107 kg.TKN./m³.d การทดลองที่ 2 , 3 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 96.8-99.6 และ 95.3-97.4 % ที่เคเอ็นเฉลี่ยในน้ำออกแสดงในกราฟ มีค่าในช่วง 0.2-2.4 และ 1.5-4.0 มก./ล. จำนวนจากค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 1.26 และ 2.94 มก./ล. และ จากรูปที่ 4.22 ก. ข. แสดงสัดส่วนไนโตรเจนในเซลล์จุลชีพ (gTKN/g.VSS.) ใช้คำนวณหาประสิทธิภาพไนตริและดีไนตริฟิเคชัน พบว่ามีค่า 0.0819 และ 0.0995 ที่สภาวะคงตัวการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ปฏิกิริยาดีนิตริฟิเคชัน : จากรูปที่ 4.22 ก. ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีนิตริฟิเคชันเฉลี่ยที่สภาวะแอโรบิก แอนน็อกซิก มีค่าในเตรทในน้ำออก สูงสุด และต่ำสุด ตามลำดับ น้ำเสียเข้ามีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 5.8-8.1 และ 4.8-5.8 เป็นค่าเฉลี่ย 7.49 5.33 การทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยไนโตรที่ ไนเตรทไนโตรเจน ซึ่งสะสมเพิ่มขึ้นช่วงแอโรบิก จะถูกรีดิวซ์เป็นไนโตรเจนแก๊สตกลงในช่วงแอนน็อกซิก สังเกตว่า ค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออก มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในน้ำเสียเข้า

จากผลการทดลองพบว่า เกิดปฏิกิริยาดีนิตริฟิเคชัน 81.2-94.8 และ 86.7-94.0% ค่าไนโตรที่รวมไนเตรทเฉลี่ยในน้ำออกมีค่า 3.4-20.3 และ 3.4-12.4 มก./ล. จำนวนจากค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 9.2 และ 8.1 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด 79.6-93 และ 84-92% ค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออก 4.5-22.9 และ 7.7-15.2 มก./ล. จำนวนจากผลรวมค่าที่เคเอ็น ไนโตรที่ และ ไนเตรท เฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก และแอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 10.5 และ 11.1 มก./ล. ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส : แสดงดังรูปที่ 4.24 ก. ข. พบว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียแต่ละการทดลองค่อนข้างคงที่ และอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส มีความคงตัวสัมพันธ์ไปตามกันได้อย่างชัดเจน พบว่า มีค่าในช่วง 7.50-8.26 และ 5.16-5.80 เป็นค่าเฉลี่ย 7.93 และ 5.65 โดยมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีนิตริฟิเคชันเฉลี่ย 87.8 และ 90.7 % ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ สังเกตว่า ช่วงต้นการทดลองขณะระบบปรับสภาวะ อัตราส่วนทั้งสองจะมีค่าไม่สัมพันธ์กัน

ผลวิเคราะห์การแปรเปลี่ยน ค่าดีไอ-โออาร์พี และ ความเข้มข้นที่เคเอ็น-ไนเตรทในน้ำทิ้ง
ครบรอบการทำงาน (Effluent Profile) : แสดงดังรูปที่ 4.25-4.26 ก. ข. การทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

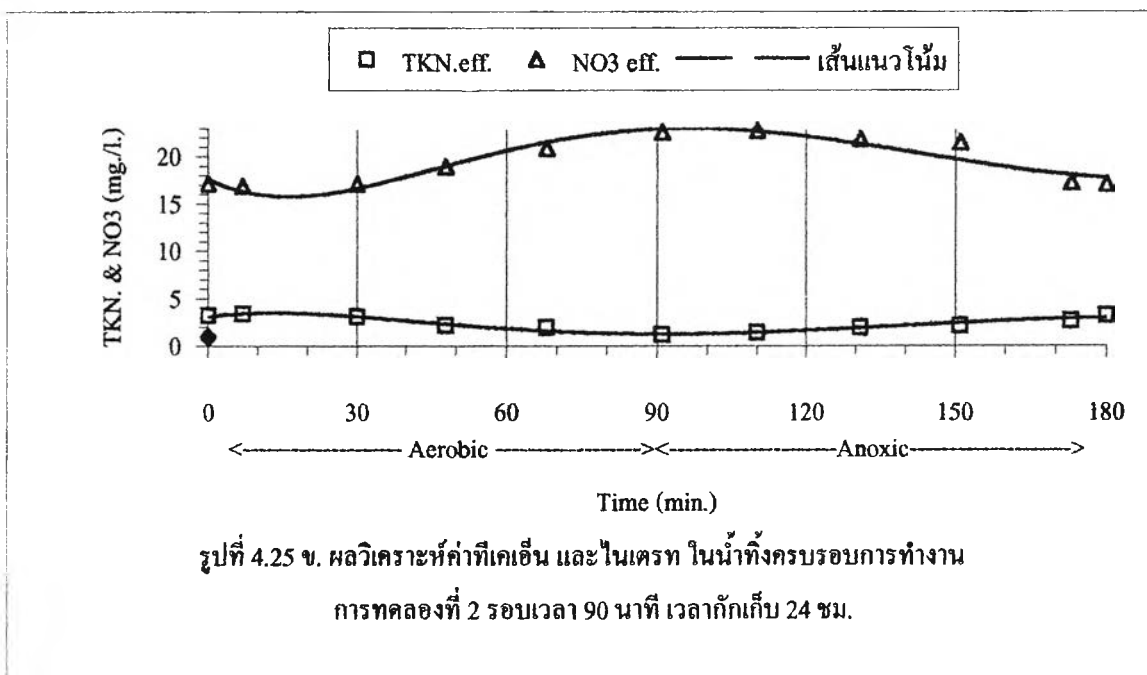
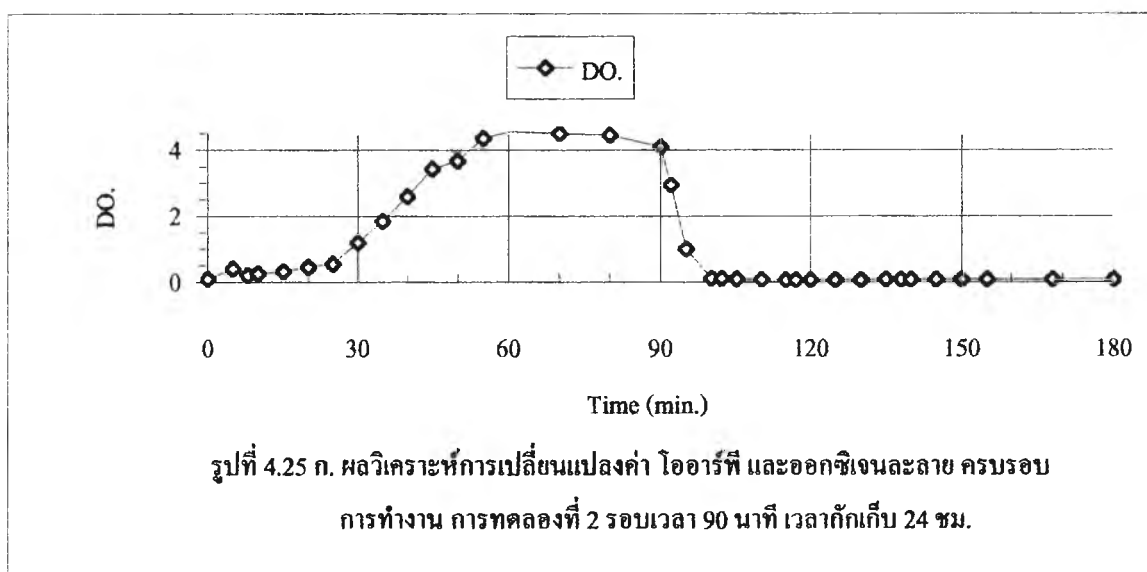
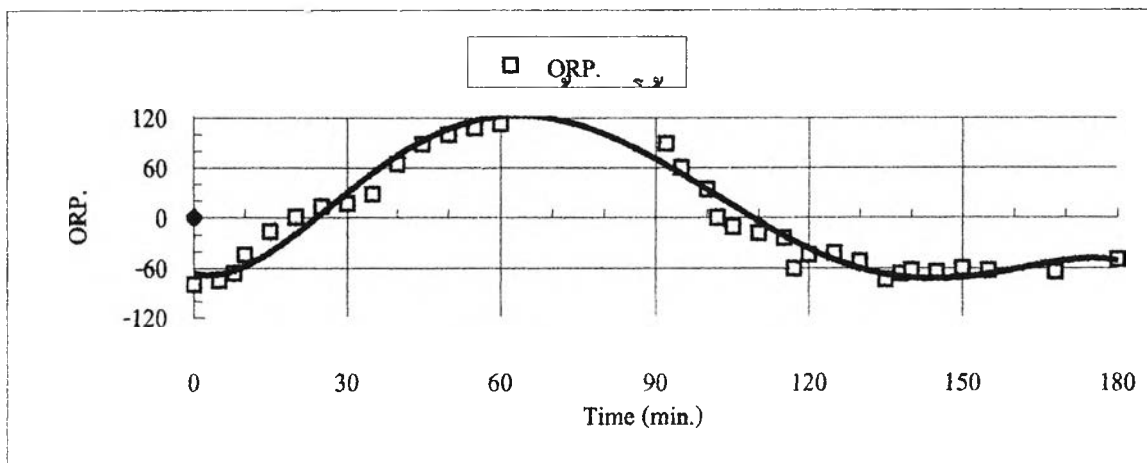
การทดลองที่ 2 : ค่าที่เคเอ็น ซีไอดีในน้ำเสียเข้า 80.3 465 มก./ล. ตามลำดับ ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 90 นาที รอบการทำงาน 180 นาที ผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.9 ก. รอบแอโรบิคเครื่องเติมอากาศใช้เวลา 30 นาที เพิ่มดีไอในระบบให้มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. ที่โออาร์พี 20 mv. และสมมูลที่กว่า 4 มก./ล. 120 mv. ค่าที่เคเอ็นลดลงจาก 3.35 มาเป็น 1.20 มก./ล. และค่าไนเตรทเพิ่มจาก 16.9 มาเป็น 22.6 มก./ล. ที่เวลา 7 และ 90 นาที ตามลำดับ รอบแอนนออกซิกระบบใช้เวลา 15 นาที ลคดีไอในระบบให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ที่โออาร์พี -11 mv. และสมมูลที่ 0.07 มก./ล. -60 mv. โดยค่าที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจาก 1.20 มาเป็น 2.65 มก./ล. และ ค่าไนเตรทลดลงจาก 22.6 มาเป็น 17.3 มก./ล. ที่เวลา 90 และ 175 นาที ตามลำดับ ประสิทธิภาพไนตริและดีไนตริฟิเคชัน อัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจน แก๊ส 96.8 73.0 และ 8.05 ตามลำดับ

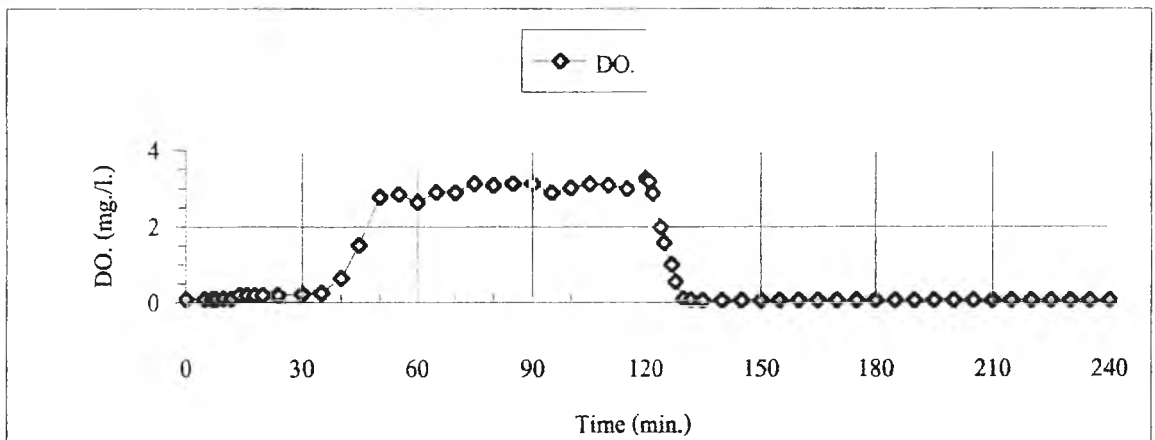
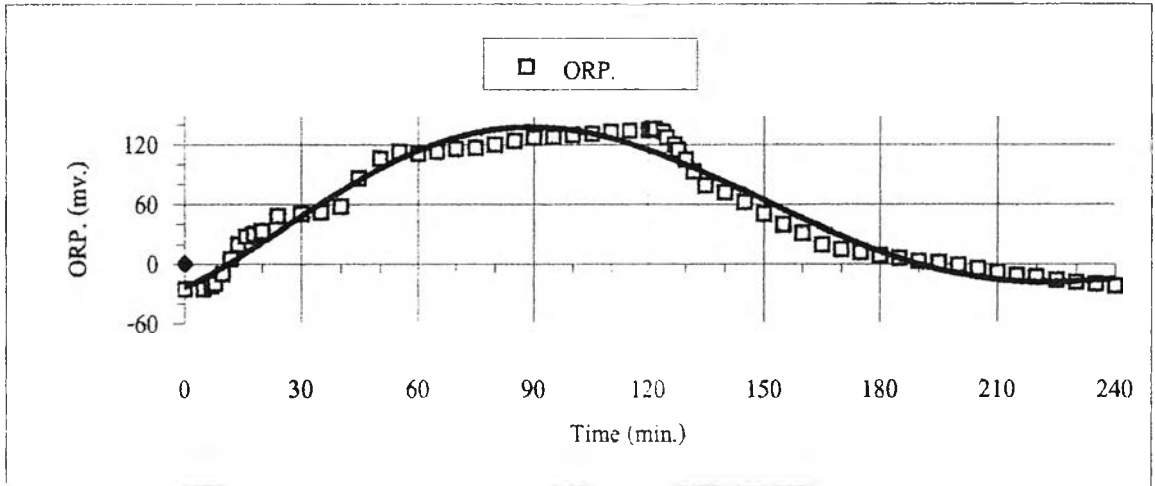
ไนโตรที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงแอโรบิค และเพิ่มขึ้นช่วงแอนนออกซิค แต่ไม่เป็นสัดส่วนดังเช่นค่าที่เคเอ็น มีค่าเฉลี่ยตลอดรอบการทำงาน 0.256 มก./ล. และค่าซีไอดีจะมีความสม่ำเสมอตลอดรอบการทำงาน โดยมีค่าเฉลี่ย 16.9 มก./ล.

ตารางที่ 4.9 ก. ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 2 (มก./ล.)

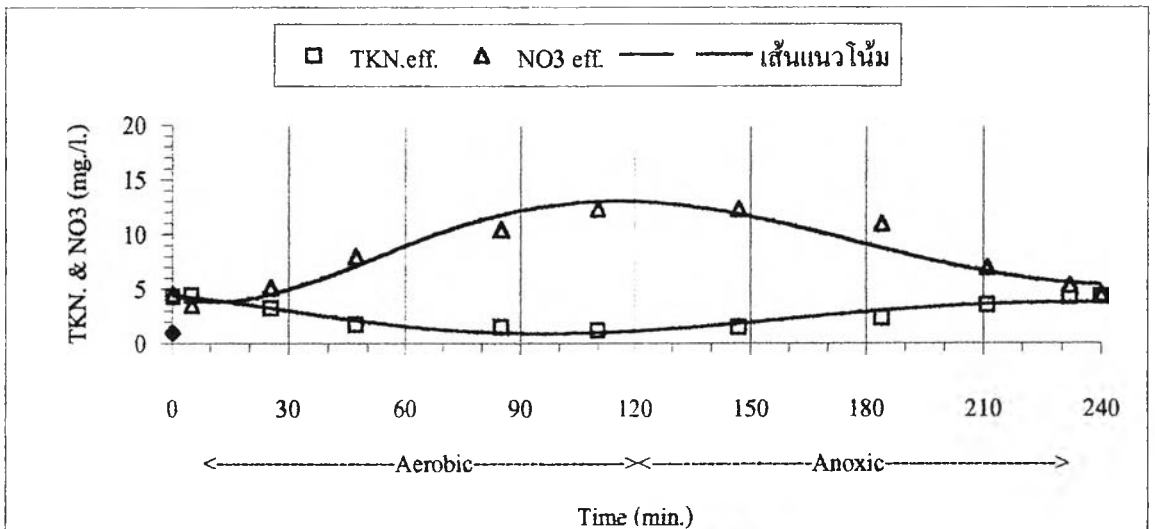
| นาที -> | 0 | 7 | 30 | 48 | 68 | 91 | 110 | 131 | 151 | 175 |
|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TKN. | 3.18 | 3.35 | 3.11 | 2.15 | 1.92 | 1.20 | 1.44 | 1.92 | 2.10 | 2.65 |
| NO ₃ | 17.1 | 16.9 | 17.1 | 19.0 | 20.9 | 22.6 | 22.8 | 21.9 | 21.5 | 17.3 |
| NO ₂ | - | 0.332 | 0.300 | 0.120 | 0.182 | 0.049 | 0.365 | 0.300 | 0.328 | 0.332 |
| COD. | 18.3 | 20.0 | 17.5 | 12.0 | 16.0 | 20.8 | 12.0 | 16.0 | 20.0 | 16.0 |

การทดลองที่ 3 : ค่าที่เคเอ็น ซีไอดีในน้ำเสียเข้า 82.3 และ 423 มก./ล. ตามลำดับ ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 120 นาที รอบการทำงาน 240 นาที ผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.9 ข. รอบแอโรบิคเครื่องเติมอากาศใช้เวลา 40 นาที เพิ่มดีไอในระบบให้มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. ที่โออาร์พี 58 mv. และสมมูลที่กว่า 3 มก./ล. 130 mv. ค่าที่เคเอ็นลดลงจาก 4.40 มาเป็น 1.20 มก./ล. และค่าไนเตรทเพิ่มจาก 3.5 มาเป็น 12.3 มก./ล. ที่เวลา 5 และ 110 นาที ตามลำดับ รอบแอนนออกซิกระบบใช้เวลา 10 นาที ลคดีไอในระบบให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ที่โออาร์พี 70mv. และสมมูลที่ 0.05 มก./ล. -20 mv. โดยค่าที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจาก 1.5 มาเป็น 4.3 มก./ล. และค่าไนเตรทลดลงจาก 12.3 มาเป็น 5.4 มก./ล. ที่เวลา 147 และ 232 นาที ตามลำดับ ประสิทธิภาพไนตริและดีไนตริฟิเคชันเฉลี่ย อัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจน แก๊ส 96.5 90.0 และ 5.64 ตามลำดับ





รูปที่ 4.26 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า โออาร์ที และออกซิเจนละลาย ครอบรอบการทำงานการทดลองที่ 3 รอบเวลา 120 นาที เวลาพักเก็บ 24 ชม.



รูปที่ 4.26 ข. ผลวิเคราะห์ค่าที่เคเอ็น และไนเตรท ในน้ำทิ้งครอบรอบการทำงานการทดลองที่ 3 รอบเวลาเติมอากาศ 120 นาที เวลาพักเก็บ 24 ชม.

ค่าไนโตรเจนที่มีค่าสม่ำเสมอตลอดช่วงแอโรบิก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงคืน และปรับลดลงมาในระดับเดิมในช่วงปลายแอนนออกซิค ค่าเฉลี่ยตลอดรอบการทำงาน 0.068 มก./ล. ค่าซีโอดีมีความสม่ำเสมอตลอดรอบการทำงาน มีค่าเฉลี่ย 20.9 มก./ล.

ตารางที่ 4.9 ข. ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกจากรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 3 (มก./ล.)

| นาที -> | 0 | 5 | 25.5 | 47 | 85 | 110 | 147 | 184 | 211 | 232 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TKN. | 4.3 | 4.4 | 3.2 | 1.8 | 1.5 | 1.2 | 1.5 | 2.4 | 3.5 | 4.3 |
| NO ₃ | 4.5 | 3.5 | 5.2 | 8.0 | 10.4 | 12.3 | 12.3 | 11.0 | 7.0 | 5.4 |
| NO ₂ | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.046 | 0.062 | 0.050 | 0.116 | 0.102 | 0.075 | 0.066 |
| COD. | 22.9 | 22.9 | 18.3 | 18.3 | 22.9 | 20.5 | 22.9 | 20.5 | 18.3 | 20.5 |

จากผลการทดลองที่ 2 และ 3 ที่สถานะคงตัวดังกล่าว ผลของรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆที่ 90 และ 120 นาที ส่งผลต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจนของระบบดังนี้

รอบเวลา 90 นาที ให้ประสิทธิภาพไนตริไฟเคชั่นเฉลี่ย 98.1% สูงกว่าที่รอบเวลา 120 นาที คือ 96.6% เล็กน้อย เนื่องจากรอบเวลาแอนนออกซิคที่เพิ่มขึ้นอีก 30 นาที ทำให้ที่เคเอ็นจากน้ำเสีย (การทดลองที่ 3 สูงกว่าที่ 2 คือ 87.1 65.3 มก./ล.) สะสมเพิ่มขึ้นจากการถูกจำกัดปฏิกิริยาไนตริไฟเคชั่นด้วยภาวะบรรทุทที่เคเอ็น 0.093 และ 0.07 kg.TKN./m3.d. ส่งผลให้ผลต่างค่าที่เคเอ็น ค่าสุครอบแอโรบิก-สูงสุดรอบแอนนออกซิค ในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น คือ 1.2-4.6 และ 0.4-2.1 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้น 2.9 และ 1.3 มก./ล. ที่รอบเวลา 120 และ 90 ตามลำดับ

รอบเวลา 120 นาที มีประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชั่น ,การกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ย 90.7 ,87.7 % สูงกว่าที่ 90 นาที 87.8 ,86.2 % โดยมีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียดำกว่า คือ 5.32 ,7.49 และมีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊สคงตัวที่ 5.65 ,7.93 รอบเวลา 120 ,90 นาที ตามลำดับ

เนื่องจากรอบเวลาแอนนออกซิคที่เพิ่มขึ้น 30 นาที (ค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ไม่เปลี่ยนแปลง) อัตราปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชั่นเฉลี่ยมีค่าคงตัว ไนเตรทจะถูกกำจัดมากขึ้น สังเกตถึงประสิทธิภาพดีไนตริไฟเคชั่นที่สูงกว่า และค่าไนเตรท ในน้ำออกช่วงแอนนออกซิครอบเวลา 120 และ 90 นาที มีค่า 4.3 ต่ำกว่า 6.5 มก./ล. ตามลำดับ แม้ว่าน้ำเสียนจะมีค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยสูง และค่าซีโอดีเฉลี่ยต่ำกว่า

แต่จากรอบเวลาแอโรบิกที่เพิ่มขึ้น 30 นาที เช่นกัน และภาวะบรรทุทที่เคเอ็นที่สูงกว่าเล็กน้อย ส่งผลให้ค่าไนเตรทสะสมมากขึ้นจากการถูกจำกัดปฏิกิริยาดีไนตริไฟเคชั่น ผล

ต่างค่าไนเตรทต่ำสุดรอบแอนนอซิก-สูงสุดรอบแอโรบิกในน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น คือ 4.3-11.9 และ 6.5-11.5 มก./ล. แต่ค่าเฉลี่ยยังคงต่ำกว่าเล็กน้อย คือ 8.1 และ 9.0 มก./ล. ที่รอบเวลา 120 และ 90 นาที ตามลำดับ

ผลวิเคราะห์ครบรอบเวลาการทดลองที่ 3 และ 2 พบว่า ที่ความเข้มข้นที่เคเอ็น และซีโอดี ในน้ำเสีย คือ 82.3 423 มก./ล. และ 80.3 465 มก./ล. ที่รอบเวลา 120 และ 90 นาที ตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน 96.5 และ 96.8 % ดีไนตริฟิเคชัน 90.0 และ 73.0 % อัตราส่วนซีโอดีที่ใช้ต่อไนโตรเจนแก๊สที่เกิด 5.64 และ 8.05 ค่าไนโตรเจนรวมเฉลี่ยในน้ำออก 7.9 และ 19.9 มก./ล. มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน 87 และ 70.7 % ตามลำดับ

ฉะนั้นที่ค่าการะบรทุกที่เคเอ็น และอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น ระดับเดียวกัน รอบเวลา 120 นาที จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่าที่ 90 นาที จึงมีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 120 นาที ทำงานในการทดลองที่ 4 ต่อไป

4.5.7 ผลของค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ ต่อการกำจัดไนโตรเจน (การทดลองที่ 3 และ 4)

ทั้งสองการทดลอง ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วง 120 นาที โดยมีหนึ่งรอบการทำงาน 240 นาที น้ำเสียจริงผสมน้ำคาลมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 368-547 และ 330-495 มก./ล. น้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 21.8 และ 14.5 มก./ล. การทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

การทดลองที่ 3 : อัตราไหลน้ำเสียผ่านระบบและปั๊มดูด 7.10 ลิตร/ชม. 0.24 ลิตร/นาที ตามลำดับ ขณะปั๊มทำงาน 10 นาที หยุด 10 นาที เมมเบรนจะทำงานที่ค่าฟลักซ์คงที่ 0.06 ลิตร/ตร.ม.นาที เวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ 24 ชม. และภาระบรทุกสารอินทรีย์ ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.39-0.58 kg.COD./m³.d. ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 151-198

การทดลองที่ 4 : อัตราไหลน้ำเสียผ่านระบบและปั๊มดูด 10.6 ลิตร/ชม. 0.36 ลิตร/นาที ตามลำดับ ขณะปั๊มทำงาน 10 นาที หยุด 10 นาที เมมเบรนจะทำงานที่ค่าฟลักซ์คงที่ 0.09 ลิตร/ตร.ม.นาที เวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ 16 ชม. และภาระบรทุกสารอินทรีย์ ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.53-0.79 kg.COD./m³.d. ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 199-256

ผลของการลดค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์จาก 24 เป็น 16 ชม. ต่อการกำจัดไนโตรเจน แสดงผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.8 ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวตั้งแต่วันที่ 168 และ 227 โดยมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน ความเข้มข้นสัตจจุลชีพ และอัตราส่วนซีโอดี ต่อไนโตรเจนแก๊ส สม่ำเสมอคงตัว แสดงคังรูปที่ 4.27-4.30 ก. ข. การทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

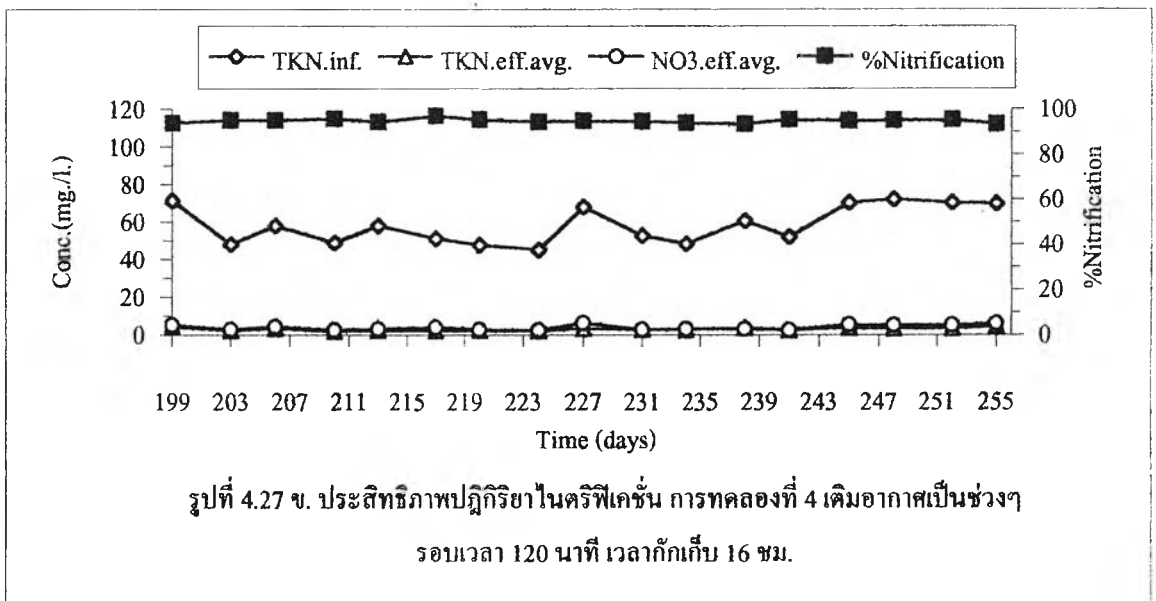
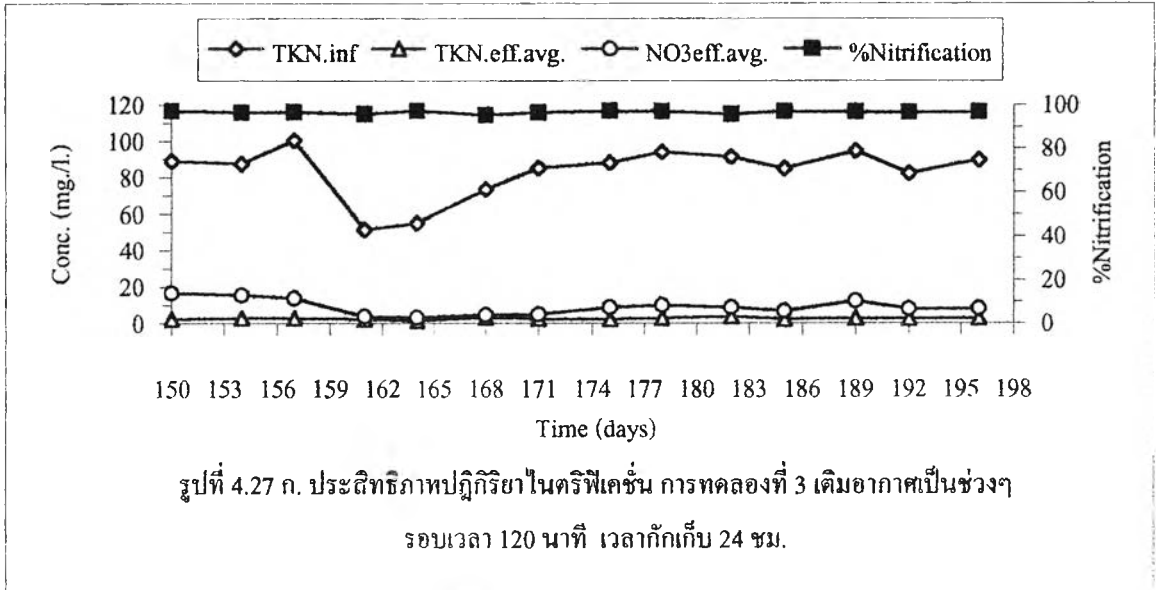
ตารางที่ 5.10 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 3 และ 4 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว

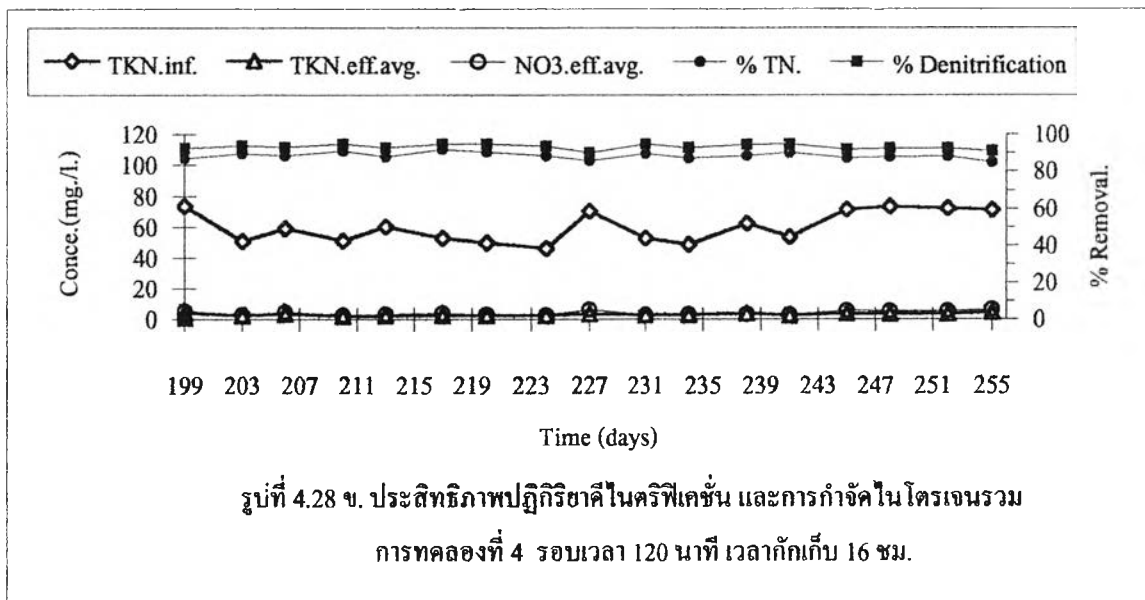
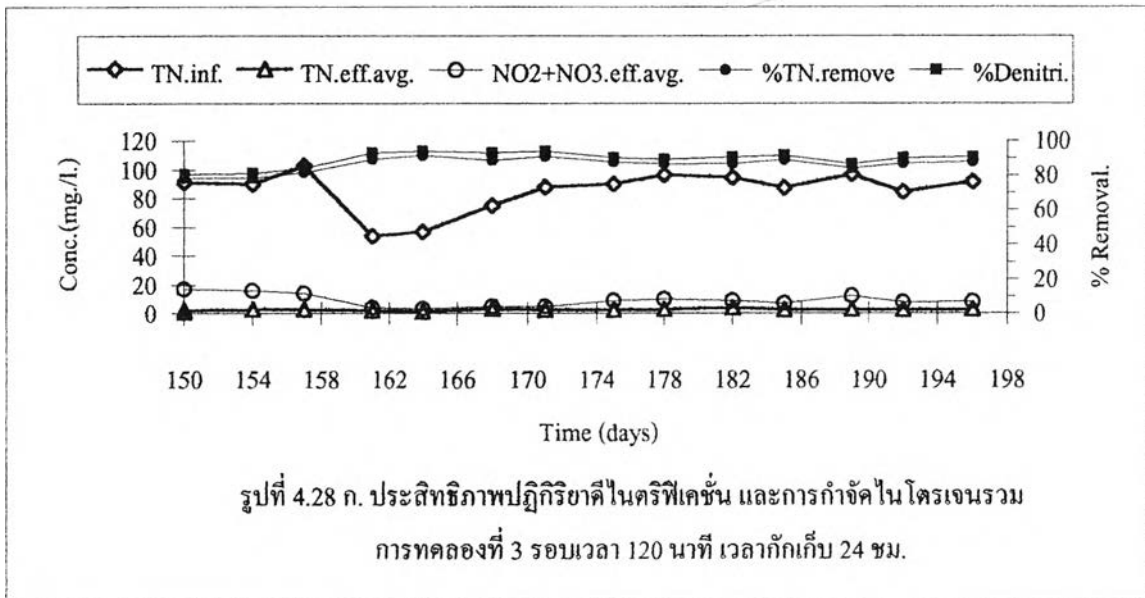
| EXP. | Spec. point. | COD. mg./l | MLSS mg./l | VSS. mg./l | TKN. mg./l. | NO2 mg./l. | NO3 mg./l. | % Nitri. | % Denitri. | % TN. | COD./ N ₂ gas |
|------------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------|------------|-------|--------------------------|
| 3 (24) hr. | Inf. | 463.1 | 87.9 | | 87.1 | 0.007 | 2.3 | | | | |
| | Rec. | - | 4,453 | 3,915 | 392 | - | - | 97.0 | 90.7 | 87.7 | 5.65 |
| | E.aero | 21.2 | | | 1.2 | 0.028 | 11.9 | | | | |
| | E.anox | 22.4 | | | 4.6 | 0.052 | 4.3 | | | | |
| | E.avg. | 21.8 | | | 2.9 | 0.040 | 8.1 | | | | |
| 4 (16) hr. | Inf. | 387 | 87.9 | | 62.6 | 0.007 | 1.5 | | | | |
| | Rec. | - | 5,789 | 5,165 | 482 | - | - | 94.5 | 92.7 | 87.6 | 6.70 |
| | E.aero | 13.0 | | | 1.4 | 0.023 | 8.0 | | | | |
| | E.anox | 16.1 | | | 5.4 | 0.028 | 0.9 | | | | |
| | E.avg. | 14.5 | | | 3.4 | 0.026 | 4.5 | | | | |

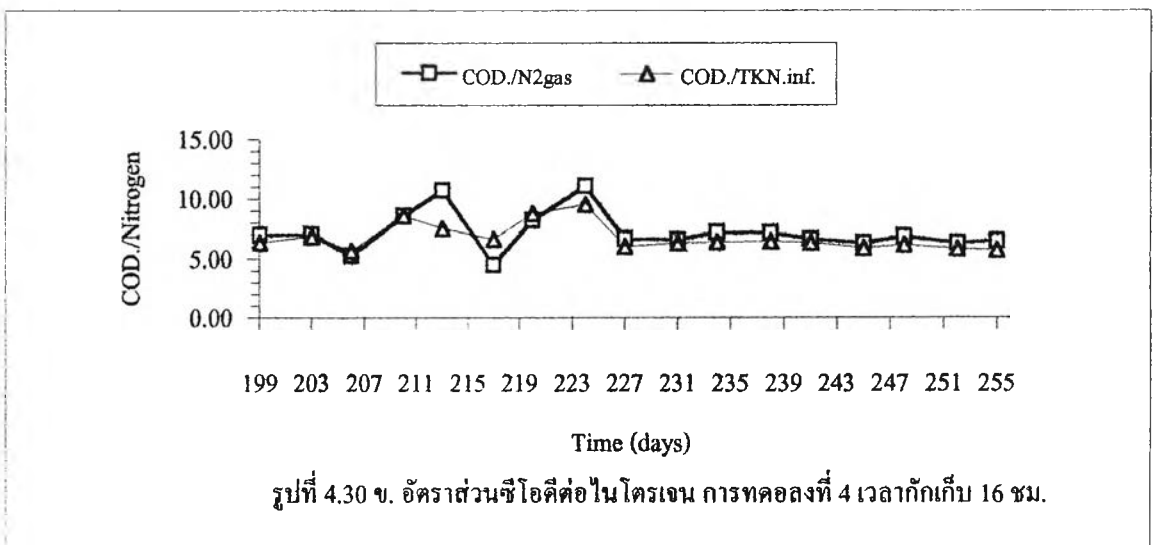
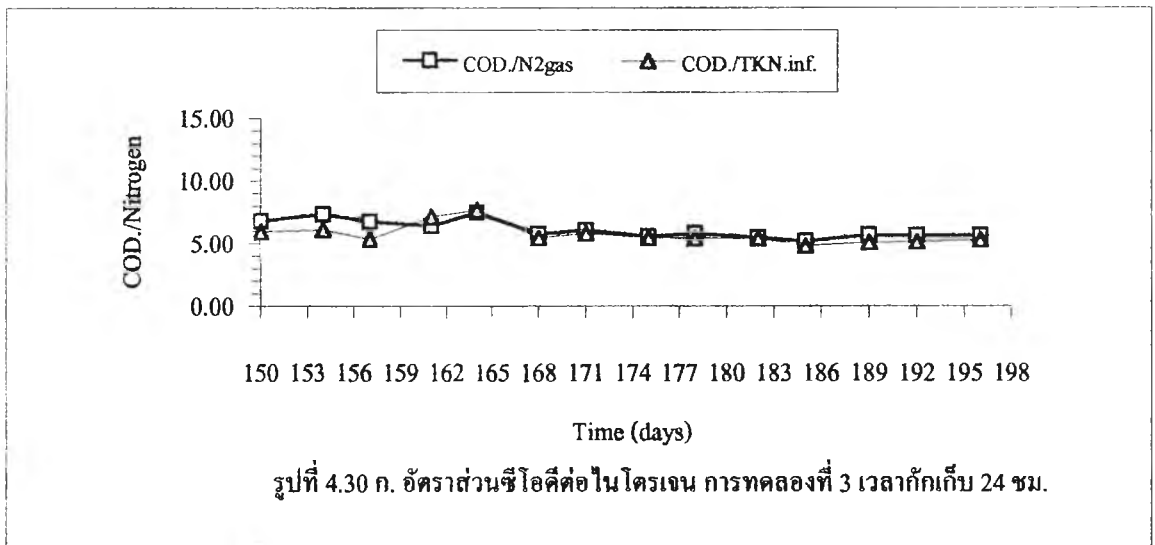
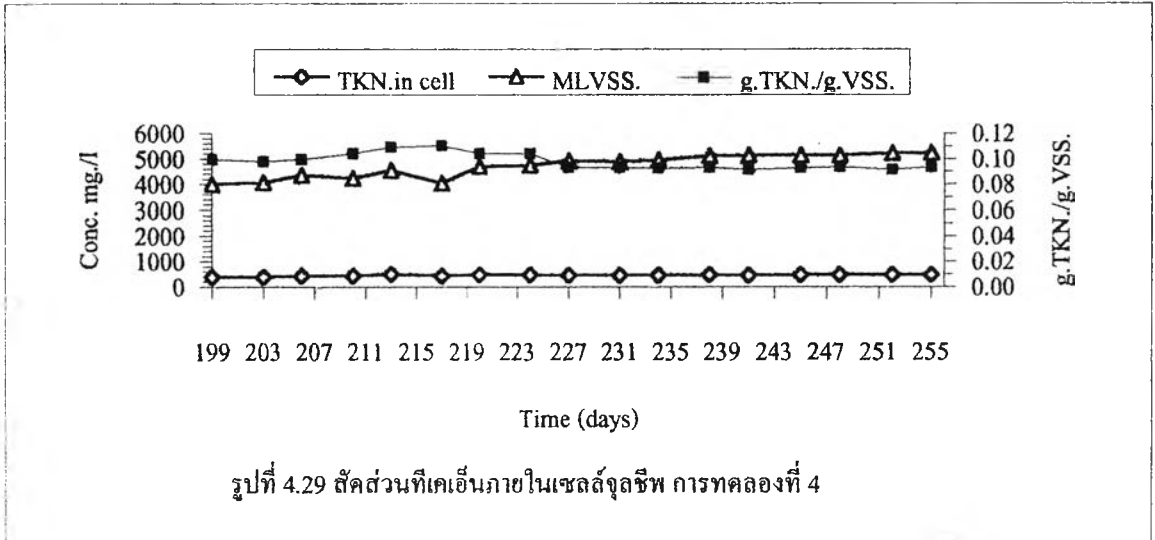
ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน : รูปที่ 4.27 ก.,ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ยที่สถานะแอโรบิกและแอนน็อกซิก ซึ่งมีค่าที่เคเอ็นในน้ำออก ค่าสุดและสะสมสูงสุด ตามลำดับ น้ำเสียจริงเข้าระบบมีค่าที่เคเอ็นในช่วง 51.5-100.4 และ 48-72 มก./ล. ค่าเฉลี่ย 83.4 58.4 มก./ล. ภาวะบรรทุทุกที่เคเอ็น 0.055-0.107 และ 0.077-0.115 kg.TKN./m³.d การทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

จากผลการทดลองที่ 3 และ 4 พบว่า เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันประสิทธิภาพสูง 95.3-97.4 และ 93.3-97.0 % ที่เคเอ็นเฉลี่ยในน้ำออกแสดงในกราฟ มีค่าในช่วง 1.5-4.0 และ 2.5-4.6 มก./ล. คำนวนจากค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสถานะเฉลี่ย 2.9 และ 3.4 มก./ล. และจากรูปที่ 4.22 ข. 4.29 แสดงสัดส่วนไนโตรเจนในเซลล์จุลชีพ (gTKN/g.VSS.) ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพไนตริ-ดีไนตริฟิเคชัน พบว่ามีค่า 0.0995 และ 0.0927 ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ปฏิกิริยาคีไนตริฟิเคชัน : รูปที่ 4.28 ก. ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกิริยาคีไนตริฟิเคชันเฉลี่ยที่สถานะแอโรบิก แอนน็อกซิก มีค่าไนเตรทในน้ำออก สูงสุด และต่ำสุด ตามลำดับ น้ำเสียเข้ามีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 4.8-5.8 , 5.8-6.4 เป็นค่าเฉลี่ย 5.33 6.13 การทดลอง 3 และ 4 ตามลำดับ ไนไตรท์ไนเตรทไนโตรเจน สะสมเพิ่มขึ้นช่วงแอโรบิก จะถูกรีดิวซ์เป็นไนโตรเจนแก๊สตกลงในช่วงแอนน็อกซิก สังเกตว่า ค่าไนโตรเจนรวมเฉลี่ยในน้ำทิ้ง มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในน้ำเสียเข้า







จากผลการทดลอง 3 และ 4 พบว่า เกิดปฏิกิริยาคีโนครีฟเคชั่นประสิทธิภาพสูง 86.7-94.0 และ 90.2-94.7 % ค่าไนโตรเจนรวมในเตรทเฉลี่ยในน้ำออก มีค่าในช่วง 3.4-12.4 และ 2.7-6.4 มก./ล. คำนวณจากค่าไนโตรเจนในเตรท เฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก คิดเป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสถานะเฉลี่ย 8.1 และ 4.5 มก./ล. ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม 84-92 และ 84.7-90.2% โดยมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออก 7.7-15.2 และ 5.2-10.7 มก./ล. คิดเป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสถานะเฉลี่ย 11.1 และ 7.9 มก./ล. ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

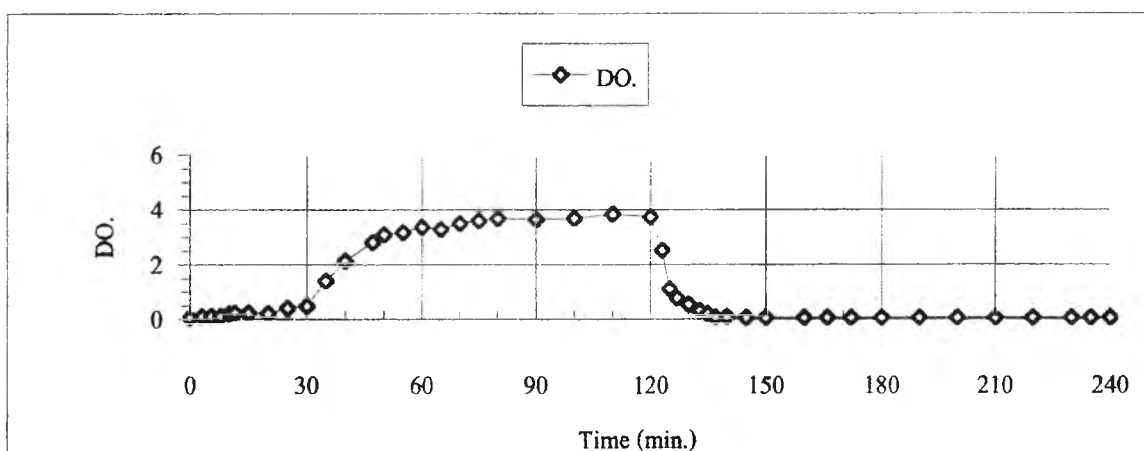
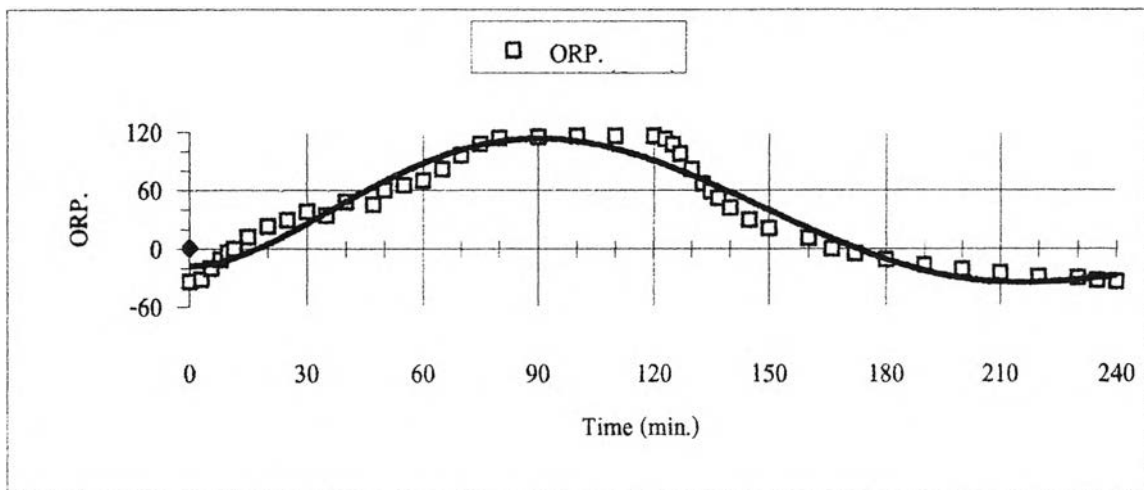
อัตราส่วนซีโอดีต่อ ไนโตรเจนแก๊ส : แสดงดังรูปที่ 4.30 ก. ข. พบว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียแต่ละการทดลองค่อนข้างคงที่เช่นกัน ผลการคำนวณอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส มีค่าในช่วง 5.16-5.80 และ 6.3-7.2 เป็นค่าเฉลี่ย 5.65 และ 6.70 โดยมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาคีโนครีฟเคชั่นเฉลี่ย 90.7 และ 92.7 % ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนทั้งสองจะมีค่าคงตัวสัมพันธ์ไปตามกัน

ผลวิเคราะห์การแปรเปลี่ยน ค่าดีโอ-โออาร์พี และความเข้มข้นที่เคเอ็น-ไนเตรทในน้ำทิ้ง
ครบรอบการทำงาน (Effluent Profile) : แสดงดังรูปที่ 4.26 4.31 (ก. ข.) การทดลอง 3 และ 4 ตามลำดับ

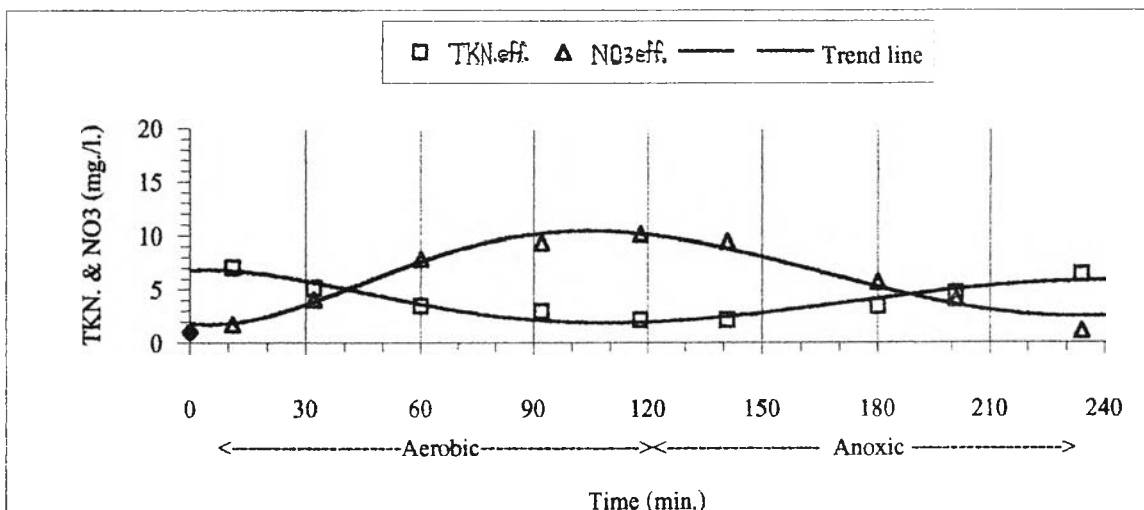
การทดลองที่ 3 : ผลการทดลองต่างๆดังเช่นที่กล่าวในหัวข้อ 4.5.6

การทดลองที่ 4 : ค่าที่เคเอ็น ซีโอดีในน้ำเสียเข้า 70 400 มก./ล. ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 120 นาที รอบการทำงาน 240 นาที ผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.11 รอบแอโรบิกเครื่องเติมอากาศใช้เวลา 30 นาที เพิ่มดีโอในระบบให้มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. โออาร์พี 38 mv. และสมมูลที่กว่า 3.7 มก./ล. 116 mv. โดยค่าที่เคเอ็นลดลงจาก 7.04 เป็น 2.14 มก./ล. และ ไนเตรทเพิ่มจาก 1.12 เป็น 11.1 มก./ล. ที่เวลา 11 และ 118 นาที ตามลำดับ รอบแอนน็อกซิกระบบใช้เวลา 17 นาที ลดีโอในระบบให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ที่โออาร์พี 52 mv. และสมมูลที่ 0.06 มก./ล. -33 mv. โดยค่าที่เคเอ็นเพิ่มขึ้นจาก 2.13 มาเป็น 6.40 มก./ล. และค่าไนเตรทลดลงจาก 9.4 มาเป็น 1.1 มก./ล. ที่เวลา 141 และ 234 นาที ตามลำดับ เป็นประสิทธิภาพไนครีและคีโนครีฟเคชั่นเฉลี่ย อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส 93.3 90.6 และ 6.50 ตามลำดับ

ค่าไนโตรเจนที่มีค่าสม่ำเสมอตลอดช่วงแอโรบิก แต่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยช่วงต้น และปรับลดลงมาในระดับเดิมในช่วงปลายแอนน็อกซิก มีค่าเฉลี่ยตลอดรอบการทำงาน 0.028 มก./ล. และค่าซีโอดีมีความสม่ำเสมอตลอดรอบการทำงาน โดยมีค่าเฉลี่ย 13.1 มก./ล.



รูปที่ 4.31 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า ไออาร์พี และออกซิเจนละลาย ครอบรอบการทำงาน การทดลองที่ 4 รอบเวลา 120 นาที เวลาพักเก็บ 16 ชม.



รูปที่ 4.31 ข. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า ทีเคเอ็น และไนเตรท ครอบรอบการทำงาน การทดลองที่ 4 รอบเวลา 120 นาที เวลาพักเก็บ 16 ชม.

ตารางที่ 5.11 ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 4 (มก./ล.)

| นาที่ -> | 0 | 11 | 32 | 60 | 92 | 118 | 141 | 180 | 201 | 234 |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TKN. | - | 7.0 | 5.1 | 3.4 | 2.9 | 2.1 | 2.1 | 3.4 | 4.6 | 6.40 |
| NO ₃ | - | 1.1 | 4.0 | 7.9 | 9.3 | 11.1 | 9.4 | 5.7 | 4.1 | 1.1 |
| NO ₂ | - | 0.027 | 0.031 | 0.029 | 0.015 | 0.013 | 0.048 | 0.034 | 0.032 | 0.022 |
| COD. | - | 13.7 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 13.7 | 16.3 | 16.3 | 13.7 | 13.7 |

จากผลการทดลองที่ 3 และ 4 ที่สถานะคงตัวดังกล่าว ผลของค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ ส่งผลต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจนของระบบดังนี้

ค่าเวลากักเก็บ 24 ชม. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 96.6 % สูงกว่าที่เวลากักเก็บ 16 ชม. คือ 94.4 % เล็กน้อย เนื่องจาก อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น คือ 5.3 เป็น 6.2 ทำให้จุลชีพไนตริไฟอิงค์ มีสัดส่วนน้อยลง ประกอบกับอัตราการไหลน้ำเสียเข้าระบบที่เพิ่ม แต่ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสียดำกว่า คือ 87.1 และ 62.6 มก./ล. ค่าภาระบรรทุกทีเคเอ็นเฉลี่ยมีค่า 0.093 และ 0.10 kg.TKN./m³.d. ค่าทีเคเอ็นจะสะสมในช่วงแอนน็อกซิกได้เพิ่มขึ้น ผลต่างค่าทีเคเอ็น ค่าสุทธอบแอโรบิก-สูงสุดช่วงแอนน็อกซิก ในน้ำออกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ 1.25-4.62 เป็น 1.43-5.43 มก./ล. และค่าเฉลี่ยสูงขึ้น คือ 2.94 เป็น 3.43 มก./ล. ที่ค่าเวลากักเก็บ 24 และ 16 ชม. ตามลำดับ

เป้าหมายของการทดลองที่ 3 และ 4 เพื่อสังเกตถึงผลของการลดค่าเวลากักเก็บต่อการกำจัดไนโตรเจน แต่น้ำเสียจริงไม่อาจควบคุมอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น และค่าทีเคเอ็นเข้าให้คงที่ได้ในแต่ละวันทำการทดลอง การสรุปผลของประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจึงต้องกระทำโดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีเพื่อหาเหตุผลสนับสนุน ดังนี้

ค่าเวลากักเก็บ 16 ชม. ระบบมีประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชัน การกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ย 92.7 87.6 % สูงกว่าที่ 24 ชม.คือ 90.7 87.6 % โดยมีอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส 6.7 5.7 ลงตัวสัมพันธ์ไปตามกันกับ อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นน้ำเสีย 6.2 5.3 ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า การลดค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพจะปรับเพิ่ม อัตราปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะมีค่าคงตัว ซึ่งจะไม่กระทบต่อประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันโดยตรง แต่ภาระบรรทุกทีเคเอ็นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ ผลต่างค่าไนเตรทสะสม ค่าสุดในช่วงแอนน็อกซิก-สูงสุดช่วงแอโรบิกมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยไนเตรทน้ำออก ประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแปลง แต่จะมีค่าเป็นเช่นไรขึ้นอยู่กับ ค่าทีเคเอ็น และอัตราไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ดังเช่น

การทดลองที่ 4 มีอัตราไหลสูงขึ้น แต่ค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสียต่ำกว่าการทดลองที่ 3 ภาวะบรรทุกที่เคเอ็นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าในเครทที่สะสมเพิ่มจากการถูกจำกัดปฏิกิริยาดีในตรีพีเคชั่นช่วงแอโรบิก มีผลต่างอยู่ในระดับเดียวกัน คือ 0.9-8.0 และ 4.3-11.9 มก./ล. แต่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า คือ 4.5 และ 8.1 มก./ล. ที่สภาวะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่เคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสียลดลง ทำให้อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นสูงขึ้น คือ 6.2 และ 5.3 มากพอทำให้ค่าในเครทในน้ำออกช่วงท้ายแอนนออกซิดต่ำกว่า 1 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยลดลง ระบบจึงมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีในตรีพีเคชั่นเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย คือ 92.7 และ 90.7 % ตามลำดับดังกล่าว

จากการสังเกตข้อมูลย่อยช่วงสถานะคงตัวการทดลองที่ 4 วันที่ 252 และการทดลองที่ 3 วันที่ 171 อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสียมีค่า 5.8 เท่ากัน โดยมีภาวะบรรทุกที่เคเอ็น 0.12 และ 0.09 kg.TKN/m³.d. ตามลำดับ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพดีในตรีพีเคชั่นเฉลี่ย 92.3 ค่ากว่า 94.0 % เนื่องจากภาวะบรรทุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าผลต่างในเครทสะสมปรับเพิ่ม 1.0-9.4 และ 1.4-8.4 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเล็กน้อย 5.2 และ 4.9 ที่เวลากัก 16 และ 24 ชม. ตามลำดับ

สังเกตอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 5.8 ค่าในเครทช่วงท้ายแอนนออกซิดมีค่าต่ำ 1.0 มก./ล. การมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นถึง 6.3-6.5 ในเครทจึงสามารถลดลงได้ค่า 0.2-0.6 มก./ล. ค่าเฉลี่ยในน้ำออกจึงลดลงได้เพียงเล็กน้อย ฉะนั้นที่สภาวะดังกล่าว ยิ่งภาวะบรรทุกที่เคเอ็นสูง ผลต่างค่าในเครทสะสมจะดึงค่าเฉลี่ยให้มีค่าสูงขึ้นได้โดยง่าย ทำให้ผลการทดลอง 4 เสมือนมีประสิทธิภาพดีในตรีพีเคชั่นและการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยไม่ต่างจากการทดลอง 3 ทั้งที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นที่สูงกว่า

ผลวิเคราะห์ครบรอบเวลาการทดลองที่ 4 และ 3 พบว่า ความเข้มข้นที่เคเอ็นและซีโอดีในน้ำเสีย 69.6 400 มก./ล. และ 82.3 423 มก./ล. อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 5.7 5.2 ที่เวลากักเก็บ 16 และ 24 ชม. ตามลำดับ ระบบจะมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาในตรีพีเคชั่น 93.3 96.5 % ดีในตรีพีเคชั่น 90.6 90.0 % อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส 6.30 5.64 ค่าในโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในน้ำออก 6.13 7.9 มก./ล. ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน 85.0 86.9% ตามลำดับ

การลดค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ เป็นการเพิ่มภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และที่เคเอ็นในแกระบบ ซึ่งไม่ส่งผลต่ออัตราปฏิกิริยา แต่ประสิทธิภาพในตรีพีเคชั่น และดีในตรีพีเคชั่นเฉลี่ยจะมีค่าต่ำลงจากการสะสมเพิ่มของที่เคเอ็น และในเครท ในช่วงแอนนออกซิด และแอโรบิก ตามลำดับที่อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นในน้ำเสีย และรอบเวลาการเติมอากาศเท่ากัน ซึ่งอาจยอมได้ถ้าค่าที่เคเอ็นในโครท์ ในเครทมีค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยในน้ำออกไม่เกินมาตรฐานเมื่อน้ำกลับ ไปใช้โดยตรง และมีบ่อพักน้ำ ตามลำดับ

4.5.8 ผลของความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียเข้า ต่อการกำจัดไนโตรเจน (การทดลองที่ 4 และ 5)

ทั้งสองการทดลอง ระบบทำงานที่ค่าเวลากักเก็บ 16 ชม. มีอัตราการไหลน้ำเสียผ่านระบบ และปั๊มคูด 10.6 ลิตร/ชม. 0.36 ลิตร/นาที่ ตามลำดับ ปั๊มทำงาน 10 นาที่ หยุด 10 นาที่ เมมเบรนจะทำงานที่ค่าฟลักซ์คงที่ 0.09 ลิตร/ตร.ม.นาที่ มีรอบเวลาการเติมอากาศแบบเป็นช่วงๆ 120 นาที่

การทดลองที่ 4 : น้ำเสียจริงผสมน้ำตาลมีค่าซีโอดีรวม 330-495 มก./ล. น้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 14.5 มก./ล. ,ระบบมีการบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.53-0.79 Kg.COD./m3.d. ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 119-256

การทดลองที่ 5 : น้ำเสียจริง (งดการผสมน้ำตาล) มีค่าซีโอดีรวม 80.3-238 มก./ล. น้ำทิ้งออกมีค่าเฉลี่ย 15.8 มก./ล. ระบบมีการบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 0.13-0.38 Kg.COD./m3.d. ระยะเวลาการทดลองอยู่ในช่วงวันที่ 268-348

ผลของความเข้มข้นซีโอดีจากน้ำเสียจริงผสมน้ำตาล และน้ำเสียจริงของอาคารสูง ต่อการกำจัดไนโตรเจน แสดงผลเปรียบเทียบดังตารางที่ 4.8 ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว ตั้งแต่วันที่ 227 และ 329 มีประสิทธิภาพกำจัดไนโตรเจน ความเข้มข้นสัลไฟด์ซัลไฟ และอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊สสม่ำเสมอคงตัว แสดงดังรูปที่ 4.32-4.35 ก. ข. การทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 4 และ 5 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว

| EXP. | Spec. point. | COD. mg./l | MLSS mg./l | VSS. mg./l | TKN. mg./l. | NO2 mg./l. | NO3 mg./l. | % Nitri. | % Denitri. | % TN. | COD./N ₂ gas |
|-------------------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|----------|------------|-------|-------------------------|
| 4 sugar add | Inf. | 387 | 87.9 | | 62.6 | 0.007 | 1.5 | | | | |
| | Rec. | - | 5,789 | 5,165 | 482 | - | - | 94.5 | 92.7 | 87.6 | 6.70 |
| | E.aero | 13.0 | | | 1.4 | 0.023 | 8.0 | | | | |
| | E.anox | 16.1 | | | 5.4 | 0.028 | 0.9 | | | | |
| | E.avg. | 14.5 | | | 3.4 | 0.026 | 4.5 | | | | |
| 5 no sugar add | Inf. | 129 | 91.4 | | 61.0 | 0.01 | 0.9 | | | | |
| | Rec. | - | 2,570 | 2,349 | 234 | - | - | 96.6 | 41.1 | 40.2 | 4.24 |
| | E.aero | 15.5 | | | 0.9 | 0.008 | 39.9 | | | | |
| | E.anox | 16.1 | | | 4.1 | 0.085 | 32.3 | | | | |
| | E.avg. | 15.8 | | | 2.5 | 0.047 | 36.1 | | | | |

ปฏิกริยาไนตริฟิเคชัน : รูปที่ 4.32 ก. ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ยที่สภาวะแอโรบิกและแอนน็อกซิก มีค่าทีเคเอ็นในน้ำออกต่ำสุดและสะสมสูงสุด ตามลำดับ น้ำเสียจริงเข้าระบบมีค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 48-72 และ 34-80 มก./ล. ค่าเฉลี่ย 58.4 และ 66.4 มก./ล. ภาวะบรรทุททีเคเอ็น 0.077-0.115 และ 0.054-0.128 kg.TKN./m³.d การทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

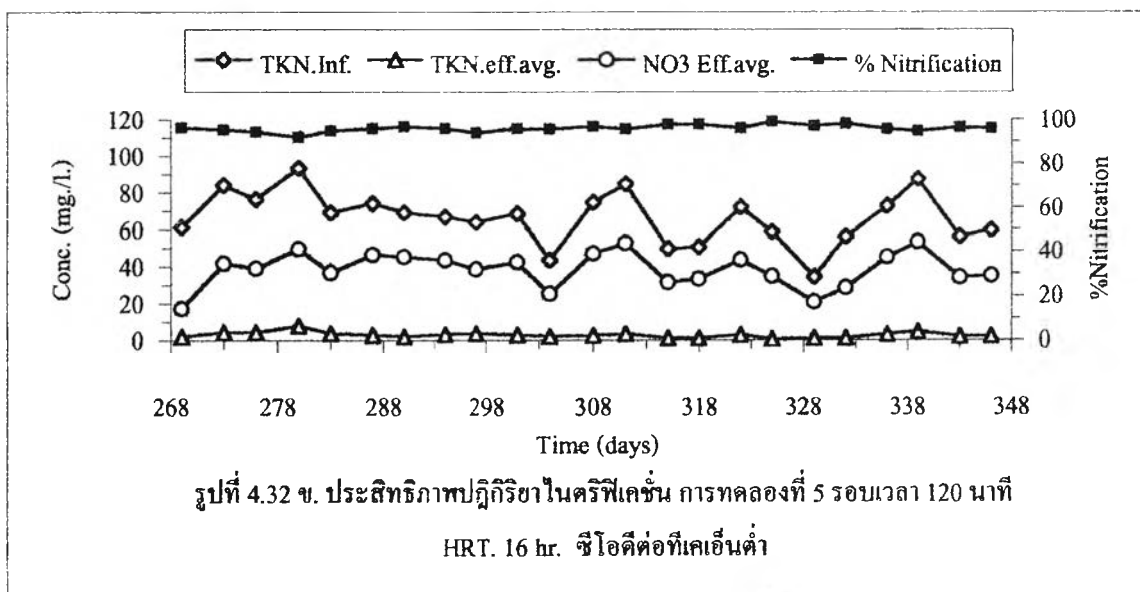
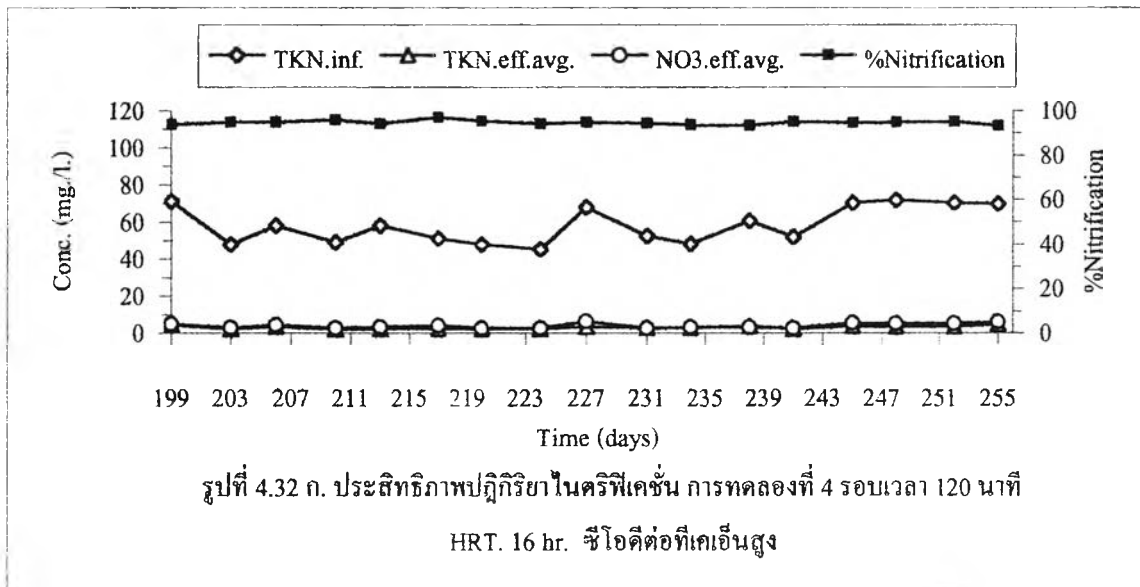
จากผลการทดลองที่ 4 และ 5 พบว่า เกิดปฏิกริยาไนตริฟิเคชันประสิทธิภาพสูง 93.3-97.0 และ 94.7-99.0% ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยในน้ำออกแสดงในกราฟ มีค่าช่วง 2.5-4.6 และ 0.7-4.7มก./ล. คำนวนจากค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 3.4 และ 2.2 มก./ล. และจากรูปที่ 4.29 ,4.34 แสดงสัดส่วนไนโตรเจนในเซลล์จุลชีพ (gTKN/g.VSS.) ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพไนตริและดีไนตริฟิเคชัน พบว่ามีค่า 0.0927 และ 0.0986 ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

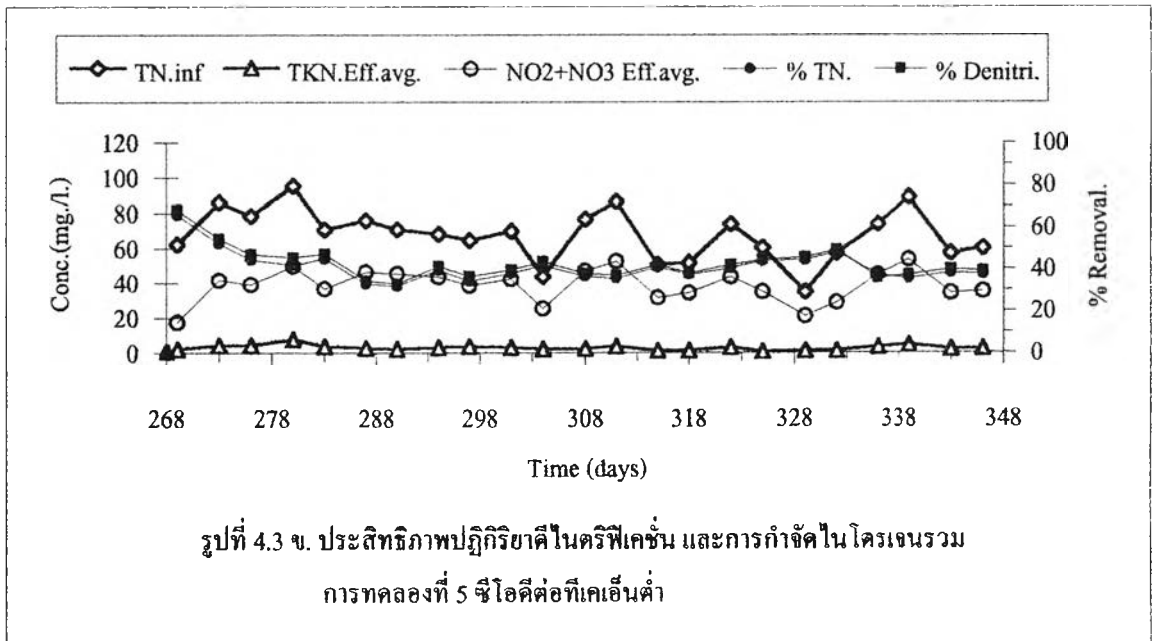
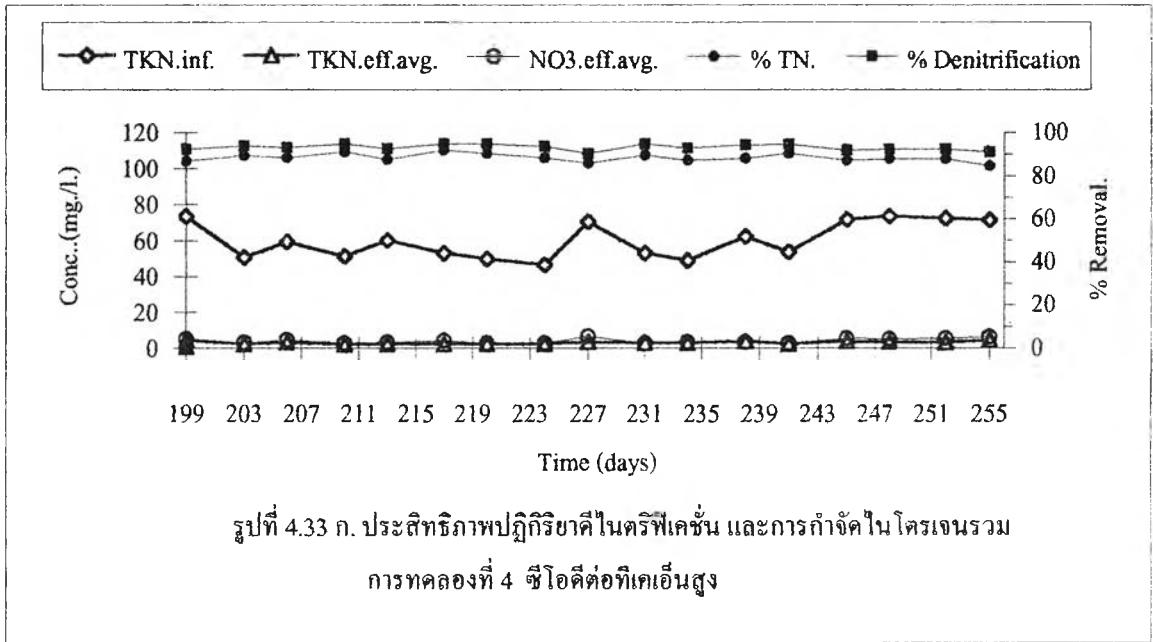
ปฏิกริยาคีไนตริฟิเคชัน : รูปที่ 4.33 ก. ข. แสดงประสิทธิภาพปฏิกริยาคีไนตริฟิเคชันเฉลี่ยที่สภาวะแอโรบิก แอนน็อกซิก ซึ่งมีค่าไนเตรทในน้ำออก สูงสุด ต่ำสุด ตามลำดับ น้ำเสียเข้ามีอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 5.8-6.4 และ 1.83-2.89 ค่าเฉลี่ย 6.13 2.11 การทดลอง 4 และ 5 ตามลำดับ ไนเตรทไนโตรเจนที่สะสมเพิ่มขึ้นช่วงแอโรบิก จะถูกรีดิวซ์เป็นไนโตรเจนแก๊สตกลงในช่วงแอนน็อกซิกสังเกตว่า ค่าไนโตรเจนรวมเฉลี่ยในน้ำทิ้ง มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับในน้ำเสียเข้า

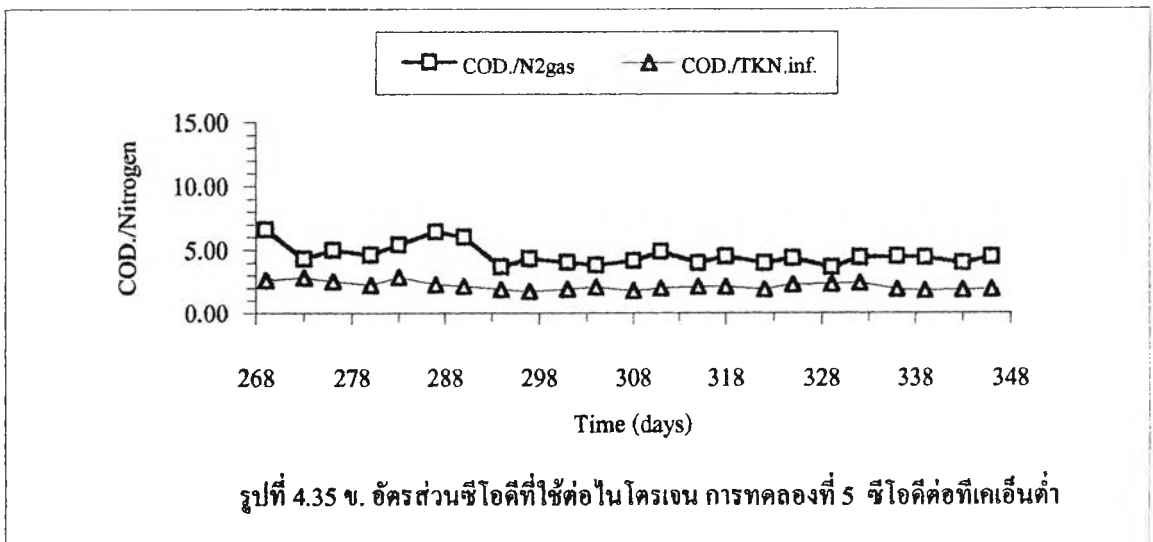
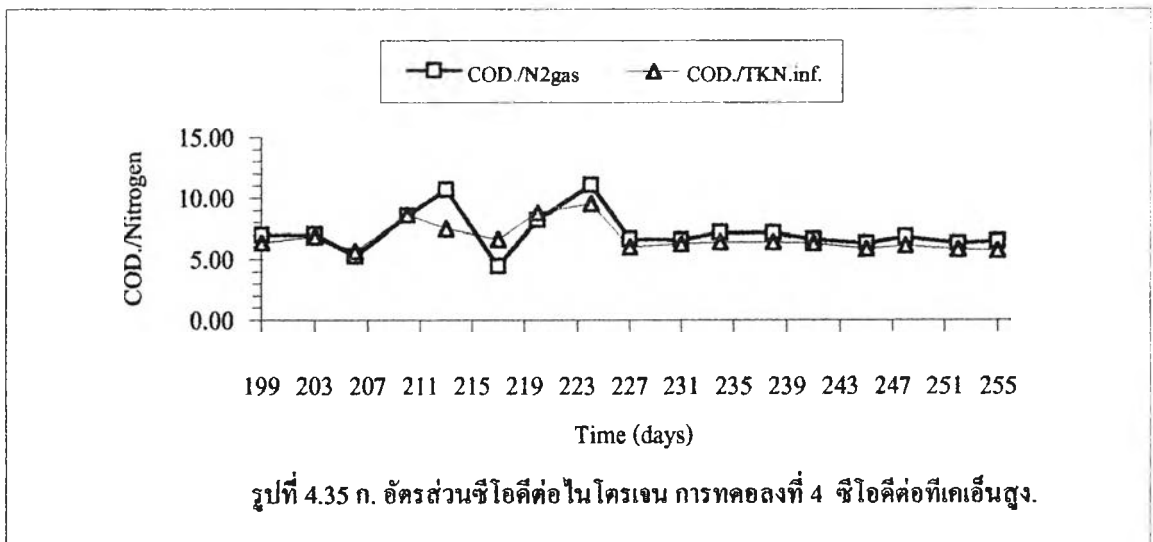
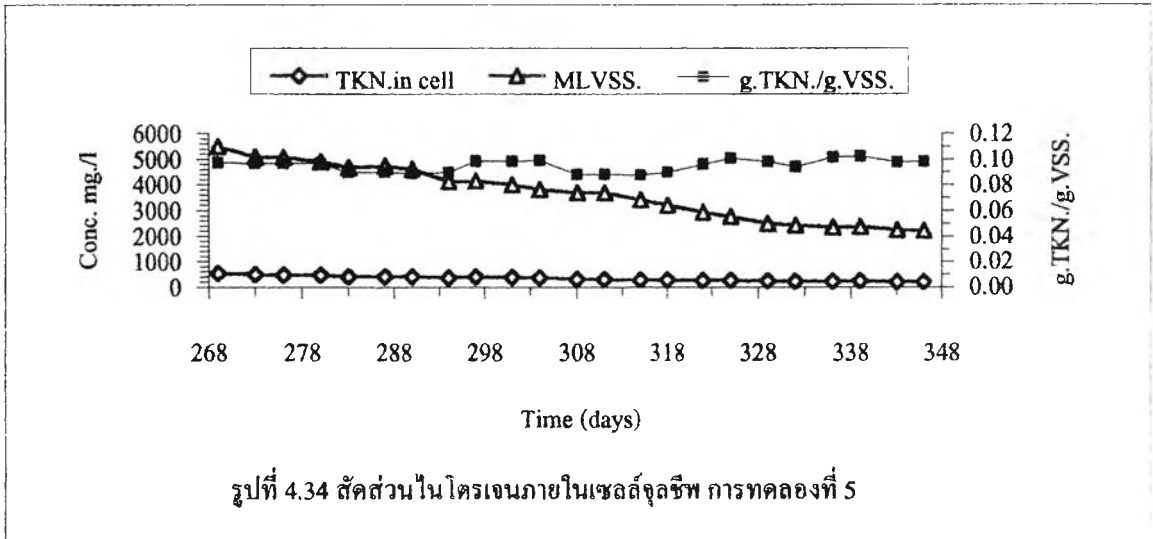
จากผลการทดลอง 4 และ 5 พบว่า เกิดปฏิกริยาคีไนตริฟิเคชันประสิทธิภาพ 90.2-94.7 และ 39-49 % ค่าไนเตรทรวมไนเตรทเฉลี่ยในน้ำออก มีค่าในช่วง 2.7-6.4 และ 21-53 มก./ล. คำนวนจากค่าไนเตรทไนเตรทเฉลี่ยระหว่างช่วงแอโรบิก-แอนน็อกซิก เป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 4.5 และ 36.1 มก./ล. ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด 84.7-90.2 และ 37.5-48.2 % โดยมีค่าเฉลี่ยในน้ำออก 5.2-10.7 และ 22-58 มก./ล. คิดเป็นค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 7.9 และ 38.6 มก./ล. ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

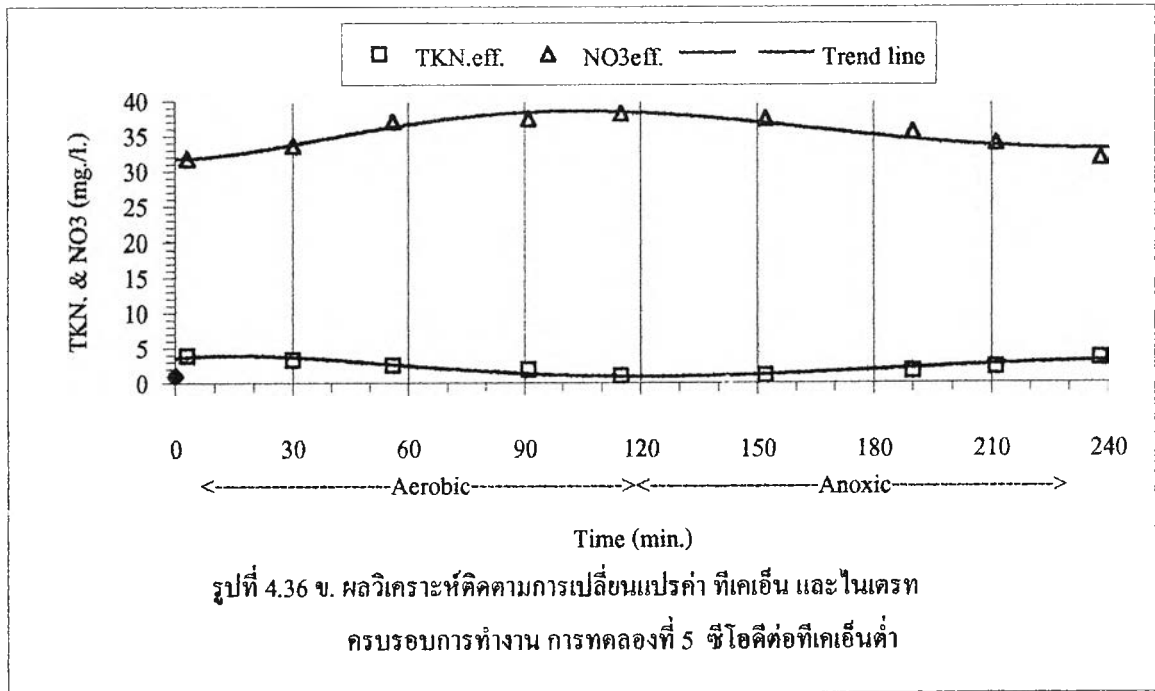
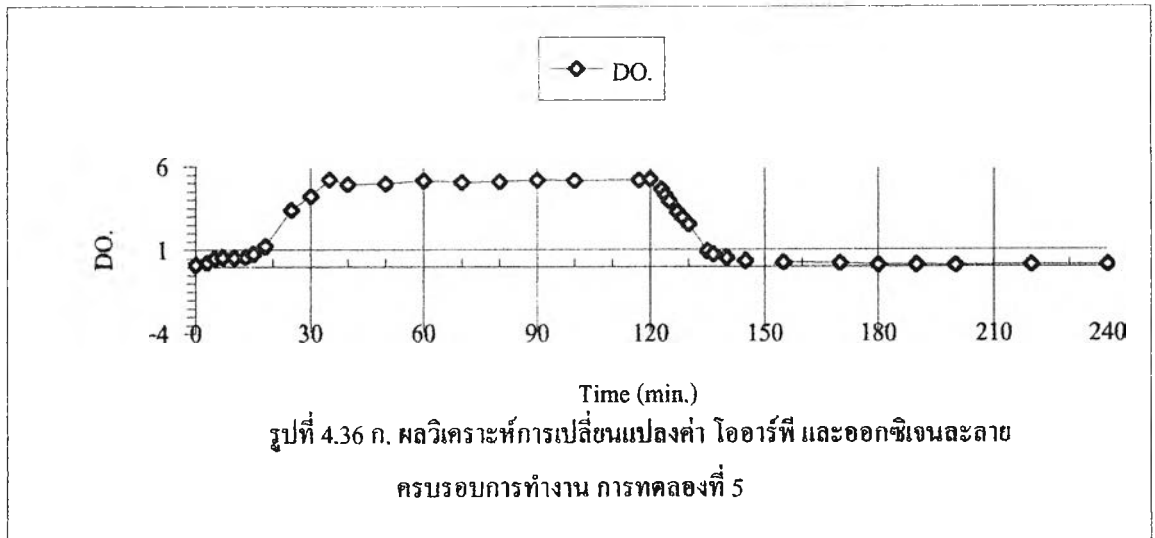
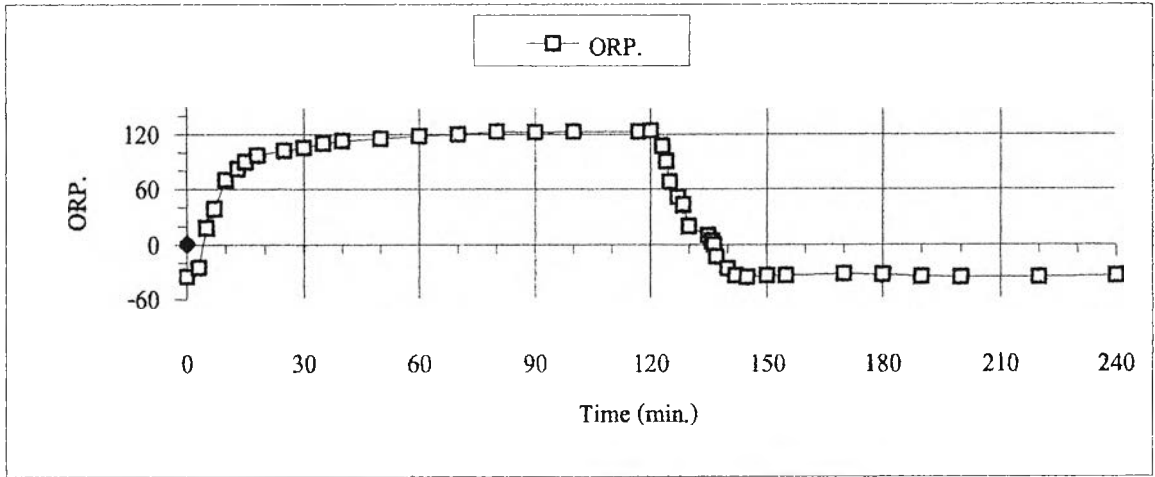
อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส : รูปที่ 4.35 ก. ข. พบว่า อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสียแต่ละการทดลองค่อนข้างคงที่เช่นกัน อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส มีค่าอยู่ในช่วง 6.3-7.2 และ 3.7-4.5 เป็นค่าเฉลี่ย 6.70 4.24 มีประสิทธิภาพปฏิกริยาคีไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 92.7 41.1 % ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ระบบมีอัตราปฏิกริยาไนตริและดีไนตริฟิเคชันคงตัว อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส และ ซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย จะมีค่าคงตัวสัมพันธ์ไปตามกัน

ผลวิเคราะห์การแปรเปลี่ยน ค่าดีโอ-โออาร์ที และ ความเข้มข้นทีเคเอ็น-ไนเตรทในน้ำทิ้ง
ครบรอบการทำงาน (Effluent Profile) : แสดงดังรูปที่ 4.31 4.36 (ก. ข.) การทดลอง 4 และ 5 ตามลำดับ









การทดลองที่ 4 : ผลการทดลองต่างๆดังเช่นที่กล่าวในหัวข้อ 4.5.7

การทดลองที่ 5 : ค่าทีเคเอ็น ซีโอดีในน้ำเสียเข้า 60 113 มก./ล.ระบบทำงานที่รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ 120 นาที เวลาพักเก็บ 16 ชม. ผลวิเคราะห์น้ำออกแสดงดังตารางที่ 4.13 รอบแอโรบิคเครื่องเติมอากาศใช้เวลา 17 นาที เพิ่มดีไอในระบบให้มีค่ามากกว่า 1 มก./ล. โออาร์พี 80 mv. และสมมูลที่กว่า 5.0 มก./ล. 123 mv. โดยค่าทีเคเอ็นลดลงจาก 7.0 เป็น 2.10 มก./ล และค่าไนเตรทเพิ่มจาก 31.8 เป็น 38.2 มก./ล ที่เวลา 3 และ 115 นาที ตามลำดับ รอบแอนนออกซิกระบบใช้เวลา 15 นาที ลดดีไอในระบบให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ที่โออาร์พี 20 mv. และสมมูลที่ 0.1 มก./ล 33 mv. โดยค่าทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นจาก 2.1 มาเป็น 6.40 มก./ล และ ค่าไนเตรทลดลงจาก 37.5 มาเป็น 31.9 มก./ล ที่เวลา 152 และ 238 นาที ตามลำดับ เป็นประสิทธิภาพไนตริและดีไนตริฟิเคชันเฉลี่ย อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส เท่ากับ 96.0 39.1 และ 4.47 ตามลำดับ

ค่าไนโตรที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงแอโรบิค แต่ปรับเพิ่มขึ้นและมีค่าสม่ำเสมอตลอดช่วงแอนนออกซิค มีสัดส่วนที่ชัดเจนขึ้นแต่มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจนทั้งหมด มีค่าเฉลี่ยตลอดรอบการทำงาน 0.054 มก./ล. และค่าซีโอดีมีความสม่ำเสมอตลอดรอบการทำงาน โดยมีค่าเฉลี่ย 13.9 มก./ล.

ตารางที่ 4.13 ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 5 (มก./ล.)

| นาที -> | 0 | 3 | 30 | 56 | 91 | 115 | 152 | 190 | 211 | 238 |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TKN. | - | 7.0 | 5.1 | 3.4 | 2.9 | 2.1 | 2.1 | 3.4 | 4.6 | 6.40 |
| NO ₃ | - | 31.8 | 33.7 | 37.1 | 37.4 | 38.2 | 37.5 | 35.6 | 34.0 | 31.9 |
| NO ₂ | - | 0.073 | 0.049 | 0.003 | 0.009 | 0.002 | 0.068 | 0.106 | 0.096 | 0.080 |
| COD. | - | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 12.5 |

จากผลการทดลองที่ 4 และ 5 ที่สถานะคงตัวดังกล่าว ความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียเข้าสู่ผลต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจนของระบบดังนี้

อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย 1.8-2.4 การทดลองที่ 5 ให้ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 96.6 % สูงกว่าที่อัตราส่วนในน้ำเสียผสมน้ำตาล 5.8-6.4 การทดลองที่ 4 คือ 94.4 % เล็กน้อย เนื่องจากอัตราส่วนเฉลี่ยที่ลดลง คือ 2.04 จาก 6.13 จุลชีพไนตริไฟอิงค์มีสัดส่วนที่มากขึ้น ในขณะที่ค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยในน้ำเสีย คือ 61.0 และ 62.6 มก./ล. ทำให้ค่าการะบรทุกทีเคเอ็นเฉลี่ยมีค่า 0.097 และ 0.099 kg.TKN./m3.d. ค่าทีเคเอ็นสะสมเพิ่มในช่วงแอนนออกซิค มีผลต่างค่าต่ำสุดรอบแอโรบิค-สูงสุด

รอบแอนนอซิคในน้ำทิ้งต่างกันเล็กน้อย คือ 0.9-4.1 และ 1.4-5.4 มก./ล. และมีค่าเฉลี่ยต่ำลง คือ 2.5 จาก 3.4 มก./ล. ตามลำดับ

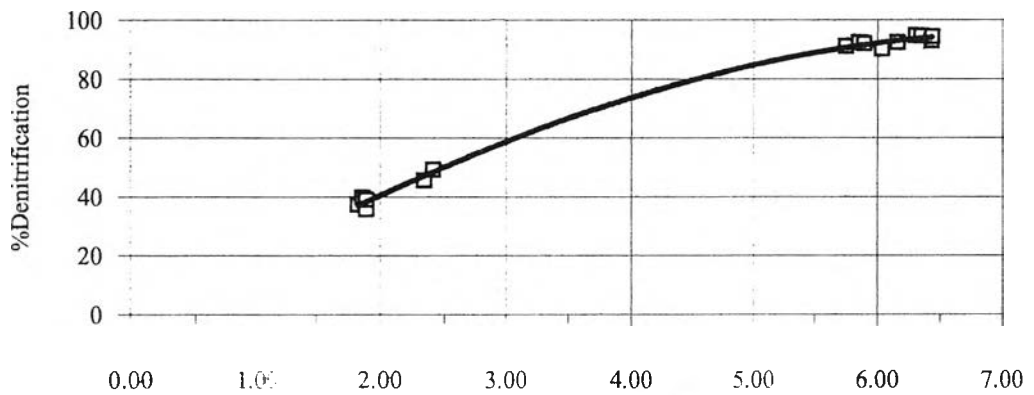
ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสียสูง การทดลองที่ 4 ระบบมีประสิทธิภาพดีในครีฟิเคชั่น กำจัดไนโตรเจนเฉลี่ย 92.7 87.6 % สูงกว่าที่อัตราส่วนต่ำ การทดลองที่ 5 คือ 41.1 40.2 % อย่างชัดเจน ผลคำนวณค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส 4.2 และ 6.7 คงตัวสัมพันธ์ไปตามกันกับอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นน้ำเสีย 2.1 และ 6.2 ตามลำดับ สังเกตได้ว่า ค่าอัตราส่วนทั้งสองที่สถานะคงตัวจะมีค่าแตกต่างกัน มากแปรผกผันกับประสิทธิภาพดีในครีฟิเคชั่น

ผลวิเคราะห์ครบรอบเวลาการทดลองที่ 5 และ 4 ที่เวลากักเก็บ 16 ชม. รอบเวลาเดิมอากาศ 120 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้นทีเคเอ็น ซีโอดีในน้ำเสีย 70.0 400 และ 60.0 113 มก./ล. อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 5.7 1.9 ระบบจะมีประสิทธิภาพปฏิกิริยาในครีฟิเคชั่น 96.0 93.3 % ดีในครีฟิเคชั่น 39.1 90.6 % อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนแก๊ส 4.47 6.30 ไนโตรเจนเฉลี่ยในน้ำออก 37.4 6.13 มก./ล. ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 37.5 85.0 % ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพดีในครีฟิเคชั่น และการกำจัดไนโตรเจนจะแปรผันตามกับอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย โดยประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นชัดเจน เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสียเพิ่ม มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.1 ที่ 41% จนกระทั่งถึง 5.8 ที่กว่า 92 % จากนั้นการมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพดีในครีฟิเคชั่นที่เพิ่มขึ้นน้อยลง ซึ่งมีขีดจำกัดประสิทธิภาพสูงสุดของระบบ เอสเอ็มเอฟเอ็มบีอาร์ในงานวิจัยนี้ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 6.18-6.35 ที่ 94.8 % แสดงคังรูปที่ 4.37 (อัตราส่วนที่มากเกินไปไม่ส่งผลต่อค่าซีโอดีในน้ำออก)

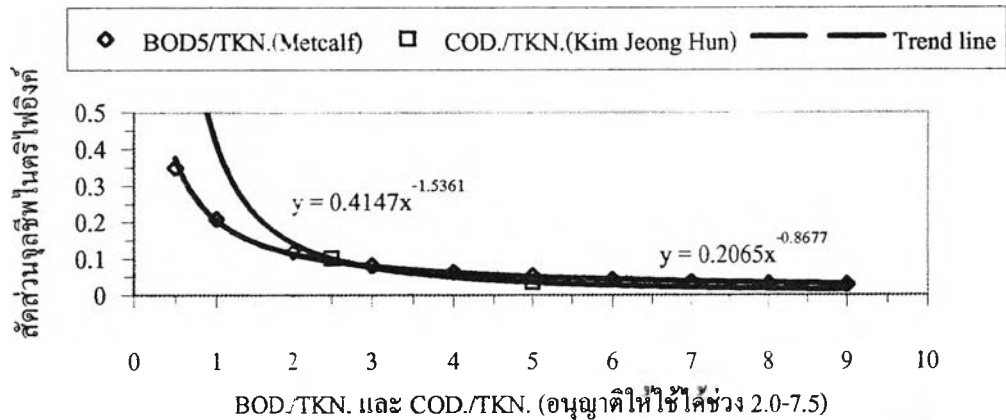
เนื่องจากไม่อาจยับยั้งค่าทีเคเอ็น ไนเตรท สะสมเพิ่มจากการถูกจำกัดปฏิกิริยาในครีฟิเคชั่น ดีในครีฟิเคชั่น ช่วงแอนนอซิค และเอโรบิคได้ ตามลำดับ พบว่ามีค่าแปรผันกับภาระบรรทุกทีเคเอ็นจากน้ำเสียเข้าระบบ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นทีเคเอ็น หรืออัตราไหลน้ำเสีย จะทำให้ค่าผลต่างการสะสมเปลี่ยนไป แต่จากผลการทดลอง ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งสองสถานะในน้ำออกที่เปลี่ยนแปลงจากภาระบรรทุกทีเคเอ็นที่เปลี่ยน ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนเพียง 1-3 % น้อยเมื่อเทียบกับผลของสารอาหารอินทรีย์ (อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น)

ในทางปฏิบัติ ค่าเวลากักเก็บอาจมีการออกแบบที่ต่ำกว่า 16 ชม. ซึ่งควรคำนึงถึงคุณภาพน้ำออก ค่าทีเคเอ็นและไนเตรท ที่สะสมสูงสุดไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน การมีบ่อพัก ก่อนจ่ายน้ำกลับไปใช้ อาจยอมให้ใช้ค่าเฉลี่ยได้ และการออกแบบระบบการผสมสร้างความปั่นป่วน ช่วงแอนนอซิคให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อาจให้ผลการทดลองทั้งกระบวนการเมมเบรน และการกำจัดไนโตรเจนที่ดีขึ้น



อัตราส่วนซีไอคี่ต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย

รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซีไอคี่ต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย และประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชัน สภาวะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 (รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วง 120 นาที ค่าเวลากักเก็บ 16 ชม.)



รูปที่ 4.38 แนวโน้มสัดส่วนจุลชีพไนตริฟิอิงค์ที่อัตราส่วนซีไอคี่ต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย ค่าต่างๆเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจาก "Metcalf" และผลการทดลองระบบ "MBR."

4.5.9 ลักษณะของฟล็อก และนิเวศน์จุลชีพในถังปฏิกรณ์

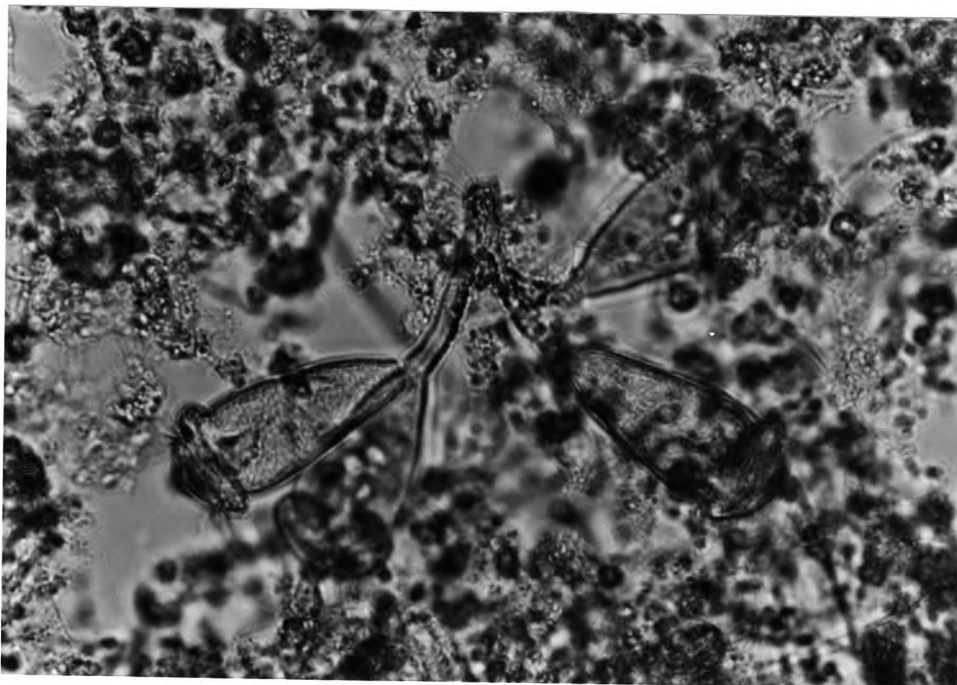
ศึกษาที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 ระบบมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.62 และ 0.21 kg.COD./m³.d ในถังปฏิกรณ์มีความเข้มข้นเอ็มแอลวีเอสเอส. 5,165 2,350 มก./ล. ตามลำดับ ภาระบรรทุกที่เคเอ็นระดับเดียวกัน 0.0997-0.097 kg.TKN/m³.d อัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 6.2 และ 2.1 (ใน ไตรเจนเกินพอ) อายุสลัดจ์ไม่จำกัด ซีโอดีในน้ำออกเป็นอิสระจากค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ค่าเฉลี่ย 14.5-15.8 มก./ล. ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด “Bright Field Microscope” กำลังขยายเลนส์วัตถุ 40 เท่า กำลังขยายรวม 400 เท่า ผลการศึกษาแสดงตัวอย่างดังรูป 4.39 ก และ ข.

การทดลองที่ 4 พบว่า แบคทีเรียรวมตัวเป็นฟล็อก แยกจากน้ำใสได้ชัดเจน โดยกลุ่มเม็ดฟล็อกกระจายตัวสม่ำเสมอ หนาแน่น มีขนาดใกล้เคียงปะปนกัน แต่เล็กกว่าขนาดโปรโตซัว สามารถสังเกตรูปร่างฟล็อกได้ชัดเจนที่กำลังขยาย และความชัดเจนก็คล้ายกัน จุลชีพชนิดเส้นใยพบน้อยมาก จากที่ระบบสามารถรักษาระดับพีเอช 6.8-7.3 ได้ด้วยตัวเอง และมีสารอาหารที่จำเป็นเช่น ไนโตรเจน มากเพียงพอ การศึกษานิเวศน์จุลชีพ พบว่า

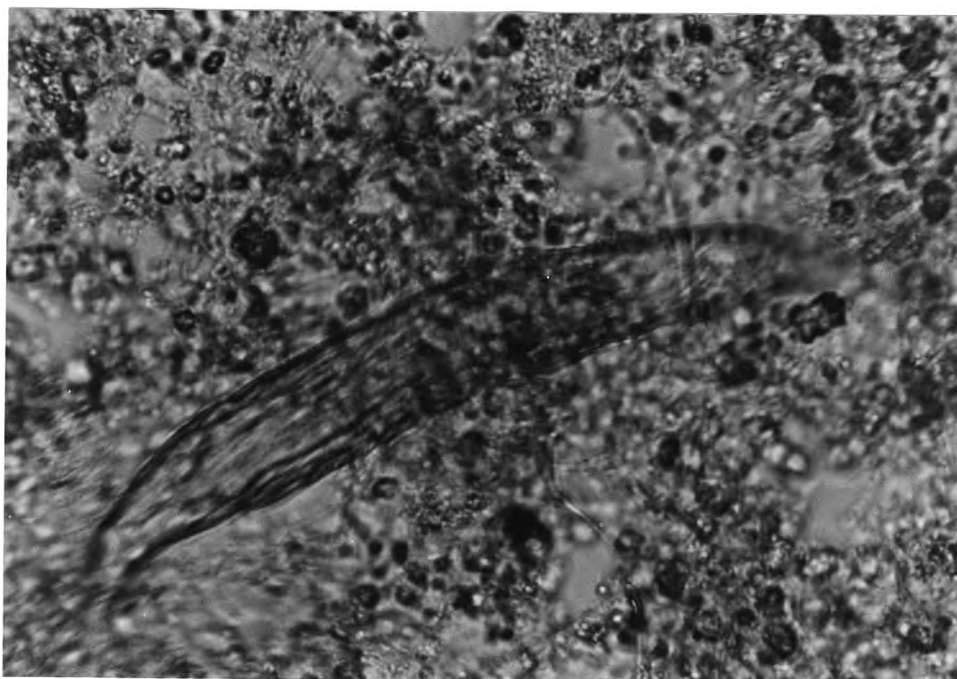
โปรโตซัว พบกลุ่มเด่นเพียงชนิดเดียว คือ “Stalked ciliate” จัดอยู่ในไฟลัม “Ciliata” หรือ “Ciliophora” มีรูปร่างคล้าย กระดิ่ง หรือดอกไม้ตูม มีก้านยึดเซลล์ให้เกาะกับกลุ่มฟล็อกแบคทีเรีย ไม่เคลื่อนที่ พันธุ์ที่พบได้แก่ “Vorticella spp.” จะอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ก้านจะยึดหัดได้ “Carchesium polypinum” แสดงดังรูป 4.38 ก. ก้านยึดหัดได้ ยึดติดรวมกันหลายเซลล์ โดยการแตกกิ่งสาขาออก “Opercularia coarctata” ก้านแตกสาขาแต่ไม่ยึดหัด และรูปร่างเซลล์เหมือนไข่

โรติเฟอร์ พบชนิด “Philodina roseola” กระจายอยู่ทั่วไป ลักษณะคล้าย หนอนตัวกลม แสดงดังรูป 4.38 ข. ขณะเคลื่อนที่ปลายหัวจะบิดเรียว เซลล์จะยึดและหัดตัว เปลี่ยนทิศทางได้รวดเร็ว เมื่อหยุดเคลื่อนที่ปลายหัวเปิดเห็นวงซีเรีย 2 วงหมุนไปมา ปลายหางมีก้านเล็กช่วยการยึดเกาะ

จากผลการศึกษา สภาวะภายในถังปฏิกรณ์มีความปั่นป่วนสูงจากการสร้างแรงเฉือนต่อผิวหน้าเมมเบรน ค่าเอ็มแอลเอสเอส.สูง 5,800 มก./ล. ฟล็อกจุลชีพหนาแน่น แต่รวมตัวขนาดไม่ใหญ่ แม้จุลชีพจะมีพลังงานต่ำจากอาหารที่มีจำกัด การไม่จำกัดอายุสลัดจ์ อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพจึงต่ำ วิเคราะห์จากการไม่พบโปรโตซัวว่ายอิสระ (Free swimming) ซึ่งใช้พลังงานมาก และตายเมื่อแบคทีเรียอิสระลดลง การพบโปรโตซัวสตอลค์ซิลิเอท ที่ใช้พลังงานต่ำ โรติเฟอร์กินฟล็อกเป็นอาหาร แสดงว่าระบบทำงานในช่วงการเจริญแบบเอ็นโดจีนัส การออกซิเดชันสมบูรณ์ ซีโอดีในน้ำออกต่ำ แบคทีเรียใช้อาหารสะสมในเซลล์ จากน้ำเสียเข้า และส่วนประกอบในเซลล์ตายที่แตกออก ในการเติบโตของจุลชีพที่ยังมีชีวิต เพื่อรักษาความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพในถังปฏิกรณ์ให้มีค่าคงตัว



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 4.39 แสดงลักษณะเมื่อดฟลอกการทดลองที่ 4 (เหมือนดังเช่นการทดลองที่ 5) กำลังขยายรวม 400 เท่า
 ก. โปรโตซัว “Stalked ciliate” ข. โรติเฟอ์ “*Philodina roseola*”

การทดลองที่ 5 พบว่า ฟลอคแบคทีเรียมีลักษณะเหมือนการทดลองที่ 4 แต่เมื่ออยู่บนแผ่นสไลด์จะกระจายตัวเบาบาง และหนาแน่นเป็นกลุ่ม สังเกตจากน้ำตัวอย่างมีความใสจางกว่า การทดลองที่ 4 เนื่องจากภาวะบรรทุกระบบสารอินทรีย์ลดลง เอ็มแอลเอสเอส.มีค่าเพียง 2,600 มก./ล. จุลชีพชนิดเส้นใยยังคงพบได้น้อยมาก และจากการศึกษานิเวศน์จุลชีพ พบว่า

โปรโตซัวไม่พบกลุ่มเด่นที่ชัดเจน โดยมีสโตลค์ซิลิเอท จำนวนน้อยลงมาก และกลับพบโรติเฟอร์ ชนิดเดียวกับการทดลองที่ 4 มากขึ้นแทน ซึ่งเป็นจริงดังที่ว่า แหล่งอาหารภายนอกขาดแคลนอย่างกระทันหัน (ภาวะบรรทุกระบบสารอินทรีย์ลดลง) อาหารภายในสะสม และส่วนที่เซลล์แตกตาย ไม่เพียงพอจะรักษาระดับความเข้มข้นสโตลค์จุลชีพเดิม จำนวนแบคทีเรียจึงลดลง คือ ระบบเข้าอยู่ในสภาวะเอ็นโดจีนัสที่ลึกขึ้น โปรโตซัวสโตลค์ซิลิเอทที่ต้องกินแบคทีเรียเป็นอาหารลดจำนวนลง และโรติเฟอร์ซึ่งกินฟลอคเพิ่มจำนวนขึ้นแทน

จากผลการศึกษาทั้งสอง ที่สภาวะการออกแบบ และควบคุมระบบเดียวกัน ระบบที่ไม่ควบคุมอายุสโตลค์ สภาพนิเวศน์ในถังปฏิกรณ์อาจเปลี่ยนแปลงไปได้ ในช่วงการเจริญแบบเอ็นโดจีนัสตามภาวะบรรทุกระบบสารอินทรีย์ที่เพิ่มลด อาหารอินทรีย์จะเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยมีโปรโตซัวสโตลค์ซิลิเอท และโรติเฟอร์ เป็นตัวช่วยในการจำกัดปริมาณแบคทีเรีย และเอ็มแอลเอสเอส.ในถังปฏิกรณ์ และเป็นตัวบ่งบอกการมีเสถียรภาพของระบบ น้ำออกมีคุณภาพดี และมีความคงตัวสูง จากสภาวะดังกล่าว อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลชีพจะมีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งๆ ซึ่งจะได้คำนวณหาต่อไป

4.5.10 การกำจัดฟิซิลโคไลฟอร์มแบคทีเรีย

วิเคราะห์โดยวิธี “MPN” กับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 1 3 และ 4 (3ครั้ง) ใช้ตัวอย่าง 3 ปริมาตร คือ 10 1 0.1 มล. ปริมาตรละ 5หลอด (เส้นท่อเมมเบรนกลางฉีกขาด 2 เส้น ระหว่างการทดลองที่ 2) ผลการทดลองพบว่า

ทุกการทดลอง การตรวจสอบขั้นสันนิษฐาน หลังการบ่มด้วย “LTB” ที่ 35°C 24 ชม. จากการสังเกต ไม่พบฟองแก๊สในหลอด “เคอแฮม” ในทุกปริมาตรตัวอย่างทั้ง 15 หลอด และทำการบ่มต่ออีก 24 ชม.ครบ 48 ชม. ผลยังคงเป็นเช่นเดิม (Gas-negative test) จึงสรุปได้ว่า

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ซึ่งใช้เมมเบรนขนาดรู 0.1 μm . สามารถกำจัด กักแยก ฟิซิลโคไลฟอร์ม และโคไลฟอร์มแบคทีเรีย ที่มาจากรน้ำเสียอาคาร (รวมน้ำเสียจากส้วม) ออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดได้อย่างคงตัว โดยให้ผลวิเคราะห์ในระดับที่ “ไม่สามารถตรวจพบได้” (Not Detectable)

4.5.11 จลศาสตร์สำหรับการออกแบบระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ แบบเดิมอากาศเป็นช่วงๆ เป็นระบบกำจัดไนโตรเจนเกิดพร้อมการกำจัดสารอินทรีย์ (Simultaneous Nitrogen and Organic Removal system) จากข้อมูลที่สถานะคงตัวการทดลองที่ 2-5 แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ,4.10 และ 4.12 นำมาคำนวณ ดังนี้

อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) อัตราการใช้สารอาหารจำเพาะ (Uc.) จำนวนโดยใช้สมการที่ 4.2 โดยถ้าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าสูง อาจถือว่าทั้งสองมีค่าเท่ากัน

อัตราปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Un.) จำนวน โดยใช้สมการที่ 4.14 ประมาณค่าสัดส่วนจุลชีพไนตริไฟอิงค์ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น 2-7 ด้วยรูปที่ 4.38 อัตราปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Ud.) จำนวน โดยใช้สมการที่ 4.15 และใช้สมการที่ 4.9 ทำสมมูลมวลหาค่าไนโตรเจนแก๊ส

จากผลการวัดค่าออกซิเจนละลายครบรอบการทำงาน รูปที่ 4.25 4.26 4.31 และ 4.36 (ก) นำมาประมาณหาค่าความชัน การลดลงของค่าดีโอ.ช่วงขณะเริ่มรอบแอนน็อกซิค อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ (Specific oxygen uptake rate. ,SOUR.) จำนวน โดยใช้สมการที่ 4.16

ซึ่งได้สรุปผลการคำนวณเฉลี่ยไว้ดังตารางที่ 4.14 และ มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$Un. = (TKn.i - Tkn.e) / (\tau \times VSS. \times n.f) \quad (4.14)$$

$$Ud. = (N_2gas) / (\tau \times VSS.) \quad (4.15)$$

$$SOUR. = (DO.aerobic - DO.anoxic) \times 1,440 / (Time \times VSS.) \quad (4.16)$$

- โดยที่ TKn. i, e = ความเข้มข้นทีเคเอ็นในน้ำเสียและน้ำออก (มก./ล.)
 VSS. = ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพระเหย ในถังปฏิกรณ์ (มก./ล.)
 τ . = ค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ (วัน.)
 n.f. = สัดส่วนจุลชีพไนตริไฟอิงค์ ในสลัดจ์จุลชีพรวม (Nitrifying fraction)
 N₂gas = ความเข้มข้นไนโตรเจนแก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน (มก./ล.)
 DO.aerobic = ค่าออกซิเจนละลายเมื่อครบรอบสภาวะแอโรบิก และลดลงจนเข้าสู่สภาวะ
 ,anoxic แอนน็อกซิค ตามลำดับ (มก./ล.)
 Time = ช่วงเวลาที่ค่าออกซิเจนละลายลดลงจากสภาวะแอโรบิกมายังแอนน็อกซิค (นาที)

ตารางที่ 4.14 อัตราปฏิบัติการกำจัดชีโอดี ในตรี-ดีไนโตรฟิเคชัน และการใช้ออกซิเจนของจุลชีพ

| การทดลองที่ | Uc. (day ⁻¹) | F/M (g.COD/g.VSS.d) | COD/ TKN. | Un (day ⁻¹) | Ud (day ⁻¹) | SOUR. (g.O2/g.VSS.d) |
|-------------|-----------------------------|------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | 0.074 | 0.080 | 2.7 | 0.30 | - | - |
| 2 | 0.140 | 0.146 | 7.2 | 0.99 | 0.018 | 0.117 |
| 3 | 0.120 | 0.126 | 5.3 | 0.72 | 0.021 | 0.122 |
| 4 | 0.115 | 0.120 | 6.7 | 0.72 | 0.017 | 0.125 |
| 5 | 0.077 | 0.087 | 2.1 | 0.30 | 0.016 | 0.120 |

4.6 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ กลับมาใช้เพื่อการอุปโภคสำหรับอาคารสูง

จากกิจกรรมต่างๆที่มีการใช้น้ำ และกำเนิดน้ำเสียในอาคารสูงในงานวิจัย ดังที่ได้อธิบายต้นบท อาจประมาณได้ว่าสัดส่วนความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค มีค่าสูงกว่าการบริโภค มีความเป็นไปได้รวมถึง 70% ได้แก่ น้ำชำระ โถปัสสาวะ-ส้วม ทำความสะอาดห้องน้ำ ล้างพื้นอาคาร ล้างเครื่องปรับอากาศ และการรดน้ำต้นไม้ ฯลฯ การมีระบบบำบัดน้ำเสียหลัก และระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่แบบทำงานอิสระน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ โดยจะมีการปล่อยน้ำทิ้ง และความต้องการน้ำประปาถึงระดับการบริโภค เหลือน้อยกว่า 30 %

ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์งานวิจัยนี้ มีความสามารถในการเป็นระบบบำบัดหลัก และนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในขั้นตอนเดียว รวมกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ การกำจัดสารอินทรีย์ และ ไนโตรเจน กระบวนการกรองด้วยเมมเบรน ได้แก่ กำจัดของแข็งแขวนลอย ความขุ่น การกำจัดจุลชีพก่อโรค ได้แก่ การกักแยกสไลด์จ์ชีวภาพ และฟิล์มโคไลฟอร์มแบคทีเรีย โดยถึงปฏิกรณ์เพียงถังเดียว ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย ลดภาระการทิ้งสลัดจ์ และการควบคุมระบบ จากผลการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัว น้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีคุณภาพสูง และสม่ำเสมอคงตัว แม้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารมลพิษจากน้ำเสียจริง ในช่วงกว้าง ไปตามวัน เวลา และช่วงเวลาของปี

อย่างไรก็ตามแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ มีระดับความต้องการคุณภาพน้ำแตกต่างกันไป ปัจจุบันไม่มีมาตรฐานสากลที่แน่นอน แต่ก็มีแนวคิดคล้ายคลึงกันในพื้นฐานทฤษฎี โดยมีข้อพิจารณาสำคัญ คือ ความปลอดภัยทางสาธารณสุข ความคงตัวเชื่อถือได้ในการทำงานของระบบ และ คุณภาพน้ำที่ผลิต ซึ่งควบคุมได้ทางเทคนิค แต่ความมีสุนทรีย์ภาพ ความพึงพอใจ และการยอมรับ ขึ้นอยู่กับสาธารณสุขชนผู้ใช้น้ำ ทำให้การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่มีมาตรฐานที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ของแต่ละประเทศ

4.6.1 คุณภาพของน้ำที่ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์สามารถบำบัดได้

จากผลการวิเคราะห์เก็บข้อมูลที่สถานะคงตัวในแต่ละการทดลอง ตลอดช่วง 1 ปี ได้สรุปแสดงคุณภาพของน้ำออกเฉลี่ย ซึ่งผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ไว้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 คุณภาพน้ำเฉลี่ย ที่ผ่านการบำบัด โดยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

| พารามิเตอร์ | การทดลอง ที่ 1 | การทดลอง ที่ 2 | การทดลอง ที่ 3 | การทดลอง ที่ 4 | การทดลอง ที่ 5 |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| pH | 7.25 | 7.30 | 7.23 | 7.26 | 7.27 |
| Turbidity (NTU.) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Suspended Solid (mg./l.) | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.2 | 0.1 |
| COD. (mg./l.) | 14.7 | 19.7 | 21.8 | 14.5 | 15.8 |
| TKN. (mg./l.) | 1.0 | 1.3 | 2.9 | 3.4 | 2.5 |
| Nitrite Nitrogen (mg./l.) | 0.03 | 0.19 | 0.04 | 0.03 | 0.05 |
| Nitrate Nitrogen (mg./l.) | 59.5 | 9.0 | 8.1 | 4.5 | 36.1 |
| Color (SU./ADMI.) | - | 1.02 / 29.3 | 1.17 / 30.7 | 0.86 / 27.8 | 0.9 / 27.8 |
| Fecal Coliform bacteria | N.D | - | N.D. | N.D. | - |

หมายเหตุ : (-) ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สีและฟอสฟอรัส วิเคราะห์ 1 ครั้ง ที่สถานะคงตัวแต่ละการทดลอง
การทดลองที่ 1,5 น้ำเสียจริง และการทดลองที่ 2-4 น้ำเสียจริงผสมน้ำคาล
การทดลองที่ 2-5 เป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 สภาวะ แอโรบิก และ แอนน็อกซิก

4.6.2 มาตรฐานคุณภาพ และความเหมาะสมในการใช้น้ำ

ประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น เป็นที่ยอมรับถึงประวัติ และความก้าวหน้า ในการนำ
กลับน้ำเสียมาใช้ใหม่มากที่สุด โดยมีมาตรฐานคุณภาพน้ำ (Standard) และแนวทางกำหนดคุณภาพน้ำ
(Guidelines) ได้จากผลการศึกษาของหน่วยงานรัฐ และเอกชนมากมาย ซึ่งงานวิจัยนี้จะรวบรวมนำเสนอ
บางส่วนเพื่อเปรียบเทียบภาพรวมด้านคุณภาพ กับน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์
ถึงความเหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่ ในแต่ละกิจกรรมของอาคารสูง ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4
ตารางที่ 4.16 , 4.17 ก. ข. และ 5.18-5.21 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 แนวทางการกำหนดคุณภาพน้ำขั้นต้น (Tentative Guidelines) ในการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่

| | Constituents | Unit | Flush toilet | Landscape irrigation | Amenity use |
|----------|-------------------|--------|----------------|----------------------|----------------|
| Criteria | Total Coliform | N./ml. | < 10 | N.D. | N.D. |
| | Residual chlorine | - | maintained | > 0.4 | - |
| Target | Visual appeal | - | not unpleasant | not unpleasant | not unpleasant |
| | Turbidity | NTU. | - | - | < 10 |
| | BOD. | mg./l. | - | - | < 10 |
| | Odor | - | not unpleasant | not unpleasant | not unpleasant |
| | pH. | - | 5.8-8.6 | 5.8-8.6 | 5.8-8.6 |

ที่มา : (Japan Ministry of Construction , 1981)

ตารางที่ 4.17 ก. แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำ (Basic Guidelines) การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่

| Constituents | Unit | Aesthetic setting | Limited Public contact |
|----------------|----------|-------------------|------------------------|
| Total Coliform | N/100ml. | < 1,000 | < 50 |
| BOD. | mg./l. | 10 | < 3 |
| pH | - | 5.8-8.6 | 5.8-8.6 |
| Turbidity | NTU. | < 10 | < 5 |
| Odor | - | not unpleasant | not unpleasant |
| Color Unit | SU. | < 40 | < 10 |

ตารางที่ 4.17 ข. คุณภาพน้ำจากการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและ โอซาก้า (ญี่ปุ่น)

| Constituents | Unit | Tokyo | Osaka |
|---------------------|--------|---------|-------|
| pH | - | 6.8-7.3 | 7.3 |
| BOD. | mg./l. | 2.2 | 17 |
| SS. | mg./l. | 2.5 | 4.0 |
| Total - P. | mg./l. | 0.7 | 1.4 |
| Total - N. | mg./l. | 14.1 | 17.0 |
| NH ₄ -N. | mg./l. | 5.2 | 12.0 |
| Coliform bacteria | N/ml. | 1 | 2 |

ที่มา : (Guidelines for Environment Enhancement in Japan ,1991)

ตารางที่ 4.18 มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราว (Temporary standard) สำหรับการนำกลับมาใช้ซ้ำระ
โถ้วมเฉพาะอาคารเดี่ยว

| Item | Unit | Standard |
|--------------------------|--------|----------------|
| E.Coli. (Fecal Coliform) | N./ml. | ≤ 10 |
| pH | Unit | 5.8 - 8.6 |
| odor | - | not unpleasant |
| appearance | - | not unpleasant |
| BOD. | mg./l. | 15 |
| COD. | mg./l. | 30 |

หมายเหตุ : ควรมีการฆ่าเชื้อโรคอย่างสิ้นเชิง และมีคลอรีนอิสระเหลือขณะนำกลับมาใช้งาน

ที่มา : Fumitoshi and Hidenori (Tokyo and Musashi Institute of Technology) ,1991

ตารางที่ 4.19 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) การนำกลับมาใช้ภายในอาคาร และคอมเพลกซ์

| Item | Unit | Criteria | Item | Unit | Criteria |
|-----------|--------|---------------|-------------------------------|----------|----------|
| Odor | - | non-existence | BOD.5 | mg./l. | < 10 |
| Color | Unit | < 10 | PO ₄ ³⁻ | mg./l. | < 1.0 |
| Turbidity | NTU. | < 5 | ABS. | mg./l. | < 1.0 |
| TDS. | mg./l. | < 1,000 | Coliform | count/ml | N.D. |
| SS. | mg./l. | < 5 | General bacteria | count/ml | < 100 |
| pH. | Unit | 5.8 - 8.6 | Residual Chlorine | mg./l. | > 0.2 |
| COD. | mg./l. | < 20 | TOC. | mg./l. | < 15 |

ที่มา : (Asano และ คณะ ,1981)

ตารางที่ 4.20 คุณภาพน้ำทางเคมี การนำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารสูง แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

| Chemical Analysis | Reclaimed Water Description (Report over 12 month period) |
|-------------------|---|
| Color | Clear and no noticeable difference in color from domestic water . |
| Odor | No noticeable Odor. (not be a problem corresponding to max.COD.) |
| COD. | Maximum COD. value of 50 mg./l. from 12 month |
| Corrosive | Langlier index 0.23-0.44 ,mildly corrosive. ,no more than domestic water. |

ที่มา : Smith-Emery Corporation reference in Lewinger (Irvine Ranch Water District California) ,1987

ตารางที่ 4.21 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) และกระบวนการบำบัดสำหรับการนำกลับมาใช้ซ้ำ
มาใช้เพื่อการอุปโภค รัฐแคลิฟอร์เนีย และฟลอริดา สหรัฐอเมริกา

| Type of Use | Total Coliform Limits | Treat.-Required |
|--|-----------------------|--|
| Irrigation of fodder fiber,seed crops ,orchards ,vineyards and processes food crop ; flushing sanitary sewers | None required | Secondary |
| Irrigation of pasture for milking animals,landscape areas ¹ sod farms;nonstructural firefighting ;Industrial boiler feed ;Dust control ;Cleaning roads sidewalk and outdoor areas | 23 / 100 ml. | Secondary & disinfection |
| Surface irrigation of food crops; Restricted landscape impoundments | 2.2 / 100 ml. | Secondary & disinfection |
| Irrigation of food crops ² ; landscape areas ³ ; Nonrestricted recreation impoundments ; Toilet and Urinal flushing ; Industrial process water ; Decorative fountains ,Commercial laundries ; Structural fire fighting ; Cooling where mist is created | 2.2 / 100 ml. | Secondary ,Coagulation, Clarification , Filtration ⁴ Disinfection |

1 = Cemeteries ,freeway ,golf courses and other controlled access irrigation areas

2 = Contact edible portion of crop ; includes edible root crops.

3 = Parks ,playgrounds ,schoolyards ,residential landscaping ,unrestricted access golf courses.

4 = Turbidity of filtered effluent cannot exceed an avg. 2 NTU. during any 24 hr. period.

ที่มา : State of California ,1994

| Type of Use | Water Quality Limits | Treatment Required |
|--|---|--------------------------------------|
| Restricted public access areas (Sod farm , pasture land ,areas used to grow trees and fodder ,fiber and seed crops.) ,Industrial uses | 200 Fecal Coli./100 ml. 20 mg./l. TSS. 20 mg./l. BOD. | Secondary & Disinfection |
| Public access areas ¹ ,food crop irrigation ² ,Toilet flushing , Recreational impoundments ³ ,Fire protection ,Aesthetic purposes ,dust control | N.D. Fecal Coliform 5 mg./l. TSS. 20 mg./l. BOD. | Secondary ,Filtration & Disinfection |

1 = Residential lawns,golf courses,cemeteries,parks,landscaped areas,highway,or similar areas.

2 = Only allowed if crops are peeled ,skinned ,cooked or thermally processed before consumption.

3 = For full body contact. ,Reclaimed water quality must meet drinking water bacteriological standard if it constitutes > 50% of inflow to impoundment.

ที่มา : Florida Department of Environmental Protection ,1995

จากการเปรียบเทียบภาพรวมระหว่างคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ กับมาตรฐานและแนวทางกำหนดคุณภาพน้ำ สามารถพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่ในการอุปโภคของอาคารสูง พิจารณาแต่ละพารามิเตอร์ที่ระบบสามารถบำบัด ได้ดังนี้ คือ

พีเอช : น้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าพีเอชเฉลี่ยทุกการทดลอง 7.26 และมีค่าในช่วง 6.5-7.5 เข้าเกณฑ์ทุกมาตรฐานที่ 5.8-8.6 อย่างคงตัว โดยเฉพาะการทดลองที่ 2-4 ระบบการเติมอากาศเป็นช่วงๆ อัตราส่วนซีโอไซด์ที่เคเอ็นในน้ำเสียน้ำสูงพอ ระบบจะรักษาระดับพีเอชในถังปฏิกรณ์ และน้ำออก ได้ในช่วงแคบโดยไม่ต้องปรับพีเอชดังการทดลองที่ 1 และ 5 ซึ่งเป็นระบบเติมอากาศแบบต่อเนื่อง และมีค่าซีโอไซด์ต่ำกว่า ตามลำดับ

ความขุ่น : น้ำที่ผ่านการบำบัด มีค่าความขุ่นเฉลี่ย 0.1 NTU. คงตัวดีเยี่ยมในทุกการทดลอง ระบบสามารถกำจัดความขุ่นผ่านเกณฑ์คุณภาพสูงสุด ที่มาตรฐานของแคลิฟอร์เนีย และ US.EPA. 2 NTU. ความมีสุนทรีย์ภาพ 10 NTU. และการสัมผัสใช้ของมนุษย์ 5 NTU. ในทุกมาตรฐาน

ของแข็งแขวนลอย : น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเอสเอส. ในช่วง 0.1-0.7 มก./ล. เฉลี่ยทุกการทดลอง 0.4 มก./ล คงตัวดีเยี่ยมตลอดการทำงาน ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำขั้นดีที่สุด 5 มก./ล. ทุกมาตรฐาน

สารอินทรีย์ : น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดี 14.7 19.7 21.8 14.5 และ 15.8 มก./ล. การทดลองที่ 1-5 ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด-สูงสุดตลอดการวิจัย 17.3 และ 8.5-30.0 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งช่วงการทดลองที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มที่ซีโอดีในน้ำออกสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากอาคารมีกิจกรรมจากห้องปฏิบัติการเคมีมาก มีสารที่ย่อยได้ยากเจือจางปนมากับน้ำเสียน้ำ และการทดลองที่ 4 , 5 ระบบบำบัดระดับสูงและมีความสมบูรณ์ที่สุด น้ำออกมีค่าซีโอดีอยู่ในเกณฑ์เป้าหมายที่ต้องการ เป็นค่าเฉลี่ย 15.0 มก./ล.

ระบบมีความคงตัวสูงเมื่อเทียบกับการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสารมลพิษในน้ำเสียน้ำแต่ละช่วงเวลา จากผลดังกล่าว คุณภาพน้ำที่ผลิตได้และขั้นกระบวนการ สามารถผ่านค่ามาตรฐาน แคลิฟอร์เนีย และฟลอริดา ผ่านค่ามาตรฐาน ยูเอส.อีพีเอ. และญี่ปุ่น ที่มีซีโอดี และซีโอดี 10 และ 20 มก./ล. ตามลำดับ ในระดับดีพอใช้ โดยภาพผ่านเกณฑ์ การมีสุนทรีย์ภาพ สัมผัสใช้ของมนุษย์ แต่จะมีเปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นสูงกว่า ถ้าค่าซีโอดีเฉลี่ย และค่าสูงสุด ต่ำกว่าเกณฑ์สูงสุดมากขึ้น

ทีเคเอ็น : น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าทีเคเอ็นเฉลี่ยช่วง 1.0-3.4 มก./ล. ค่าเฉลี่ยทั้งสองสภาวะเฉลี่ย 2.22 มก./ล. ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทีเคเอ็นของ “Sanki Engineering CO.,LTD” 20 มก./ล. อย่างดีเยี่ยม และต่ำกว่าค่าแอมโมเนียไนโตรเจนที่เมืองโตเกียว และ โอซากา คือ 5.2 และ 12 มก./ล. ตามลำดับ โดย

ปัจจุบันมาตรฐาน และแนวทางกำหนดคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ ยังไม่ให้ความสำคัญกับค่าที่เคเอ็น ซึ่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย และสุนทรีย์ภาพในการใช้น้ำโดยตรง

ไนโตรเจนทั้งหมด : ระบบที่มีประสิทธิภาพไนตริฟิเคชันสูง ค่าที่เคเอ็นในน้ำออกต่ำ ถ้าประสิทธิภาพไนตริฟิเคชัน ไม่สูงพอ จากอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็นที่ต่ำ หรือระบบที่เดิมอากาศต่อเนื่อง ค่าไนเตรทที่สะสมเพิ่ม ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดยังคงมีค่าสูง ดังการทดลองที่ 1,5 มีค่า 60.5 38.6 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งน้ำเสียที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อที่เคเอ็น 5.3-6.3 เมื่อผ่านการบำบัดจะมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย 10.5 11.1 8.0 มก./ล. การทดลองที่ 2-4 ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่เมืองโตเกียว และโอซากา คือ 14.1 และ 17 มก./ล. ตามลำดับ

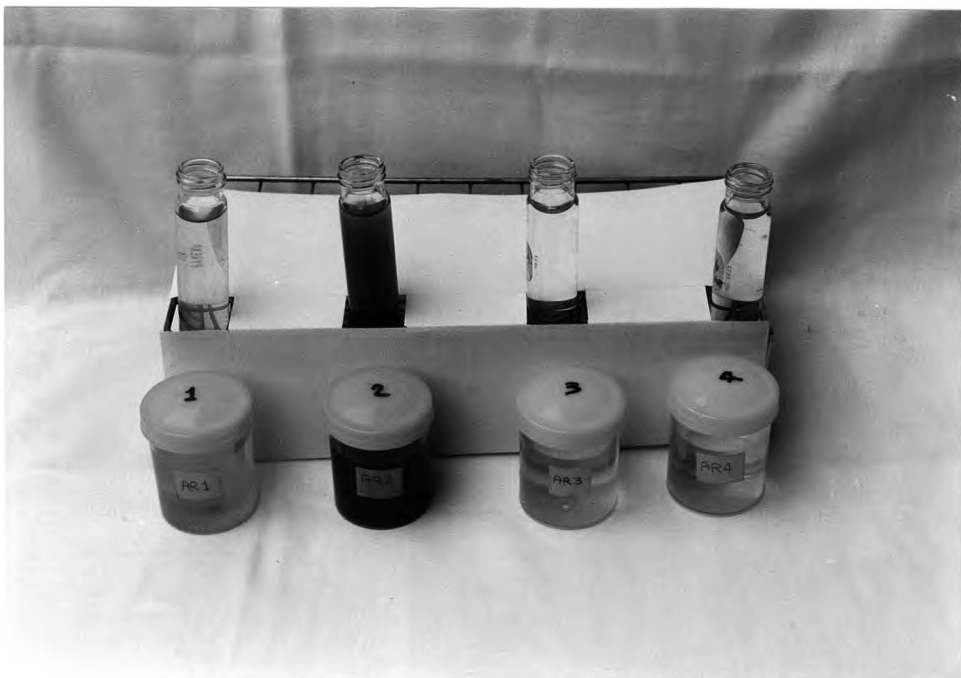
สีและกลิ่น : น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าสี 1.02 1.17 0.86 และ 0.9 SU. การทดลองที่ 2-5 ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าค่าสีช่วง 0.9-1.2 SU. มีความสัมพันธ์กับค่าซีโอดี 14.5-21.8 มก./ล. ค่าเฉลี่ยทุกการทดลอง 0.98 SU. ต่ำกว่าเกณฑ์ สุนทรีย์ภาพ และการสัมผัสใช้งาน โดยมีความใสไม่ต่างจากน้ำปะปา และในบางช่วงเวลา ระหว่างการทดลองที่ 2 และ 3 อาจรับรู้ได้ถึงกลิ่นสารเคมีซึ่งน่าจะมาจากห้องปฏิบัติการปะปน เมื่อน้ำกักเก็บอยู่ในถังพักซึ่งเป็นพื้นที่ปิดล้อม แต่ในสภาวะปกติจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นใดๆ ได้ ซึ่งผู้ทดลองสามารถสัมผัสใช้งานได้โดยไม่เกิดความรำเกียจ

ฟิล์มโคไลฟอร์มแบคทีเรีย : ผลวิเคราะห์ในทุกครั้งพบว่า ไม่สามารถตรวจพบตั้งแต่ขั้นต้นนิชฐาน ที่ 48 ชม. สรุปได้ว่าระบบสามารถกำจัดแยก ฟิล์มโคไลฟอร์ม และโคไลฟอร์มแบคทีเรีย ได้ อย่างคงตัว ทำให้น้ำมีความปลอดภัยจากแบคทีเรียก่อโรค ซึ่งทุกมาตรฐานให้ความสำคัญเป็นลำดับต้น แม้อาจยอมให้มีโคไลฟอร์มได้จำนวนน้อยๆ บางกิจกรรมที่ไม่สัมผัสกับมนุษย์โดยตรง แต่ในอาคารสูงซึ่งมีความใกล้ชิดกับมนุษย์ ทุกมาตรฐานต้องการความปลอดภัยสูงสุด คือ “ไม่สามารถตรวจพบได้” (N.D.) ทั้งฟิล์มโคไลฟอร์ม และโคไลฟอร์มทั้งหมด อย่างคงตัวตลอดเวลา ฉะนั้น น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ จะมีความปลอดภัย และความเชื่อมั่นสูงในทางสาธารณสุข

จากผลการศึกษ้างต้น มาตรฐานกำหนดของแบคทีเรียก่อโรค มีเป้าประสงค์เพื่อการบ่งชี้ถึงการมีสุขภาพ และความปลอดภัยทางสาธารณสุข ส่วนข้อกำหนดค่า พีเอช ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น กลิ่น และ สี มีเป้าประสงค์เพื่อสุนทรีย์ภาพที่ดี และการยอมรับของสาธารณชน แต่ก็เป็นเพียงแนวทางมาตรฐานเบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้ใช้น้ำในแต่ละชุมชน การเพิ่มกระบวนการ เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ และสี ทำให้คุณภาพน้ำสูงขึ้น ซึ่งให้สุนทรีย์ภาพ เปร้อเช่นความเชื่อมั่น และความเชื่อถือในการสัมผัสใช้ของสาธารณะชนสูงขึ้น แต่ต้นทุนการผลิตจะมีค่าสูงขึ้นตาม จึงควรพิจารณาค่าขึ้นตอนการวางแผนเฉพาะในแต่ละอาคาร

มาตรฐาน แนวทาง กำหนดคุณภาพน้ำส่วนใหญ่ ไม่จำกัดค่าในโตรเจนทั้งหมด เช่นกับค่าที่เคเอ็น ซึ่งไม่ส่งผลต่อการใช้น้ำ เพื่อการอุปโภคของมนุษย์โดยตรง และมีประโยชน์กับพืชได้ใช้เป็นสารอาหาร แต่ก็ส่งผลเสียกับลำน้ำได้เมื่อต้องปล่อยทิ้ง จึงควรพิจารณาประเภทกิจกรรมหลักที่จะนำน้ำไปใช้ เช่น นำไปใช้ชำระ โถส้วม การกำจัดในโตรเจนช่วยลดภาระระบบบำบัดของเมือง แต่การใช้น้ำทางภูมิสถาปัตยกรรม อาจไม่จำเป็นต้องกำจัดในโตรเจน เป็นต้น

จากรูปที่ 4.40 เปรียบเทียบสี ความใส และ สุนทรีย์ภาพ จากการสังเกต น้ำเสีย น้ำในถังปฏิกรณ์ นำจากการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ น้ำประปาผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส หลอดที่ 1-4 ตามลำดับ โดยภาพรวม จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่กล่าวมา ระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ มีศักยภาพสามารถบำบัดน้ำเสียอาคารสูง จนมีคุณภาพได้เกณฑ์มาตรฐาน นำกลับมาใช้ในกิจกรรมของอาคารสูง ได้แก่ การชำระ โถส้วม-บัสสภาวะ การชะล้างห้องน้ำ พื้นอาคาร คอลล์เครื่องปรับอากาศ รดน้ำต้นไม้ สระน้ำประดับ น้ำพุ ระบบป้องกันอัคคีภัย เป็นอย่างดี สามารถสัมผัสใช้ได้อย่างปลอดภัยกับผู้ใช้ และผู้ปฏิบัติงาน สำหรับระบบปรับอากาศ เช่น ระบบหมุนเวียนน้ำแบบเปิด (Cooling Tower) คุณภาพน้ำที่กล่าวมาผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น แต่การพิจารณาปัญหาการเกิด ตะกอน กัดกร่อน การเจริญของจุลชีพ ควรมีการพิจารณาเฉพาะในการควบคุม ความเป็นด่าง ความกระด้างทั้งหมด ซิลิกา ฟอสฟอรัส คลอรีนอิสระ เป็นต้น ซึ่งอยู่นอกเหนืองานวิจัยนี้



รูปที่ 4.40 การเปรียบเทียบ สี ความใส และสุนทรีย์ภาพ โดยการสังเกต จากภาพหลอดทดลองที่
 1) น้ำเสียอาคาร 2) น้ำในถังปฏิกรณ์ 3) น้ำผ่านการบำบัด (นำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่)
 4) น้ำประปาผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส ตามลำดับ

4.7 การประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์.

ใช้ข้อมูลชุดทดลองระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ในงานวิจัยนี้ เป็นแนวทางขั้นต้นในการคำนวณ ประเมินการลงทุน และการใช้คืนเงินต้น (Annual Repayment) ในรูปของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัด และนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ต่อหน่วยปริมาตร ค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบประเมินจากการทดลองที่ 1 4, 5 เป็นตัวแทนระบบเดิมอากาศแบบต่อเนื่อง เป็นช่วงๆ ที่ภาระสารอินทรีย์สูง และต่ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 รายการประเมินต้นทุนประกอบสร้าง และการทำงาน ชุดทดลองระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ (คืนแบบใช้งานจริง ไม่รวมส่วนที่เสียหาย ทั้ง ยกเลิกไม่ใช้ ช่วงทดสอบการทำงานเบื้องต้น)

| ลำดับ | รายการ (รายละเอียดอุปกรณ์ตามบทที่ 4) | บาท |
|-------|--|---------------|
| | ต้นทุนค่าเมมเบรน : | |
| 1 | Microfiltration membrane (Mitsubishi Rayon CO.,LTD.) 4 m. ² | 22,000.00 |
| | ต้นทุนค่าวัสดุอุปกรณ์ประกอบและติดตั้ง : | |
| 1 | อุปกรณ์ท่อ ข้อต่อ 1/2", หัวฉีด ประกอบโมดูลยูนิต | 538.00 |
| 2 | ถังจ่ายน้ำเสีย ถังปฏิกรณ์ ถังพักน้ำ 200 l. พร้อมขาโครงเหล็ก และตัวจับโมดูล | 3,050.00 |
| 3 | ปั๊มหมุนเวียนน้ำ ปั๊มดูด และอุปกรณ์ประกอบ (ท่อพีวีซี ท่อยาง ข้อต่อ) | 4,200.00 |
| 4 | ระบบเดิมอากาศและลมอัด อุปกรณ์ประกอบ (เรกกูเรเตอร์ โซลินอยด์ย ท่อ ข้อต่อ) | 7,450.00 |
| 5 | วาล์วน้ำ และอุปกรณ์ประกอบ | 540.00 |
| 6 | เกจวัดความดันลม และน้ำ | 350.00 |
| 7 | อุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ | 3,460.00 |
| | ต้นทุนค่าดำเนินการจัดสร้าง | |
| 1 | ค่าจ้างเหมา : ค่าแรง + เครื่องมือ + ค่าพาหนะ (ขนส่ง ประกอบ ติดตั้ง) | 1,000.00 |
| | รวมค่าใช้จ่ายในการประกอบสร้าง (Inv.) | 20,588 |

| ลำดับ | ต้นทุนค่าเดินระบบโดยประมาณ การทดลองที่ 1 (Continuous aeration) | บาท/ปี |
|-------|--|--------------|
| 1 | ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบเฉลี่ย 0.0158 หน่วย/วัน | 17.80 |
| 2 | ค่าสารเคมีในการปรับพีเอชเฉลี่ย 90-110 กรัม/วัน (24 บาท/กก.) | 964.00 |
| | รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Op.) | 981.8 |

| ลำดับ | ต้นทุนค่าเดินระบบโดยประมาณ การทดลองที่ 4 (Intermittent aeration) | บาท/ปี |
|-------|--|-----------------|
| 1 | ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบเฉลี่ย 1.17 หน่วย/วัน | 1,319.50 |
| 2 | ค่าสารเคมีในการปรับพีเอชเฉลี่ย - กรัม/วัน (24 บาท/กก.) | - |
| | รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Op.) | 1,319.50 |

| ลำดับ | ต้นทุนค่าเดินระบบโดยประมาณ การทดลองที่ 5 (Intermittent aeration) | บาท/ปี |
|-------|--|----------|
| 1 | ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบเฉลี่ย 0.814 หน่วย/วัน | 918.00 |
| 2 | ค่าสารเคมีในการปรับพีเอชเฉลี่ย 42 กรัม/วัน (24 บาท/กก.) | 368.00 |
| | รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Op.) | 1,286.00 |

ข้อกำหนด (Calculation Assumption) :

กำลังการผลิต (Q) 62.1 , 93.1 และ 93.1 ลบ.ม./ปี การทดลองที่ 1,4 และ 5 ตามลำดับ

อายุการใช้งานเมมเบรน 3 ปี (n.) และอายุการใช้งานทั้งระบบ 15 ปี (N.)

อัตราดอกเบี้ยเงินกู้โครงการทางสิ่งแวดล้อม 8% ต่อปี (i)

ตารางที่ 4.23 ขั้นตอนการคำนวณ และผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายบำบัดต่อหน่วยปริมาตรน้ำ

| ขั้นตอนการคำนวณ | การทดลองที่ 1 | การทดลองที่ 4 | การทดลองที่ 5 |
|--|---------------|---------------|---------------|
| 1.มูลค่าปัจจุบันของเมมเบรนเปลี่ยนทุก 3 ปี ตลอดอายุระบบ 15 ปี (MF _N , บาท) | 73,070 | 73,070 | 73,070 |
| 2.ต้นทุนสร้าง-ติดตั้งระบบ (Inv., บาท) | 20,588 | 20,588 | 20,588 |
| 3.มูลค่าปัจจุบันค่าใช้จ่ายเดินระบบ (Op _N , บาท) | 8,404 | 11,294 | 11,007 |
| 4.เงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ (TInv., บาท) | 102,062 | 104,952 | 104,666 |
| 5.ค่าใช้จ่ายหนี้เงินต้นรวม (TInv _N , บาทต่อปี) | 11,924 | 12,262 | 12,228 |
| 6.กำลังการผลิต(บำบัดน้ำเสีย) (Q, ลบ.ม./ปี) | 62.1 | 93.1 | 93.1 |
| 7.ต้นทุนการผลิต ไม่รวมค่าเสื่อม (บาท/ลบ.ม.) | 15.8 | 14.2 | 13.8 |
| 8.ต้นทุนการผลิตรวมค่าเสื่อม (บาท/ลบ.ม.) | 192 | 131.7 | 131.3 |

สูตรคำนวณ : $MF_N = MF \cdot x [1 + 1/(1+i)^3 + 1/(1+i)^6 + 1/(1+i)^9 + 1/(1+i)^{12}]$

$$Op_N = Op \cdot x [(1+i)^N - 1] / [i(1+i)^N]$$

$$TInv. = (Inv. + MF_N + Op_N)$$

$$TInv_N = TInv. \cdot x [i(1+i)^N / [(1+i)^N - 1]]$$

$$\text{ต้นทุนไม่รวมค่าเสื่อม} = Op. / Q. \quad , \quad \text{ต้นทุนรวมค่าเสื่อม} = TInv_N / Q$$

ต้นทุนการบำบัดที่คำนวณได้มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับราคาน้ำประปาในปัจจุบัน จุดสำคัญคือ ชุดทดลองมีการลงทุนขั้นต้นสูง ไม่ได้สัดส่วนกับกำลังการผลิตที่ออกแบบ จากราคาเมมเบรนต่อหน่วยกำลังผลิตตลอดอายุการใช้งานมีราคาสูงมาก พื้นที่ผิวขนาด 4 ตร.ม. ทำให้การออกแบบชุดทดลองที่กระทัดรัดที่สุด ยังมีขนาดถังปฏิกรณ์ 200 ลิตร เพื่อการออกแบบระบบลมอัด ระบบปั้มน้ำ ระบบท่อ ฯลฯ ให้มีขนาดเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่จำกัดมากที่สุด แต่ก็ยังมีขนาดและกำลัง อยู่ในระดับต้นๆ “Commercial Type” ซึ่งมีราคาสูงขึ้นหลายเท่าตัว และด้วยข้อจำกัดของระบบจ่ายน้ำเสียเข้าที่ยังรักษาระดับน้ำในถังปฏิกรณ์ไว้ได้

ระบบจึงมีค่าเวลากักเก็บต่ำสุด 16 ชม. ในขณะที่ปั๊มคูดทำงานเพียง 15% ของความเร็วรอบสูงสุด ในทางปฏิบัติสามารถออกแบบให้ระบบมีกำลังผลิตที่สูงขึ้น และการติดตั้งที่ไม่ถูกจำกัดพื้นที่ เมมเบรนจะถูกซิงกานออก ระบบเดิมอากาศจะมีประสิทธิภาพ ะลดการสะสมของสัดค้ที่ผิวเมมเบรนสูงกว่า และมีส่วนช่วยให้สามารถออกแบบค่าฟลักซ์ ได้สูงขึ้น

ปั๊มหอยโข่งและระบบหัวฉีดหมุนเวียนน้ำภายในกวนผสมได้ดี แม้เนื้อที่จำกัดแต่จะไม่มีโอกาสทำความเสียหายแก่เมมเบรน แต่สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า เปรียบเทียบจากค่าไฟฟ้าการทดลองที่ 1 กับ 4 การทดลองที่ 5 มีภาระสารอินทรีย์ต่ำ ความเข้มข้นสัดค้จลชีพน้อย ปั๊มรับภาระต่ำ สิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าการทดลองที่ 4 เล็กน้อย ในทางปฏิบัติการใช้ใบกวน เครื่องกวนได้นำ หรือปั๊มจมนำ ได้นำ จะสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ามาก และสร้างแรงเฉือนต่อผิวหน้าเมมเบรนได้อย่างสม่ำเสมอ

การทดลองที่ 1 เดิมอากาศแบบต่อเนื่องจะสิ้นเปลืองสารปรับพีเอชมากที่สุด การทดลอง 4 และ 5 ระบบเดิมอากาศเป็นช่วงๆภาระสารอินทรีย์ที่ สูงและต่ำ ประสิทธิภาพคิโนครีฟิเคชั่น 92 และ 42 % ทำให้สิ้นเปลืองสารปรับพีเอชน้อยมากๆ และต่ำกว่าครึ่ง ของการทดลองที่ 1 ตามลำดับ

อุปกรณ์และวงจร ไฟฟ้าควบคุม ลงทุนเริ่มแรกสูง แต่สามารถควบคุมวงจร ไฟฟ้ากำลังซึ่งมีเครื่องกลขนาดใหญ่กว่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้หลายเท่าตัว รวมถึงอุปกรณ์และวงจร ไฟฟ้ากำลัง ยังรับภาระไม่ถึงครึ่งของพิกัดกระแสเฉลี่ย (RLA.) ฉะนั้นในราคาต้นทุนอุปกรณ์ไฟฟ้าเดียวกับงานวิจัยนี้ ระบบสามารถใช้งานกับถังปฏิกรณ์ที่ใหญ่กว่า หรือกำลังการผลิตที่สูงขึ้น ต้นทุนจะต่ำลง

ฉะนั้นการคำนวณต้นทุนการนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ เสนอให้เป็นแนวทางการประเมินความเป็นไปได้ขึ้นต้นเท่านั้น และยังขาดปัจจัยทางอ้อมอื่นๆที่ควรนำมาพิจารณา เช่น ราคาที่ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดินในกิจการอื่นที่ก่อรายได้ให้แก่อาคาร ระบบคงตัวสูง ควบคุมอัตโนมัติ ซ่อมบำรุง และบุคคลากรน้อย ต้นทุนการทำงานต่ำ ลดภาระการกำจัดสัดค้ เป็นต้น ซึ่งถ้าถือว่าการบำบัดน้ำเสียมีความจำเป็น สำคัญเสมอเหมือนการผลิตน้ำประปา การเปรียบเทียบความเป็นไปได้ และ ความเหมาะสมของระบบนำกลับมาใช้น้ำเสียมาใช้ใหม่ทางเศรษฐศาสตร์ ควรพิจารณา เช่นจาก

ต้นทุนการบำบัดระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ กับ ต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย ขั้นที่สอง + ค่าน้ำประปา
 ต้นทุนการบำบัดระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ กับ ต้นทุนการบำบัดน้ำเสีย ขั้นที่สอง + ขั้นที่สาม
 ต้นทุนกระบวนการเมมเบรน (MF.) กับ ต้นทุนกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามอื่นๆ

เป็นต้น ซึ่งน่าจะ ได้ทำการศึกษาเฉพาะถึงความเหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป