บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่มีต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และไนโตรเจน รวมถึงอัตราการประหยัดพลังงาน ซึ่งในการทดลองได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเมื่อมีการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบคงที่ และอัตราการไหลของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน โดยประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ คำนึงถึงประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เป็นสำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ซึ่งเป็นน้ำเสียจากกระบวนการผลิตต่างๆ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียรวมที่ผ่านบ่อดักเศษยาง โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) จากการเก็บตัวอย่างน้ำเสียรวมที่ออกจากกระบวนการผลิตเพื่อศึกษาลักษณะน้ำเสียรวมของโรงงาน พบว่า เมื่อนำน้ำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพและเคมี ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม 2548 ถึงเดือนมิถุนายน 2549 จำนวน 30 ตัวอย่าง ลักษณะน้ำเสียได้แสดงไว้ดังตารางที่ 7

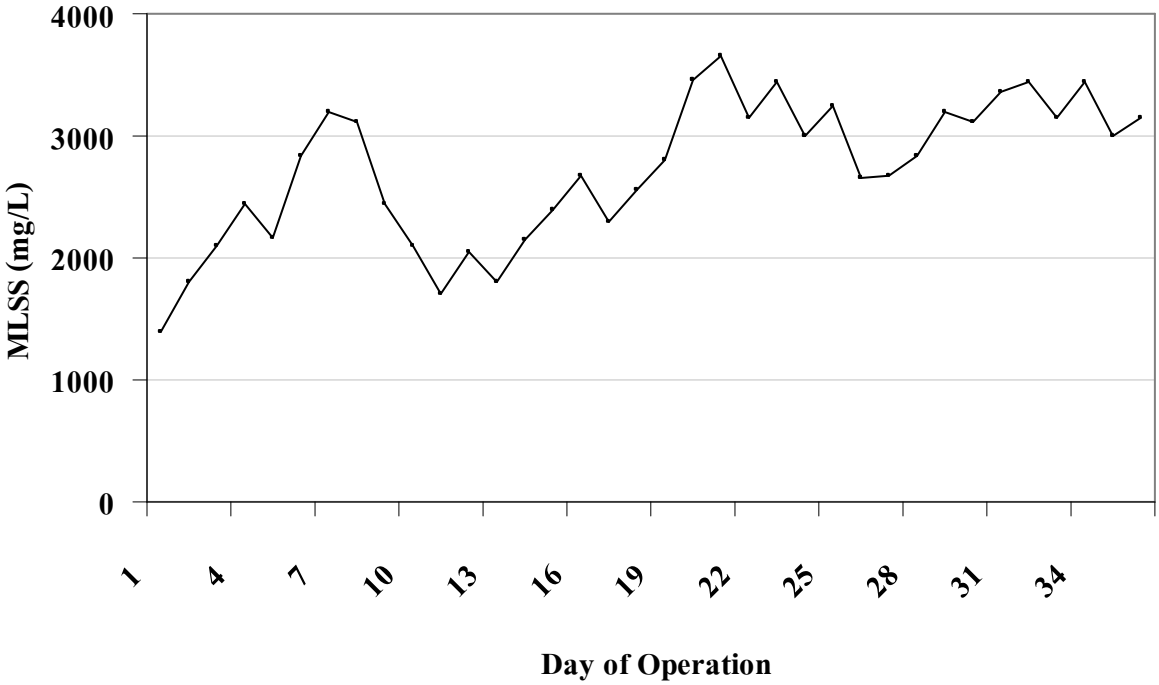
ตารางที่ 7 ลักษณะน้ำเสียรวมของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	พิสัย	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
pH	2.88-5.51	4.71±0.43
Temperature (^{o}C)	28.60-31.20	29.77±0.59
TCOD (mg/L)	5,400-17,900	10,479.90±3,568.53
TKN (mg/L)	354-1,880	981.63±422.56
NH_4^+-N (mg/L)	230-1,455	733.12±321.86
SS (mg/L)	241-955	535.50±164.42

จากตารางที่ 7 พบว่า น้ำเสียรวมของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ย 4.71±0.43 ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างจะเป็นกรด เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีการผลิตสกิมเครพควบคู่กับการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตสกิมเครพนั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างจะมีค่าต่ำมาก ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตน้ำยางข้นนั้นจะมีความเป็นกรด-ด่างสูง เมื่อน้ำเสียจากการผลิตทั้ง 2 รวมกันทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างยังคงมีค่าต่ำอยู่ ส่วนอุณหภูมิของน้ำเสียอยู่ในช่วง 28.60-31.20 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิปกติของอากาศประเทศไทย ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10,479.90±3,568.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีปริมาณความเข้มข้นที่สูงมาก เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆ ทั้งหมดของน้ำยางพาราที่เป็นซีรั่มรวมตัวสะสมกันอยู่ในน้ำทิ้งที่ออกมาจากกระบวนการผลิต ส่งผลให้ค่าซีโอดีทั้งหมดของน้ำเสียมีค่าสูง สำหรับปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียของโรงงานมีค่าไม่สูงมากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 535.50±164.42 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากอนุภาคของเนื้อยางบางส่วนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย รวมถึงอนุภาคของแข็งอื่นๆ ได้ถูกทำให้ตกตะกอนในบ่อดักเศษยางแล้ว ฉะนั้นปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียรวมก่อนลงสู่ระบบบำบัดจึงมีไม่มากนัก และปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นมีค่าเฉลี่ย 981.63±422.56 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเฉลี่ย 733.12±321.86 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งลักษณะของไนโตรเจนในน้ำเสียรวมของโรงงานจะมีค่าของแอมโมเนียไนโตรเจนค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำยางสดที่จะนำมาผลิตน้ำยางข้นจะมีการเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาง ทำให้น้ำเสียรวมที่ออกมาจากโรงงานมีค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนสูง ส่วนไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนในน้ำเสียรวมมีปริมาณน้อยมาก ซึ่งปริมาณไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจากการเติมอากาศบริเวณผิวน้ำ ในขณะที่น้ำเสียรวมของโรงงานไหลอยู่ในรางรับน้ำเสียแบบเปิด

3.2 ระยะเริ่มต้นระบบ

ในการเริ่มต้นระบบบำบัดจำลอง ได้นำตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ เติมลงไปในระบบบำบัดจำลอง ในช่วงแรกตะกอนมีการตกจมช้าและน้ำส่วนบนมีลักษณะขุ่น การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของจุลินทรีย์จะต่ำ เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับสภาพให้เข้ากับน้ำเสีย เมื่อมีการควบคุมปริมาณน้ำเสียให้คงที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์จะมีการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังภาพประกอบที่ 15 จากการตรวจวัดค่าความสามารถในการตกตะกอน พบว่าสามารถตกตะกอนได้ดี และเมื่อตะกอนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจะสังเกตได้ว่าตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น

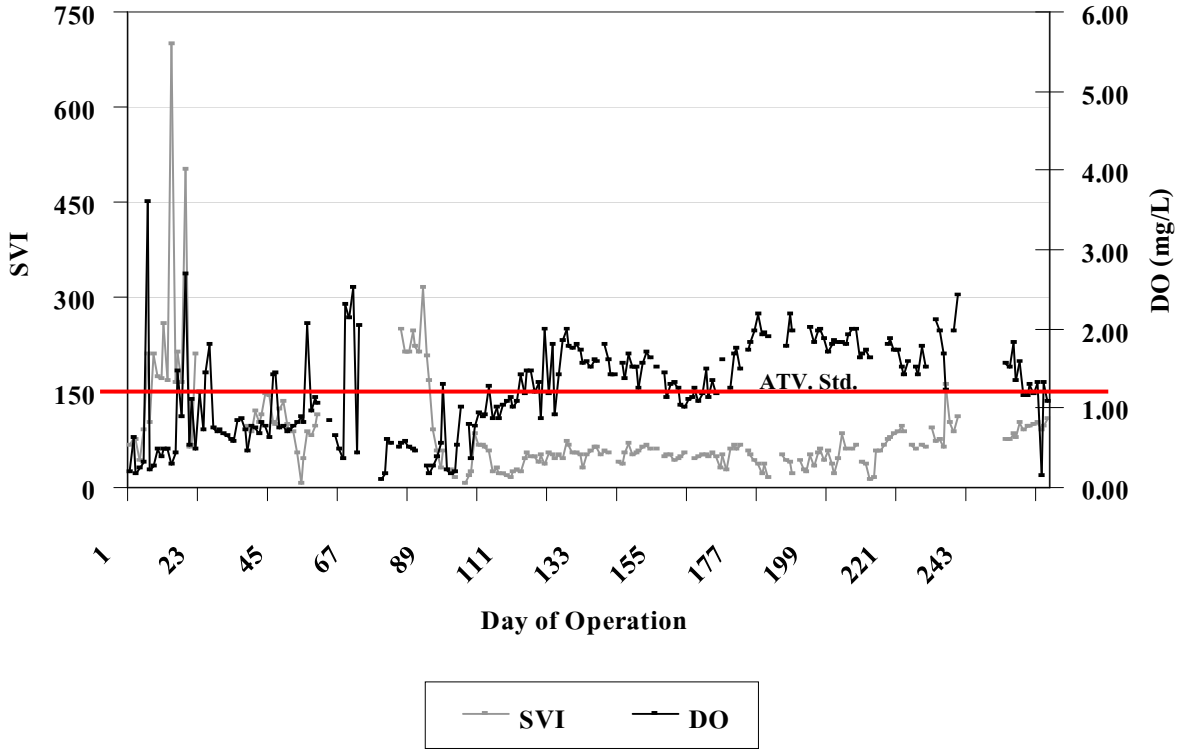


ภาพประกอบที่ 15 ปริมาณความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ ในระยะเริ่มต้นระบบ

ในช่วงการเริ่มต้นระบบ ผู้วิจัยได้เติมอากาศให้กับระบบอย่างเต็มที่เพื่อเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้มีการเติมอากาศให้กับระบบมากเกินไป เมื่อทำการวัดค่าออกซิเจนละลายพบว่ามีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอย (Rising Sludge Problem) ดังภาพประกอบที่ 16 ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในถังตกตะกอนที่เปลี่ยนไนเตรตไนโตรเจนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนจนดันตะกอนลอยขึ้นมา ปัญหาดังกล่าวทำให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบ และไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศได้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียลดลง

ภาพประกอบที่ 16 การเกิดตะกอนลอยในถังตกตะกอน

ในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พี เพื่อให้เข้าสู่สภาวะไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะทำให้ภายในถังเติมอากาศมีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และอาจเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัว (Bulking Sludge) อันเกิดจากแบคทีเรียสายใย (Filamentous Bacteria) ตามรายงานของ ATV working group 2.6.1 (1989) ได้รายงานว่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัว คือ แบคทีเรียสายใย ซึ่งจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M Ratio) ต่ำ อุณหภูมิสูง และค่าออกซิเจนละลายต่ำ หากทำการตรวจวัด ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index: SVI) ของตะกอนจุลินทรีย์ ปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวจะเกิดเมื่อมีค่าดัชนีปริมาตรตะกอน มากกว่า 150 มิลลิลิตรต่อกรัม (ATV working report 2.6.1, 1989) ผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจวัดค่า ดัชนีปริมาตรตะกอน และค่าออกซิเจนละลาย ด้วยเครื่องมือแบบพกพา รุ่น Multi 340 i ของ WTW จากการตรวจวัดค่า ดัชนีปริมาตรตะกอน และค่าออกซิเจนละลายในทุกวัน พบว่าปัญหาตะกอนเบาไม่จมตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการลดปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบ จากประมาณ 45 ลิตรต่อนาที เหลือประมาณ 10 ลิตรต่อนาที ทำให้ค่าออกซิเจนละลายมีการเปลี่ยนแปลงสูง (ภาพประกอบที่ 17)



ภาพประกอบที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาตรตะกอนในการทดลองภายในถังเติมอากาศในแต่ละวัน

3.3 ผลการศึกษาเมื่อควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบคงที่

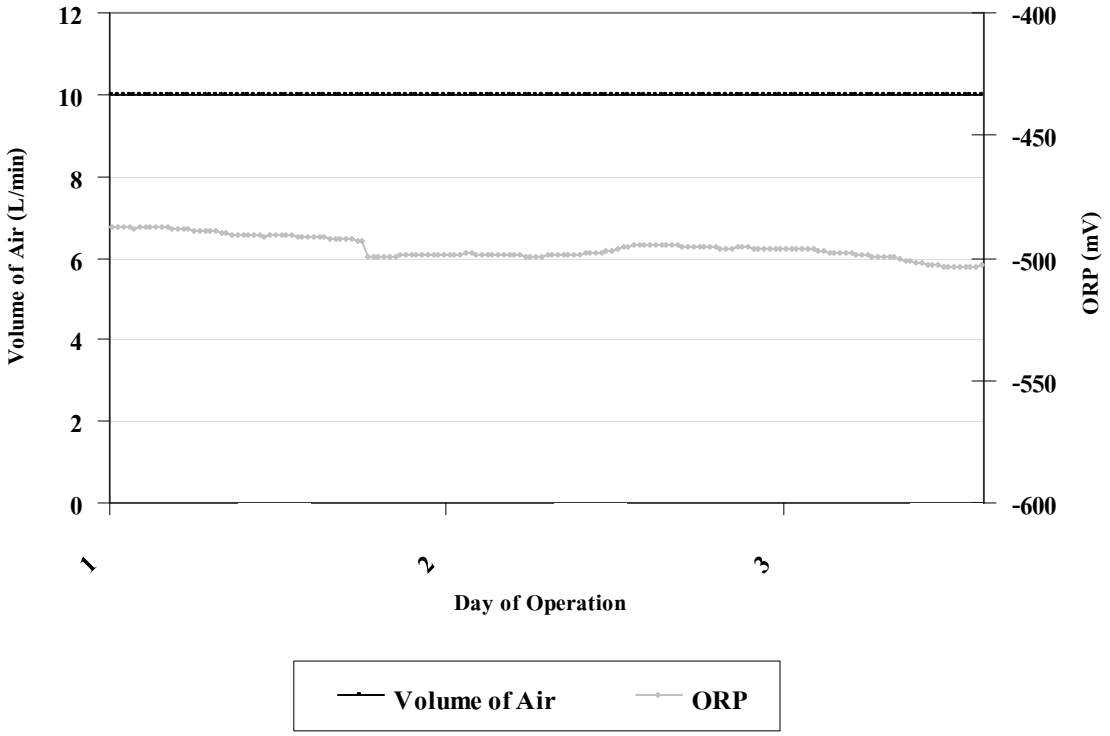
ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้เริ่มทำการศึกษาการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับช่วงค่าโออาร์พีอื่นๆ โดยค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ นี้ จัดว่าเป็นช่วงที่ระบบมีสภาวะเป็นแอนแอโรบิกอย่างสมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 53.99±17.44 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สูงถึง 2.69±1.05 กิโลกรัมซีโอดีต่อวันต่อกิโลกรัมของแข็งแขวนลอย ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยร้อยละ 6.42±2.51 และพบว่าไม่สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยลงได้ เนื่องจากในขณะที่มีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ นั้นได้มีเศษขี้ยางเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของถังตกตะกอน แสดงดังภาพประกอบที่ 18 ซึ่งเกิดขึ้นจากการจับตัวกันของของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย และหลุดล้นออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้ว จึงทำให้ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดต่ำ

ภาพประกอบที่ 18 เศษขี้ยางที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอน

จากการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายที่ได้จากการตรวจวัดแบบอัตโนมัติทุกๆ 15 นาที มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากระบบมีสภาวะเป็นแอนแอโรบิก ทำให้ไม่มีออกซิเจนอิสระเหลืออยู่ ซึ่งผลการทดลองเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีดังกล่าว พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีการเติมอากาศให้กับระบบน้อยเกินไป ปริมาณอากาศในถังเติมอากาศจึงไม่เพียงพอต่อการเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) คือ มีการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนได้น้อย อีกทั้งยังทำให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดได้ไม่ดี มีการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็น

ไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนได้น้อย รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้ไม่สมบูรณ์อีกด้วย

และเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ สังเกตได้ว่าปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ภาพประกอบที่ 19) เนื่องจากในช่วงการควบคุมดังกล่าวมีสภาวะค่อนข้างเป็นแอนแอโรบิก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบ



ภาพประกอบที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามปริมาณอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อโออาร์พีมีค่า -500 มิลลิโวลท์

จากการทดลองเบื้องต้นโดยการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -500 มิลลิโวลท์ พบว่า สภาวะที่เกิดขึ้นในระบบโดยส่วนใหญ่เป็นสภาวะไร้อากาศ ซึ่งไม่สามารถบำบัดคาร์บอนและไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้กำหนดช่วงการทดลองควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบคงที่ ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

3.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

3.3.1.1 สภาพแวดล้อมของการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง

สภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบบำบัด เมื่อมีการควบคุมการเติมอากาศ ผลการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 8 ซึ่งเป็นข้อมูลหลังจากระบบมีสภาวะคงที่

ตารางที่ 8 สภาพแวดล้อมของการทำงานในระบบ

Controlled ORP	สภาพแวดล้อมของการทำงานในระบบ	
(mV)	อุณหภูมิ (^{o}C)	ความเป็นกรด-ด่าง
-325	24.07-26.75	5.62-7.98
-200	25.88-28.99	5.17-5.60
-150	25.90-28.38	5.25-5.32

1) อุณหภูมิ

จากการทดลอง พบว่า ภายในระบบบำบัดจำลองมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเมื่อทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พี โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ พบว่า อุณหภูมิภายในถังเติมอากาศของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 24.07-26.75, 25.88-28.99 และ 25.90-28.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ในระบบบำบัดจะเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิ 25.0-35.0 องศาเซลเซียส และสำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไนตริไฟอิง จะอยู่ในช่วง 28.0-36.0 องศาเซลเซียส (Sharma and Ahlert, 1977) ซึ่งถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงกว่า 35.0 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญเติบโตของไนตริไฟอิงแบคทีเรียจะลดลง

2) ความเป็นกรด-ด่าง

ความเป็นกรด-ด่างภายในถังเติมอากาศของระบบบำบัดจำลอง เมื่อควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ มีค่าอยู่ในช่วง 5.62-7.98, 5.17-5.60 และ 5.25-5.32 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า เมื่อป้อนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเข้าสู่ถังเติมอากาศจะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง เนื่องจากเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน เปลี่ยน

แอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนเตรตไนโตรเจน และไนโตรเจนบางส่วนจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ ทั้งนี้ในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันนั้นจะมีการปล่อยไฮโดรเจนอิออน (H^+) ออกมา ซึ่งทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในถังปฏิกิริยาลดลงและจะมีการใช้สภาพด่าง เพื่อทำให้ H^+ ที่ผลิตออกมาระหว่างออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นกลาง (Water Environment Federation, 1998) ดังสมการ

$$NH_4^+ + 1.83O_2 + 1.98HCO_3^- \longrightarrow 0.02C_5H_7O_2N + 0.98NO_3^- + 1.04H_2O + 1.88H_2CO_3$$

ในขณะที่ความเป็นด่างถูกใช้ไปในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ในทางตรงกันข้ามการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันก็จะไปเพิ่มสภาพด่าง ตามสมการดีไนตริฟิเคชัน โดยพิจารณาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบใช้อินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำเสีย (Water Environment Federation, 1998)

$$2NO_3^- + C_6H_{12}O_6 + NH_4^+ \longrightarrow C_5H_7O_2N + HCO_3^- + H_2O + 6OH^- + N_2$$

เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ได้ควบคุมการเติมอากาศ ให้มีสภาวะการทำงานแบบไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันพร้อมกันภายในถัง ณ เวลาเดียวกัน จึงทำให้ ค่าความเป็นกรด-ด่างในถังเติมอากาศก็มีค่าเพิ่มขึ้นจากการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นนั้นมีค่าต่ำมาก เมื่อนำมาป้อนเข้าสู่ระบบจึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในถังเติมอากาศยังคงมีค่าต่ำอยู่ สังเกตได้จากในช่วงการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -200 และ -150 มิลลิโวลท์นั้น ความเป็นกรด-ด่างยังมีลักษณะค่อนข้างจะเป็นกรด ซึ่งหากเป็นระบบบำบัดอื่น ที่มีแยกการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันกับปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันกันอย่างชัดเจน ก็อาจทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันลดต่ำลงกว่าเดิมได้

3.3.1.2 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ต่อประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

เมื่อควบคุมค่าออกซิเจนละลายด้วยค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ ที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ ในระบบบำบัดจำลอง ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี โดยทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมด ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 9

ผลการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 42.47±3.84, 88.85±1.26 และ 58.20±2.63 ตามลำดับ ซึ่งมีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,516.25±189.72, 8,930±0.00 และ 17,872.00±620.92 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อน้ำเสียผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าความเข้มข้นของค่าซีโอดีทั้งหมดลดลง โดยเฉลี่ย 3,168.75±159.47, 995.74±112.31 และ 7,480.00±652.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างกันของค่าออกซิเจนละลายในถังเติมอากาศ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีทั้งหมดก็ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio, F/M Ratio) ด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด เมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ มีค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สูงถึง 1.33±0.04, 1.27±0.13 และ 3.08±0.37 กิโลกรัมซีโอดีต่อวันต่อกิโลกรัมของแข็งแขวนลอย ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำทิ้งยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงอยู่

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ต่อวัน (ตารางที่ 10) พบว่า มีแนวโน้มในการบำบัดได้สูงขึ้น เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีให้มีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดก็ไม่ได้สูงมาก เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นสูง และยังมีการควบคุมการเติมอากาศ เพื่อให้ระบบบำบัดมีสภาวะการทำงานแบบไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ค่าออกซิเจนละลายมีค่าต่ำ โดยความเข้มข้นของค่าออกซิเจนละลายที่ได้จากการตรวจวัดแบบอัตโนมัติทุกๆ 15 นาที ในการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 มิลลิโวลท์ มีค่าต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ ส่วนการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -200 และ -150 มิลลิโวลท์ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ของการทดลองนี้ต่างกับการศึกษาของ Khanal

and Huang (2003) ที่ได้เพิ่มค่าโออาร์พีให้สูงขึ้นจาก -280 มิลลิโวลท์ ไปเป็น -230 และ -180 มิลลิโวลท์ สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ประมาณร้อยละ 97 และ Lo *et al.* (1994) ได้ควบคุมการเติมอากาศในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบบำบัดแบบ Extended Aeration Treatment Systems (EATS) ควบคุมค่าโออาร์พีที่ 40, 70, 110 และ 180 มิลลิโวลท์ สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ได้ประมาณร้อยละ 96

หากพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดแล้วจะพบว่า เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -200 มิลลิโวลท์ จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากค่าภาระบรรทุกในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้พิจารณาปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ต่อวัน พบว่าเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยสามารถบำบัดซีโอดีทั้งหมดได้สูงที่สุด มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.98±0.28 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน

ตารางที่ 9 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี				
	หน่วย	**ORP (mV)**		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
Influent				
TCOD	**mg/L**	5,516.25±189.72	8,930±0.00	17,872.00±620.92
Effluent				
TCOD	**mg/L**	3,168.75±159.47	995.74±112.31	7,480.00±652.38
Removal				
TCOD	**(%)**	42.47±3.84	88.85±1.26	58.20±2.63

ตารางที่ 10 ปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ ค่าออกซิเจนละลาย และอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในการควบคุมค่าโออาร์พีต่าง ๆ

	หน่วย	ORP (mV)		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
TCOD influent	**g COD/L/d**	3.71±0.13	6.00±0.00	12.01±0.42
TCOD removed	**g COD/L/d**	1.58±0.18	5.33±0.07	6.98±0.28
F/M	**kg COD/kg MLSS/d**	1.33±0.04	1.27±0.13	3.08±0.37
DO	**mg/L**	ND*	0.17	0.32

หมายเหตุ: * Non Detecable

3.3.1.3 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ ได้พิจารณาในด้าน การบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) เมื่อทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 11

จากผลการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 25.44±3.02, 20.04±2.85 และ 55.16±8.32 ในช่วงการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ ตามลำดับ โดยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 353.50±42.43, 1,222.00±0.00 และ1,687.00±59.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ไนโตรเจนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน เนื่องจากมีการเติมสารละลายแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางที่จะนำมาผลิตน้ำยางข้น จึงทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดมีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในปริมาณที่สูง

การบำบัดไนโตรเจนโดยวิธีชีวภาพนั้นจะต้องอาศัยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกควบคุมค่าโออาร์พีดังกล่าวข้างต้น เนื่องจากค่าโออาร์พีที่ -325 มิลลิโวลท์ ซึ่งเป็นค่าโออาร์พีที่ Sillen (1965) และ Breck (1974) รายงานว่ามีการเปลี่ยนไนไตรต์ไปเป็นก๊าซไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจน

ก็มีค่าเพิ่มขึ้นไม่มาก แต่ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้น้อยกว่าร้อยละ 50 จึงได้เพิ่มการควบคุมค่าโออาร์พีให้มีค่าสูงขึ้นอีกเป็น -200 และ -150 มิลลิโวลท์ โดยความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในสภาวะคงที่โดยเฉลี่ยมีค่าต่ำมากในการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 มิลลิโวลท์ ส่วนค่าโออาร์พีที่ -200 มิลลิโวลท์ ซึ่งมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายต่ำมีผลให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันถูกยับยั้ง (Wemer and Kayser, 1991) สังเกตได้จาก เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 และ -200 มิลลิโวลท์ พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) โดยเฉลี่ยร้อยละ 25.44±3.02 และ 20.05±2.47 ดังนั้นการควบคุมค่าโออาร์พีในช่วงดังกล่าว ทำให้ลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียให้ลดลงได้น้อย ประสิทธิภาพในการบำบัดจึงต่ำ

เนื่องจากมีปริมาณอากาศไม่เพียงพอ จึงได้ทำการควบคุมค่าโออาร์พีให้มีค่าสูงขึ้นเป็น -150 มิลลิโวลท์ โดยการเพิ่มปริมาณอากาศที่เติมเข้าไปในระบบ ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 และ-200 มิลลิโวลท์ จากการทดลอง พบว่า เมื่อมีปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปทีเคเอ็น มีค่าลดลงจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน ซึ่งมีปริมาณทีเคเอ็นที่ป้อนเข้าสู่ระบบโดยเฉลี่ยมีค่า 1,687.00±53.15 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดมีค่าลดลงเป็น 759.53±159.63 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากภายในระบบได้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันด้วยเช่นกัน จึงทำให้ไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีปริมาณน้อยโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.05±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ ทำให้มีปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนละลายภายในถังเติมอากาศโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งภายในถังเติมอากาศอาจเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน เนื่องจาก Pochana และ Keller (1999) ได้รายงานว่า ค่าออกซิเจนละลายต่ำประมาณ 0.2-0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกันได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 55.16±8.32

เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วน COD:TKN ในน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 7.31-15.75 ซึ่งมีมากพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน ตามที่ Barnard (1992) ได้รายงานว่าอัตราส่วน TCOD:TKN มีค่าเท่ากับ 7 ทำให้ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเกิดได้อย่างสมบูรณ์ เช่นเดียวกับ Goronszy (1992) ที่ได้กล่าวว่าอัตราส่วน TCOD:TKN ต่ำสุดสำหรับการบำบัด

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพควรจะมีค่าเท่ากับ 9 ซึ่งเมื่อพิจารณาการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดต่อวัน (ตารางที่ 12) พบว่า สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้สูงที่สุด เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยสามารถบำบัดได้ 0.62±0.08 กรัมไนโตรเจนต่อลิตรต่อวัน

ตารางที่ 11 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน				
	หน่วย	**ORP (mV)**		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
Influent				
TKN	**mg/L**	353.50±36.75	1,222.00±0.00	1,687.00±53.15
TN	**mg/L**	353.50±42.43	1,222.00±0.00	1,687.00±59.42
Effluent				
TKN	**mg/L**	263.15±25.85	977.00±30.16	759.53±159.63
TN	**mg/L**	263.15±29.85	977.07±34.84	759.56±178.44
NO_2^--N	**mg/L**	0.002±0.00	0.02±0.00	0.01±0.01
NO_3^--N	**mg/L**	0.01±0.00	0.05±0.02	0.05±0.02
Removal				
TKN	**(%)**	25.44±3.02	20.05±2.47	55.16±8.32
TN	**(%)**	25.44±3.02	20.04±2.85	55.16±8.32

ตารางที่ 12 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่บำบัดได้ และอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีต่าง ๆ

	หน่วย	ORP (mV)		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
TN influent	**g TN/L/d**	0.24±0.02	0.82±0.00	1.13±0.04
TN removed	**g TN/L/d**	0.06±0.01	0.16±0.02	0.62±0.08
COD:TKN		15.75±1.53	7.31±0.00	10.62±0.69

3.3.1.4 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย

จากผลการทดลองที่หลังสภาวะคงที่ พบว่า ปริมาณสารแขวนลอยที่เข้าระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 347.13±239.15, 730.00±0.00 และ 849.80±63.47 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 13) และประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ48.78, 52.33 และ 59.58 ในช่วงการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีต่อประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS)				
	หน่วย	ORP (mV)		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
Influent SS	**mg/L**	347.13±239.15	730.00±0.00	849.80±63.47
Effluent SS	**mg/L**	188.13±147.68	348.00±40.98	344.60±46.01
Removal SS	**(%)**	48.78±9.25	52.33±5.61	59.58±3.50

3.3.2 การเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเมื่อควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่

จากตารางที่ 14 ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พี ซึ่งการบำบัดสารอินทรีย์จำต้องมีธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งมีอัตราส่วน C:N:P เท่ากับ 100:5:1 เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ พบว่าในระบบบำบัดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยซีโอดีทั้งหมดที่ถูกบำบัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2347.50±265.34, 7934.26±97.26 และ 10392.00±412.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต้องใช้ไนโตรเจนในการบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 117.38, 396.71 และ 519.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในการทดลองไนโตรเจนที่อยู่ในรูปทีเคเอ็นถูกบำบัดไปเพียง 90.35, 245.00 และ 927.47 ตามลำดับ แสดงว่าซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ ไม่ได้ถูกบำบัดไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพียงอย่างเดียว แต่ถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการบำบัดไนเตรตไนโตรเจนและออกไปกับน้ำทิ้งในรูปของสารแขวนลอยด้วยเช่นกัน ต่างกับการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ ซึ่งไนโตรเจนที่อยู่ในรูปทีเคเอ็นสามารถบำบัดได้สูงกว่าไนโตรเจนที่ต้องใช้ในการบำบัดซีโอดีทั้งหมด แสดงว่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูปทีเคเอ็นนอกจากถูกใช้ไปในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วยังถูกบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันด้วย

เนื่องจากในการทดลองได้ทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีแบบไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ปฏิกิริยาทั้ง 2 เกิดขึ้นพร้อมกัน จึงไม่สามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่แน่นอนได้ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่มีการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีแบบไซมอนทาเนียสในการทดลองนั้น สามารถลดปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งลงได้ และพบว่าไนเตรตไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งมีปริมาณน้อยมาก แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองนอกจากเกิดกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว ภายในระบบยังเกิดกระบวนการไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันด้วยเช่นกัน

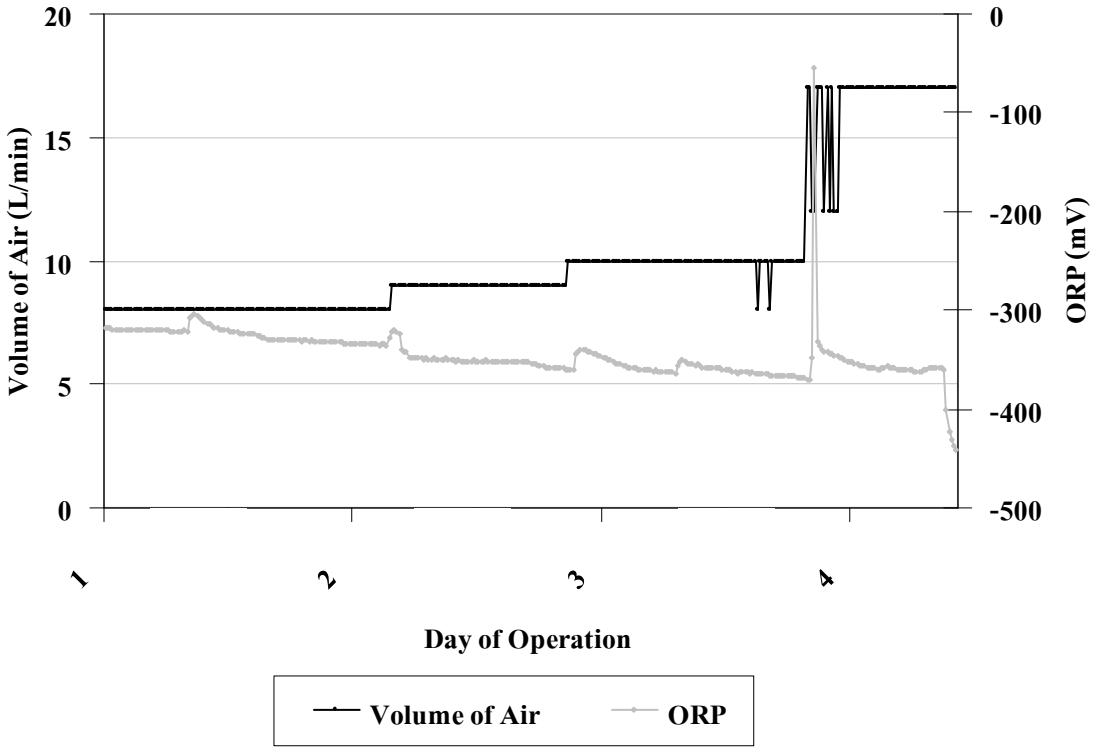
ตารางที่ 14 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่อัตราการของน้ำเสียไหลคงที่

	หน่วย	ORP (mV)		
		-325	**-200**	**-150**
จำนวนตัวอย่าง		4	4	5
Influent				
TCOD	**mg/L**	5,516.25±189.72	8,930±0.00	17,872.00±620.92
TKN	**mg/L**	353.50±36.75	1,222.00±0	1,687.00±53.15
Effluent				
TCOD	**mg/L**	3,168.75±159.47	995.74±112.31	7,480.00±652.38
TKN	**mg/L**	263.15±25.85	977.00±30.16	759.53±159.63
COD removed	**mg/L**	2,347.50	7,934.26	10,392.00
TKN removed	**mg/L**	90.35	245.00	927.47
N สำหรับการบำบัด COD	**mg/L**	117.38	396.71	519.60

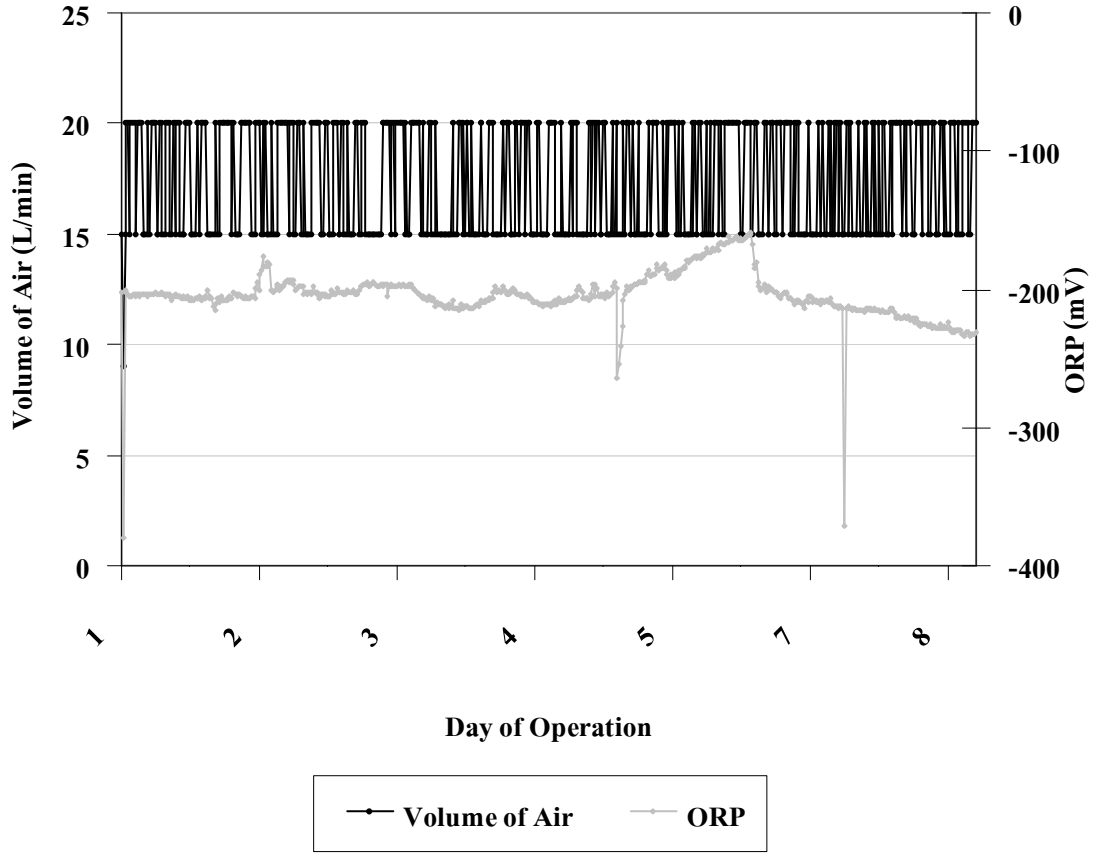
3.3.3 ปริมาณของอากาศ (Volume of Air) เมื่อควบคุมค่าออกซิเจนละลายด้วยค่าโออาร์พีที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่

จากการทดลองการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลคงที่ เพื่อการบำบัดไนโตรเจนโดยไม่ต้องแยกถังปฏิกรณ์ โดยอาศัยกระบวนการไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกันภายในถังใบเดียวกัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 20.04-55.16 และจากการศึกษาปริมาณของอากาศที่เติมเข้าไปในระบบ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการประหยัดพลังงานจากการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลคงที่ พบว่าปริมาณของอากาศที่เติมเข้าไปในระบบเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325, -200 และ -150 มิลลิโวลท์ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.27, 17.46 และ 18.00 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ

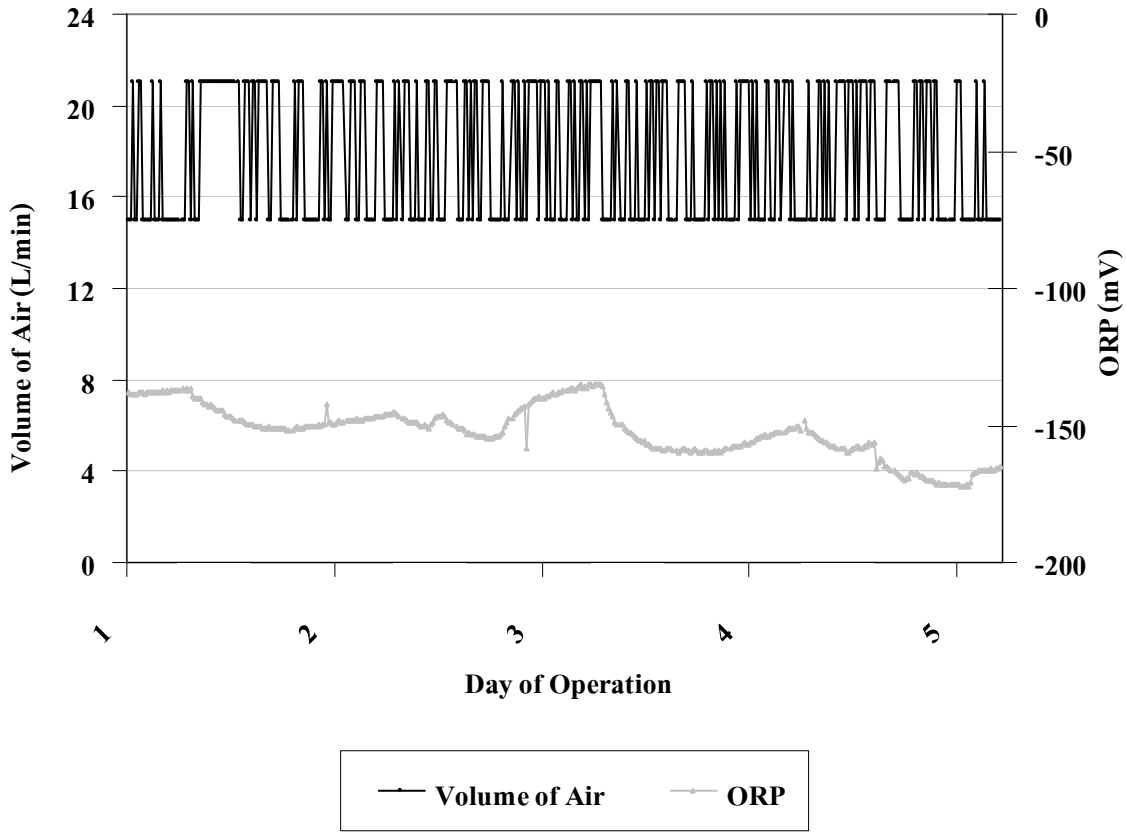
เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีแบบไซมอนทาเนียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอากาศและค่าภาระบรรทุกที่ป้อนให้กับระบบ เมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 มิลลิโวลท์ สังเกตได้ว่าปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (ภาพประกอบที่18-ก) เนื่องจากในช่วงการควบคุมดังกล่าวยังมีสภาวะค่อนข้างเป็นแอนแอโรบิก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ ความต้องการปริมาณอากาศและมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบน้อย ต่างจากการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -200 และ -150 มิลลิโวลท์ (ภาพประกอบที่ 18-ข และ 18-ค) พบว่ามีการเปลี่ยนแแปลงของปริมาณอากาศค่อนข้างมาก เนื่องจากระบบมีสภาวะที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบสูง


20
15
10
5
0
Volume of Air (L/min)
0
-100
-200
-300
-400
-500
ORP (mV)
1
2
3
4
Day of Operation
Volume of Air
ORP

(ก)


25
20
15
10
5
0
Volume of Air (L/min)
0
-100
-200
-300
-400
ORP (mV)
1
2
3
4
5
7
8
Day of Operation
Volume of Air
ORP

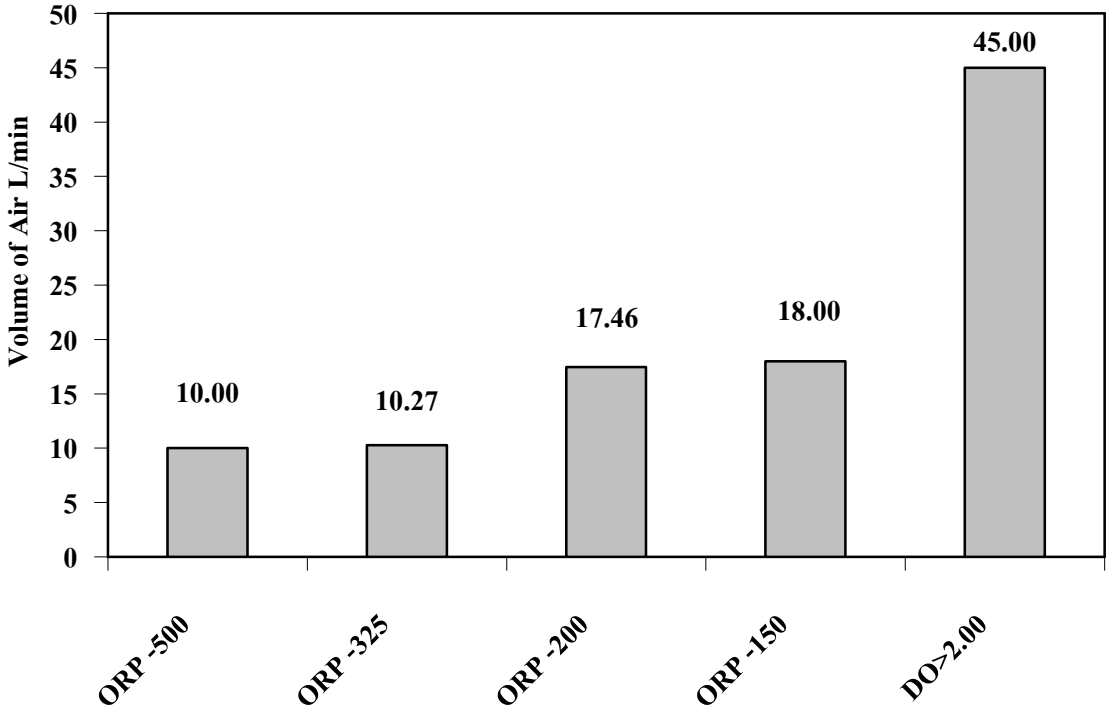
(ข)



(ค)

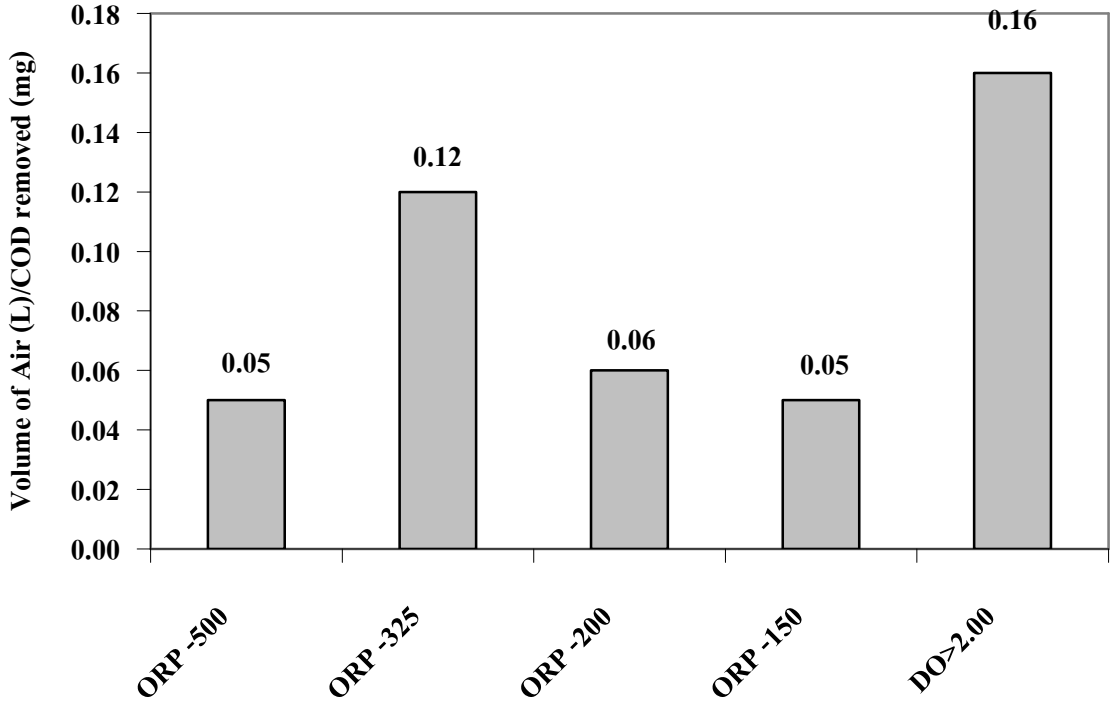
ภาพประกอบที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามปริมาณอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อโออาร์พีมีค่า (ก) -325 มิลลิโวลท์ (ข) -200 มิลลิโวลท์ (ค) -150 มิลลิโวลท์

สำหรับการทดลองในครั้งนี้ ได้เปรียบเทียบปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีแตกต่างกัน พบว่าปริมาณของอากาศมีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณของอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีให้มีค่าสูงขึ้น โดยเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -325 มิลลิโวลท์ ปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบมีค่าน้อยที่สุด 10.27 ลิตรต่อนาที และมีค่าปริมาณอากาศมากสุดเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยมีค่าสูงถึง 18.00 ลิตรต่อนาที แต่ก็ยังมีปริมาณของอากาศที่เติมให้กับระบบน้อยกว่าการควบคุมการเติมอากาศให้มีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีปริมาณอากาศสูงถึง 45 ลิตรต่อนาที แสดงดังภาพประกอบที่ 21 (ผลจากการเดินระบบช่วงแรกในหัวข้อ 3.2)

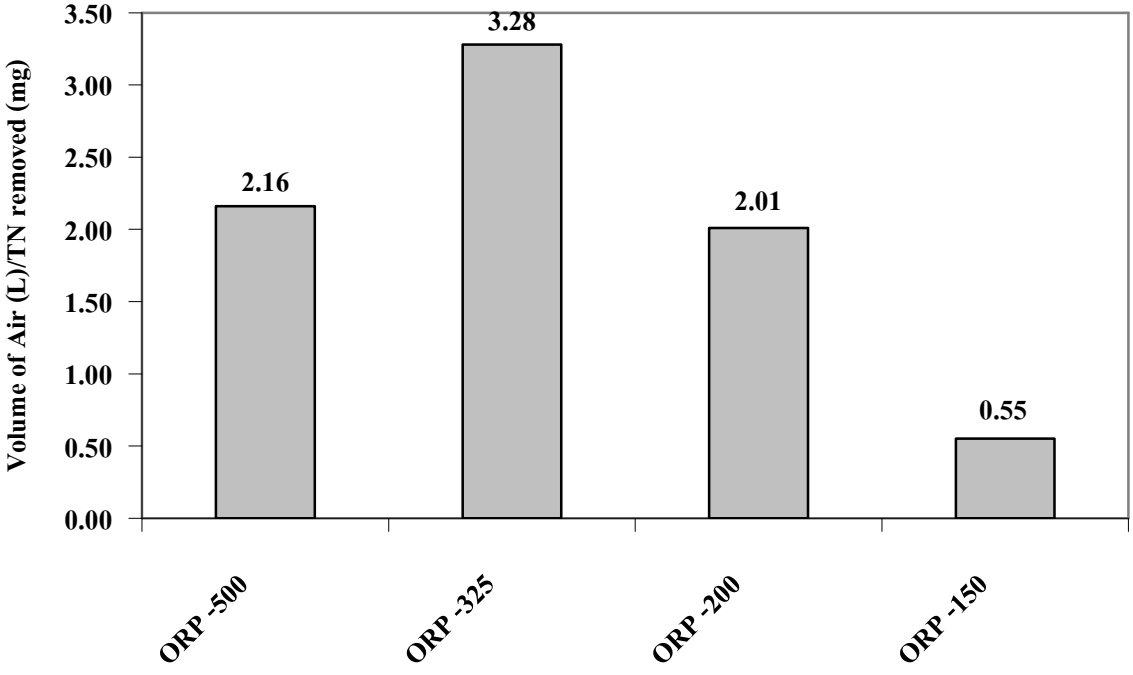


ภาพประกอบที่ 21 ปริมาณของอากาศโดยเฉลี่ย ที่เติมเข้าไปในระบบเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีต่างๆ และค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

เนื่องจากแต่ละชุดการทดลองที่มีการควบคุมค่าโออาร์พีนั้น พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ป้อนให้กับระบบมีค่าแตกต่างกัน จึงได้ทำการศึกษาปริมาณอากาศต่อการบำบัดสารอินทรีย์ (ภาพประกอบที่ 22) และปริมาณอากาศต่อการบำบัดไนโตรเจน (ภาพประกอบที่ 23)



ภาพประกอบที่ 22 การเปรียบเทียบปริมาณของอากาศต่อการบำบัดซีโอดี เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีต่างๆ และออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพประกอบที่ 23 การ เปรียบเทียบปริมาณของอากาศต่อการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอากาศต่อการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด จากภาพประกอบที่ 22 และ ที่ 23 จะเห็นได้ว่าในการบำบัดซีโอดี 1 มิลลิกรัม จะใช้ปริมาณอากาศ 0.05-0.12 ลิตร และการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 1 มิลลิกรัม จะใช้ปริมาณอากาศ 0.55-3.28 ลิตร โดยพบว่าในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีแบบคงที่ที่ -150 มิลลิโวลท์ จะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเพียง 0.55 ลิตร ซึ่งถือว่าการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ใช้ในการเติมอากาศ ดังนั้นถ้าปริมาณอากาศที่เติมในถังเติมอากาศมีปริมาณลดน้อยลงก็หมายถึงพลังงานที่ใช้ในระบบนั้นมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระบบโดยให้ค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามคำแนะนำจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก โดยจะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดซีโอดีสูงกว่าความต้องการของระบบ ซึ่งจะใช้ปริมาณอากาศต่อการบำบัดซีโอดีถึง 0.16 ลิตรต่อมิลลิกรัมซีโอดี

3.4 ผลการศึกษาเมื่อมีการควบคุมการเติมอากาศ ด้วยค่าโออาร์พีโดยอัตราการไหลของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน

ในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียมีความแตกต่างกัน เนื่องจากมีการผลิตสกิมเครพ ควบคู่กันไปกับการผลิตน้ำยางข้น โดยน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตน้ำยางข้นถูกปล่อยออกมาค่อนข้างจะต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ในขณะที่น้ำเสียจากการผลิตสกิมเครพถูกปล่อยออกมาเป็นครั้งคราว ดังนั้นความแตกต่างของปริมาณและลักษณะของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียในช่วงเวลาที่ต่างกันจึงมีมาก ทำให้จุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียต้องมีการปรับตัว เพื่อให้สามารถทนอยู่ในภาระบรรทุกที่แตกต่างกันในรอบวันค่อนข้างมาก

ดังนั้น จึงได้ทำการทดลองโดยการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยให้อัตราการไหลของน้ำเสียมีเปลี่ยนแปลง ซึ่งเลียนแบบอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำเสียจริงในโรงงาน โดยในแต่ละช่วงเวลาของวันจะมีอัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้นในบางช่วง และในบางช่วงอัตราการไหลของน้ำเสียจะลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลดังกล่าวทำให้ระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นเป็น 48 ชั่วโมง

3.4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนโดยการควบคุมการเติมอากาศด้วยการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ และทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในระหว่างวัน เนื่องจากค่าโออาร์พีดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองเมื่อมีอัตราการไหลคงที่

3.4.2.2 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

เมื่อทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงในระบบบำบัดจำลองได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี โดยทำการวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมด ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 15

ผลการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 63.90±2.15 ซึ่งมีความเข้มข้นของซีโอดีทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดจำลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10,056.67±410.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อน้ำเสียได้ผ่านการบำบัดทำให้ความเข้มข้นของค่าซีโอดีทั้งหมดลดลง 3,634.44±306.24 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายพบว่า มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ พบว่า มีค่าสูง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 กิโลกรัมซีโอดีต่อวันต่อกิโลกรัมของแข็งแขวนลอย

จากผลการทดลองควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโอาร์พีโดยอัตราการไหลเปลี่ยนแปลง พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ได้สูงขึ้น โดยพบว่า ซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ต่อวัน (ตารางที่ 16) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.21±0.13 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน

ตารางที่ 15 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยให้อัตราการไหลมีการปลี่ยนแปลงในระหว่างวันต่อ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมด (TCOD)		
จำนวนตัวอย่าง		9
Influent		
TCOD	**mg/L**	10,056.67±410.20
Effluent		
TCOD	**mg/L**	3,634.44±306.24
Removal		
TCOD	**(%)**	63.90±2.15

ตารางที่ 16 ปริมาณซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ ค่าออกซิเจนละลาย และอัตราส่วนอาหารและจุลินทรีย์ในการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ เมื่อมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน

ซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ ค่าออกซิเจนละลาย และอัตราส่วนอาหารและจุลินทรีย์		
จำนวนตัวอย่าง		9
TCOD influent	**g COD/L/d**	5.03±0.21
TCOD removed	**g COD/L/d**	3.21±0.13
F/M	**kg COD/kg MLSS/d**	1.90
DO	**mg/L**	0.4

3.4.2.3 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ ได้พิจารณา ในภาพรวมของการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยอัตราการไหลเปลี่ยนแปลง ในระบบบำบัดจำลอง ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 17

จากผลการทดลองหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 52.78±2.97 โดยจะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 924.33±98.34 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งโดยส่วนใหญ่ไนโตรเจนในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจน จากการทดลองพบว่ามีแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเข้าระบบโดยเฉลี่ย 685.67±183.12 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่บำบัดได้ต่อวัน (ตารางที่ 18) พบว่า มีค่าเฉลี่ย 0.24±0.03 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อวัน

จากการควบคุมค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียเปลี่ยนแปลง พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนและสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของทีเคเอ็นได้ดีพอสมควร แต่ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดก็ไม่ได้สูงมาก อาจเกิดจากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูงและมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าในระบบมีกระบวนการไซมอนทาเนียส ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น สังเกตได้จากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของทีเคเอ็นมีค่าลดลงและความเข้มข้นของไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีปริมาณน้อย

ตารางที่ 17 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยให้อัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างวันต่อประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจน		
จำนวนตัวอย่าง		9
Influent		
TKN	**mg/L**	924.33±98.34
NH_3-N	**mg/L**	670.13±188.55
TN	**mg/L**	924.33±98.34
Effluent		
TKN	**mg/L**	436.33±52.00
NH_3-N	**mg/L**	270.63±65.64
TN	**mg/L**	436.36±51.99
NO_2-N	**mg/L**	0.01±0.00
NO_3-N	**mg/L**	0.04±0.02
Removal		
TKN	**(%)**	52.78±2.97
NH_3-N	**(%)**	58.85±3.94
TN	**(%)**	52.78±2.97

ตารางที่ 18 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่บำบัดได้ และค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น ในการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ เมื่อมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน

ไนโตรเจนทั้งหมดที่บำบัดได้ และค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็น		
จำนวนตัวอย่าง		9
TN influent	**g TN/L/d**	0.46±0.05
TN removed	**g TN/L/d**	0.24±0.03
COD:TKN		10.97±0.85

3.4.2.4 ผลของการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลง ต่อประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย

จากผลการทดลองที่สภาวะคงที่ (ตารางที่ 19) พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณของแข็งแขวนลอย มีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60.89 โดยมีปริมาณสารแขวนลอยที่เข้าระบบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 805 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 19 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน ต่อประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS)		
จำนวนตัวอย่าง		9
Influent SS	**mg/L**	805.00±100.42
Effluent SS	**mg/L**	315.56±47.05
Removal	**(%)**	60.89±1.78

3.4.3 การเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเมื่อควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยให้อัตราการไหลของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง

จากการทดลอง (ตารางที่ 20) การบำบัดซีโอดีทั้งหมดเมื่อควบคุมค่าโออาร์พี -150 มิลลิโวลท์ โดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน พบว่าซีโอดีทั้งหมดที่ถูกบำบัดได้มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6422.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการบำบัดสารอินทรีย์จำต้องมีธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งมีอัตราส่วน C:N:P เท่ากับ 100:5:1 โดยซีโอดีทั้งหมดที่บำบัดได้ต้องใช้ไนโตรเจนในการบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 321.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็นที่บำบัดได้มีค่า 488.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าไนโตรเจนที่ต้องใช้ในการบำบัดซีโอดีทั้งหมด แสดงว่าไนโตรเจนที่อยู่ในรูปทีเคเอ็นนอกจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วยังถูกบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันด้วย ดังนั้นไนโตรเจนที่เหลือจากการบำบัดซีโอดี จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรต์ไนโตรเจนและไนเตรตไนโตรเจนด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน และถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนด้วยปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันต่อไป เนื่องจากในการทดลองได้ทำการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีแบบไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ปฏิกิริยาทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมกัน จึงไม่สามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่แน่นอนได้ อย่างไรก็ตามการควบคุมการเติมอากาศด้วย

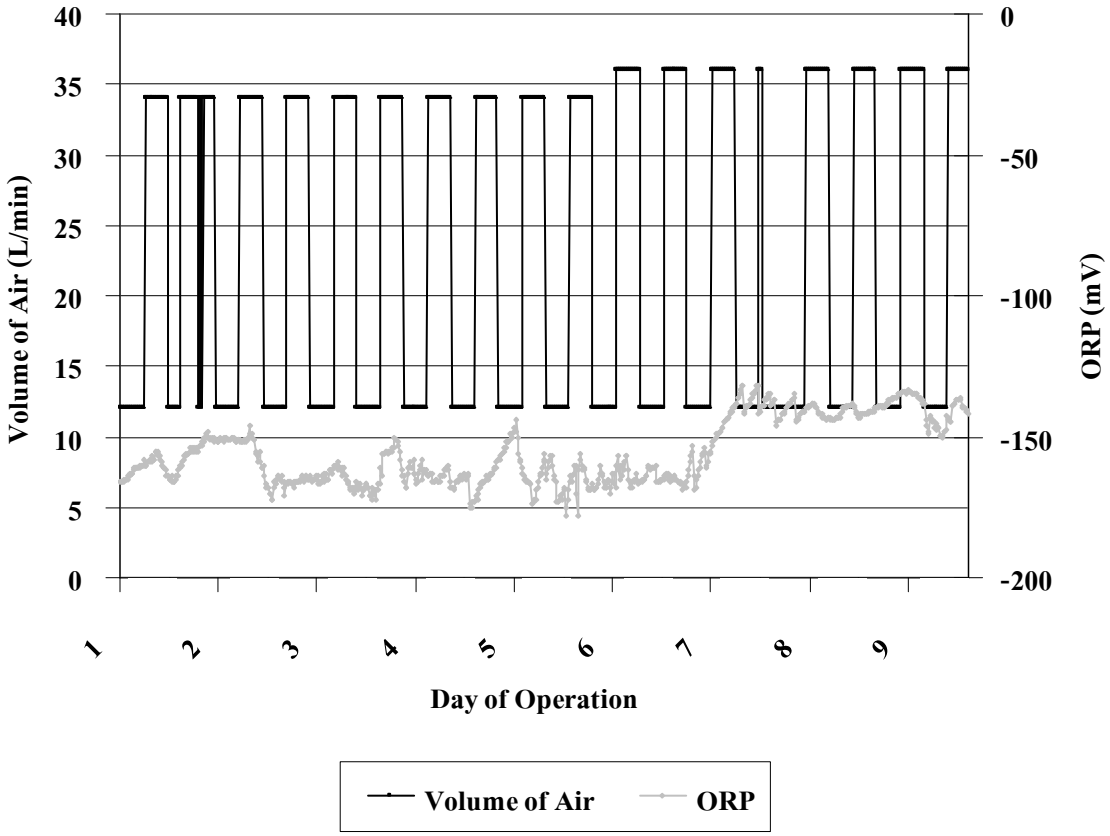
ค่าโออาร์พีแบบไซมอนทาเนียสนั้นสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งลงได้ แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองนอกจากเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้ว ภายในระบบยังเกิดกระบวนการไซมอนทาเนียสไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันด้วยเช่นกัน สังเกตได้จากปริมาณความเข้มข้นของทีเคเอ็นลดลง และไนเตรตไนโตรเจนในน้ำทิ้งมีปริมาณน้อย

ตารางที่ 20 ผลของการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ ต่อการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน โดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน

การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน		
จำนวนตัวอย่าง		9
Influent		
TCOD	**mg/L**	10,056.67±410.20
TKN	**mg/L**	924.33±98.34
Effluent		
TCOD	**mg/L**	3,634.44±306.24
TKN	**mg/L**	436.33±52.00
COD removed	**mg/L**	6422.00
TKN removed	**mg/L**	488.00
N สำหรับบำบัด COD	**mg/L**	321.10

3.4.4 ปริมาณของอากาศ (Volume of Air) เมื่อมีการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยให้อัตราการไหลของน้ำเสียมีการเปลี่ยนแปลง

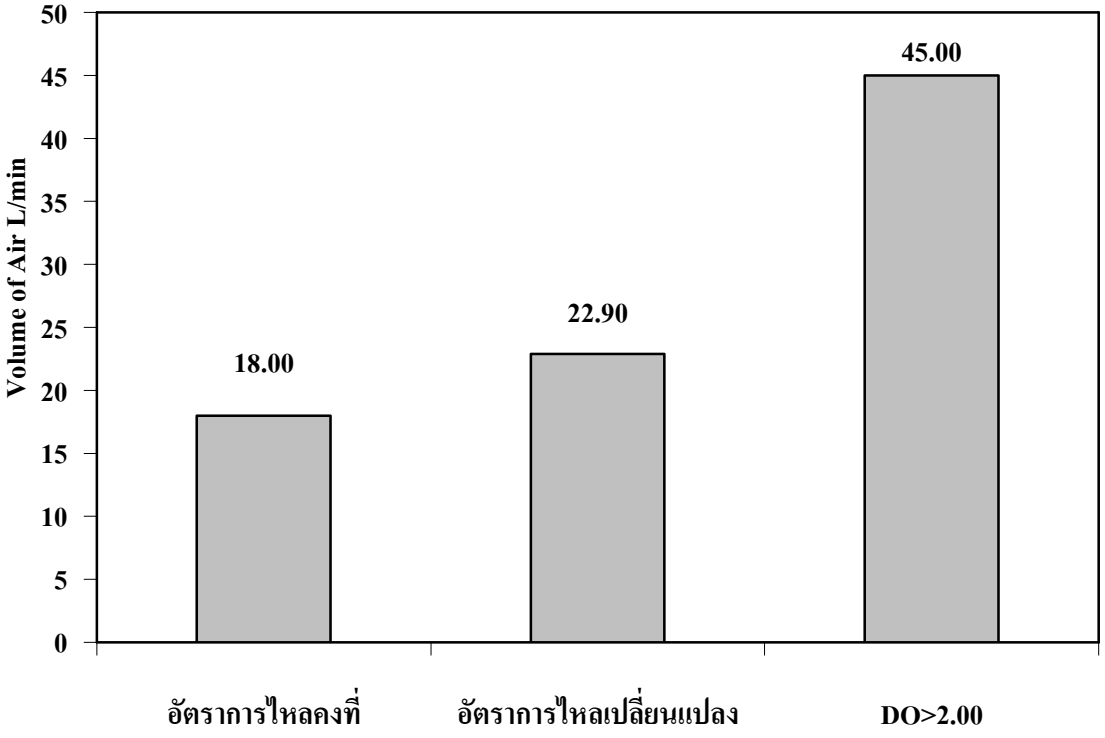
จากการทดลองการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวันเพื่อเลียนแบบอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงในโรงงาน โดยได้ควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ พบว่า สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้โดยฉลี่ยร้อยละ 52.78 และจากการศึกษาปริมาณของอากาศที่เติมเข้าไปในระบบ โดยสังเกตได้ว่า ค่าโออาร์พีจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบ (ภาพประกอบที่ 24)



ภาพประกอบที่ 24 การเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามปริมาณอากาศที่เปลี่ยนแปลงเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีโดยให้อัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลง

ในการเปรียบเทียบอัตราการประหยัดพลังงานจากการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีโดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลง พบว่าปริมาณของอากาศที่เติมเข้าไปในระบบ มีค่าโดยเฉลี่ย 22.9 ลิตรต่อนาที ซึ่งสูงกว่าปริมาณอากาศที่เติมให้กับระบบเมื่อมีอัตราการไหลคงที่จากควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ เช่นเดียวกัน

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระบบให้มีค่าออกซิเจนละลายสูงกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรตามคำแนะนำนั้น พบว่า ปริมาณของอากาศจะมีค่าสูงถึง 45 ลิตรต่อนาที ซึ่งเป็นปริมาณของอากาศที่สูงกว่าความต้องการของระบบเมื่อมีการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยให้มีอัตราการไหลคงที่และอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน (ภาพประกอบที่ 25)

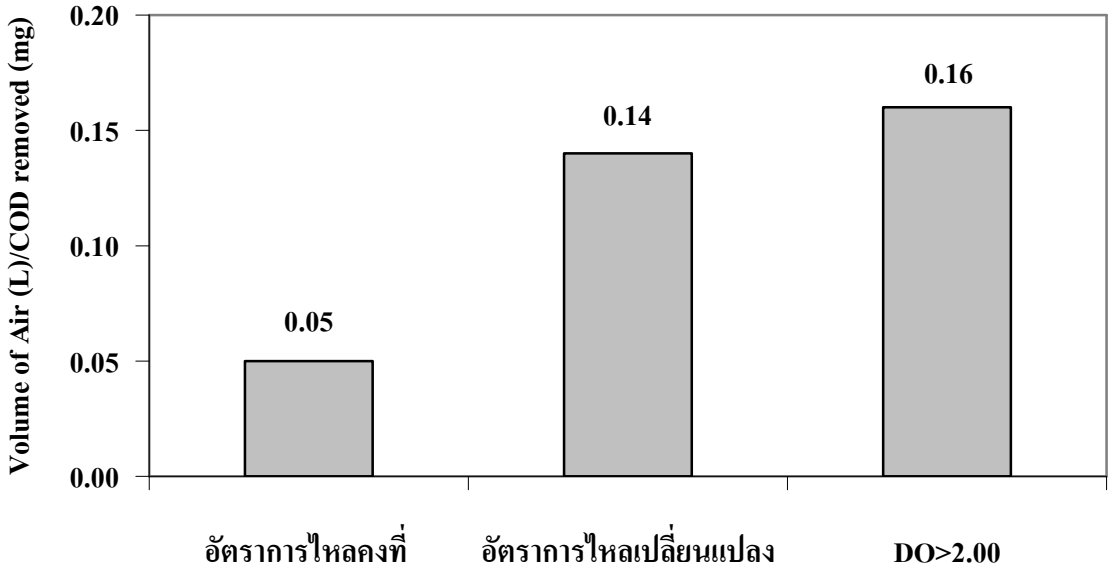


ภาพประกอบที่ 25 ปริมาณของอากาศโดยเฉลี่ย ที่เติมเข้าไปในระบบเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ และค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

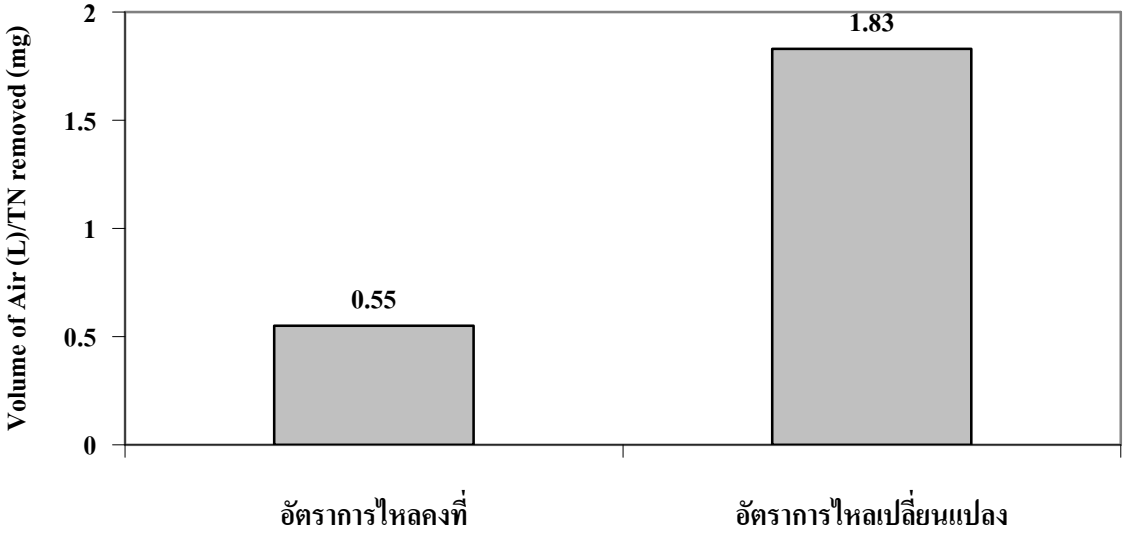
เนื่องจากในการทดลอง พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และไนโตรเจนที่ป้อนให้กับระบบมีค่าแตกต่างกัน จึงได้ทำการศึกษาปริมาณอากาศต่อการบำบัดสารอินทรีย์ (ภาพประกอบที่ 26) และปริมาณอากาศต่อการบำบัดไนโตรเจน (ภาพประกอบที่ 27)

ปริมาณอากาศต่อการบำบัดซีโอดีทั้งหมดและไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน จากภาพประกอบที่ 24 และ 25 จะเห็นได้ว่าในการบำบัดซีโอดี 1 มิลลิกรัม จะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัด 0.14 ลิตรและการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 1 มิลลิกรัม จะใช้ปริมาณอากาศ 1.83 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณอากาศที่ใช้ในการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ เช่นเดียวกันแต่มีอัตราการไหลต่างกัน พบว่า เมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่จะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดน้อยกว่าการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์โดยมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน ซึ่งจะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดซีโอดีและไนโตรเจนทั้งหมดเพียง 0.05 และ 0.56 ลิตรต่อมิลลิกรัม อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินระบบให้ค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อ

ลิตรตามคำแนะนำนั้นจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก โดยจะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดซีโอดีสูงกว่าความต้องการของระบบ



ภาพประกอบที่ 26 ปริมาณของอากาศต่อการบำบัดซีโอดีทั้งหมดเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ และค่าออกซิเจนละลาย



ภาพประกอบที่ 27 ปริมาณของอากาศต่อการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์

อย่างไรก็ตาม พบว่าการควบคุมการเติมอากาศโดยอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลง มีการใช้ปริมาณอากาศสูงกว่าเมื่อมีการควบคุมการเติมอากาศโดยมีอัตราการไหลคงที่ แสดงว่าอัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยสังเกตได้จากการควบคุมการเติมอากาศโดยใช้ค่าโออาร์พี แบบไซมอนทาเนียส เมื่อมีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลง แม้จะเดินระบบด้วยระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น และมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนใกล้เคียงกับการควบคุมค่าโออาร์พีเมื่อมีอัตราการไหลคงที่ แต่มีอัตราการใช้ปริมาณอากาศสูงขึ้นมาก ดังนั้นในระบบบำบัดน้ำเสียควรมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลคงที่อยู่ตลอด โดยอาจให้น้ำเสียไหลลงสู่บ่อพักน้ำเสียก่อนลงสู่บ่อเติมอากาศ

3.5 การประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัด

พลังงานและค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มาจากการเติมอากาศ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า การควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ โดยมีอัตราการไหลของน้ำเสียคงที่ มีประสิทธิภาพในการบำบัดและประหยัดพลังงานมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบการควบคุมค่าออกซิเจนละลายให้มีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 68.75% จากปริมาณอากาศที่ใช้ไปในการบำบัดซีโอดี โดยเมื่อเดินระบบโดยการควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ จะใช้ปริมาณอากาศในการบำบัดซีโอดี 0.05 ลิตรต่อมิลลิกรัมซีโอดี ในขณะที่การควบคุมค่าออกซิเจนละลายให้มีค่ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณอากาศต่อการบำบัดซีโอดีถึง 0.16 ลิตรต่อมิลลิกรัมซีโอดี

เมื่อพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยคิดจากค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการเติมอากาศในระบบ

โดยที่ ค่าไฟฟ้า = จำนวนหน่วย x อัตราค่ากระแสไฟต่อหน่วย

จำนวนหน่วย = กิโลวัตต์ x ชั่วโมงที่ใช้งาน

อัตราค่ากระแสไฟต่อหน่วย = 1.8047 บาท

ซึ่งปั๊มเติมอากาศที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองมีกำลังไฟฟ้า 3 แรงม้า (1 แรงม้าเท่ากับ 0.746 กิโลวัตต์) และใช้งานตลอดทั้งวัน เพราะฉะนั้นปั๊มเติมอากาศจะมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.238 กิโลวัตต์ คิดเป็นจำนวนหน่วยที่ใช้ต่อวันเท่ากับกิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าคูณด้วยชั่วโมงที่ใช้งาน (2.238 กิโลวัตต์ x 24 ชั่วโมง) ดังนั้นปั๊มเติมอากาศจะใช้ไฟฟ้าวันละ 53.71 หน่วย ซึ่งหากคิดเป็นค่าไฟฟ้าในระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง โดยคิดจากจำนวนหน่วยที่ใช้คูณด้วยอัตราค่ากระแสไฟต่อหน่วยซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1.8047 บาท พบว่า เมื่อเดินระบบโดยให้มีค่าออกซิเจน

ละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเดือนละประมาณ 2,908 บาท (53.71 หน่วย x 1.8047 บาท x 30 วัน) สำหรับปริมาณอากาศที่ใช้ในการบำบัดซีโอดี ซึ่งหากเดินระบบโดยการควบคุมการเติมอากาศด้วยค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 68.75% ดังนั้น การเดินระบบเมื่อควบคุมค่าโออาร์พีที่ -150 มิลลิโวลท์ ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าเพียงเดือนละประมาณ 909 บาท ซึ่งการเดินระบบโดยการควบคุมโออาร์พีนั้นนอกจากจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้แล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย