

ผลและการวิจารณ์

ศึกษาการลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์แอกทิฟของน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เชื้อราเบสิดิโอไมไซต์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว

ในการวิจัยจะเริ่มต้นศึกษาโดยการหาประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี (COD), การลดความเข้มข้นค่าสีโดยวิธีการวัดค่าการดูดซับสีในช่วงค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่งของสีแต่ละชนิด (Absorbance) และทำการศึกษาค่าจนผลศาสตร์การเติบโตของเชื้อราเบสิดิโอไมไซต์ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของสีย้อมชนิดรีแอกทิฟซึ่งแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง การทดลองชุดที่ 1 การทดลองแบบทีละเท (Batch) ส่วนการทดลองชุดที่ 2 การทดลองแบบถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีเยื่อกรองละเอียดจมตัวขนาด 20 ไมครอน (μm) กำหนดระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 8 ชม., ค่าอัตราสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) 1.2, 2.4, 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน (kg-COD/kg-MLSS) และการทดลองชุดที่ 3 การทดลองระบบเอสบีอาร์ (SBR : Sequencing Batch Reactor) น้ำไหลเข้าระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำในถังปฏิกรณ์ที่มีเยื่อกรองละเอียดจมตัว (Microfilter Bioreactor : MBR) ซึ่งในระบบนี้จะตัดส่วนของถังตกตะกอนในระบบเอสบีอาร์เนื่องจากมีเยื่อกรองละเอียดจมตัวเป็นตัวกรองน้ำออกจากระบบแล้ว โดยจะกำหนดระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 4 ชั่วโมง ค่าอัตราสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) 1.2, 2.4, 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน (kg-COD/kg-MLSS)

1 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเชื้อราแบบทีละเท (Batch Reactor)

1.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของเชื้อราแบบทีละเท (Batch Reactor) ครั้งที่ 1

ในการศึกษาการบำบัดชีโอดีของระบบแบบทีละเท (Batch Reactor) โดยใช้เชื้อราชนิดเบสิดิโอไมไซต์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของสีย้อมรีแอกทิฟลู เอ 13 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ถึง 1 (ไม่มีเชื้อรา) เป็นถังที่ไม่มีทางใส่เชื้อราลงไปเพื่อใช้เป็นตัวควบคุม (Control) ส่วนถังที่ 2 (เชื้อรา) เป็นถังที่ทำการใส่เชื้อราชนิดเบสิดิโอไมไซต์ น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบมีค่าชีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 531.44 มก./ล. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS) เริ่มต้นเท่ากับ 350 มก./ล. ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 33 มก./ล. ทำการศึกษาการบำบัดชีโอดีและค่าความเข้มข้นที่ระยะเวลาต่างๆ

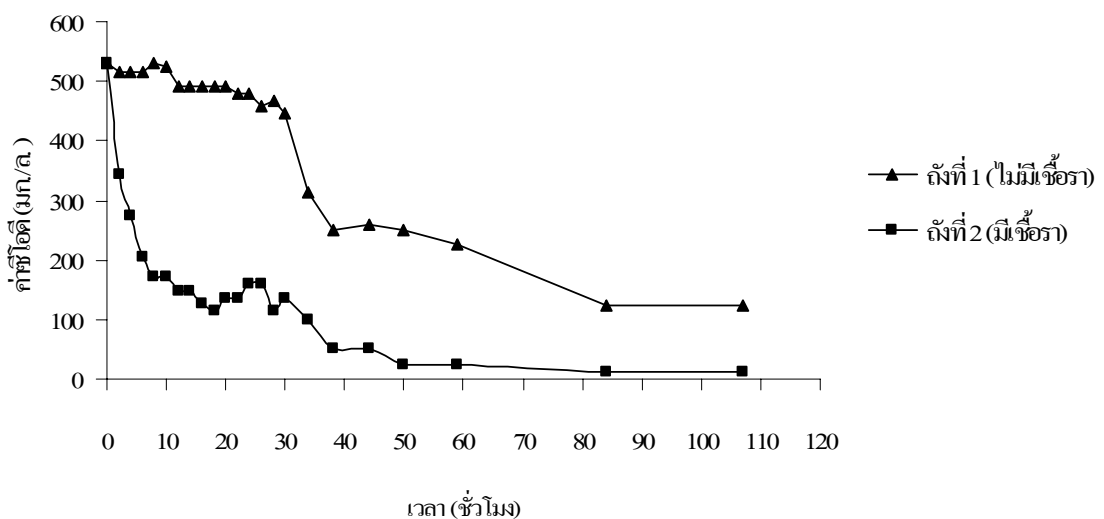
โดยการทดลองแบบทีละเท (Batch Reactor) มีการเติมน้ำเสียเข้าครั้งเดียว โดยจะมีการเก็บตัวอย่างมาทำการทดลองในช่วงระยะเวลาต่างๆ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้คือ ค่าซีโอดี (COD), ค่าความเข้มสี (Color), พีเอช (pH), ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน (MLSS)

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดที่มีการนำเอาเชื้อรามาใช้ประโยชน์ในการบำบัดสีย้อมที่ย่อยสลายยาก ซึ่งจุลินทรีย์ใช้อากาศ ในระบบบำบัดทั่วไปไม่สามารถย่อยสลายสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ ในการทดลองนี้จึงมีการนำเชื้อราชนิดเบสิดิโอมไซค์เข้ามาใช้ในการบำบัดความเข้มสีย้อมอีกทั้งปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียอีกด้วย ซึ่งเป้าหมายที่สำคัญในการทดลองแบบทีละเทเพื่อหาแนวทางในการออกแบบปรับปรุงระบบบำบัดที่มีอยู่เดิมของโรงงานฟอกย้อมอีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบทีละเทไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว (Microfilter Bioreactor : MBR) โดยใช้เชื้อราและใช้กับระบบถังปฏิกรณ์ที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง (CSTR) ต่อไป ซึ่งเกณฑ์ในการออกแบบคือ ระยะเวลาเก็บกัก (HRT), อัตราส่วนระหว่างสารอาหารต่อมวลจุลินทรีย์ (F/M ratio) และปริมาณเชื้อที่ละลายในน้ำ (MLSS)

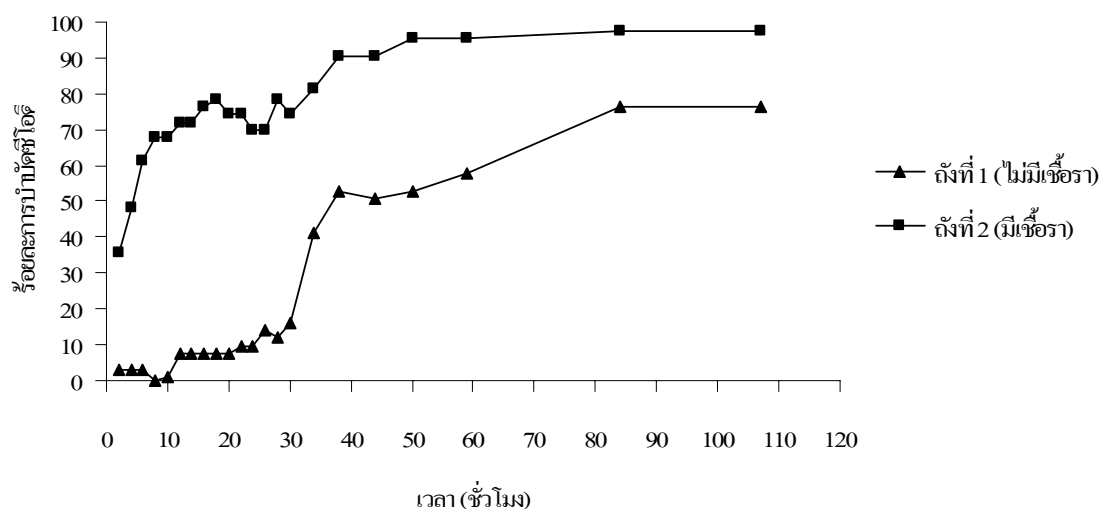
1.1.1 การบำบัดซีโอดี

จากภาพที่ 11 และ 12 เป็นภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของซีโอดีต่อเวลาและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่อเวลา ตามลำดับ ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่าถังที่ 1 (ไม่มีเชื้อรา) ซึ่งเป็นถังที่ปฏิกรณ์ที่ไม่มีเชื้อราอยู่ในถัง โดยมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์และเติมอากาศเข้าไปในถัง ผลการทดลองพบว่า ค่าซีโอดีน้ำที่เข้าถังที่ 1 มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 534.1 มก./ล. จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงระยะเวลาที่ 24 ชั่วโมงพบว่าค่าซีโอดีลดลงจากค่าเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย ที่ระยะเวลา 2-30 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 0.2-16.1% แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปอีกช่วงหนึ่งปรากฏว่ามีการลดลงของค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองที่ระยะเวลา 34-107 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 41.2-76.5%

ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาภายในถังที่ 1 ได้ดังนี้ ในช่วงระยะแรกที่ช่วงเวลา 0-30 ชั่วโมงแรกมีการลดลงของค่าซีโอดีน้อยแต่เมื่อเวลาผ่านไปที่ระยะเวลาในถังมากขึ้น จะส่งผลให้มีการบำบัดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหตุผลอันเนื่องมาจากถังที่ 1 ซึ่งเป็นถังที่ไม่มีเชื้อราเมื่อมีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ลงไปในถัง ซึ่งน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการเติมลงไปมีสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั่วไป มีองค์ประกอบหลักของคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและสารอาหารอื่นๆ ที่เวลาเริ่มต้นไม่มีเชื้ออื่นปะปนเป็นสารอาหารจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการเตรียมเท่านั้น เนื่องจากน้ำเสียผ่านการทำการปลอดเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิและความดัน ทำให้ไม่สามารถมีเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นได้ แต่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อเชื้อที่ใช้อากาศเมื่อมีสารอาหาร อุณหภูมิ อากาศที่เหมาะสม ทำให้เชื้อแบคทีเรียที่ใช้อากาศสามารถเกิดและเจริญเติบโตได้ในถังปฏิกรณ์ สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเชื้อแบคทีเรียเริ่มเกิดขึ้นภายในถังช่วงแรกซึ่งเชื้อแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั่วไปเริ่มมีการเจริญเติบโตขึ้นจึงมีการใช้กลูโคสที่เป็นแหล่งสารอาหารไม่มากนัก ทำให้ค่าซีโอดีลดลงเล็กน้อยในช่วง 30 ชั่วโมงแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปเชื้อแบคทีเรียเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องการสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตและสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบได้เพื่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั่วไป



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีต่อเวลาของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 1

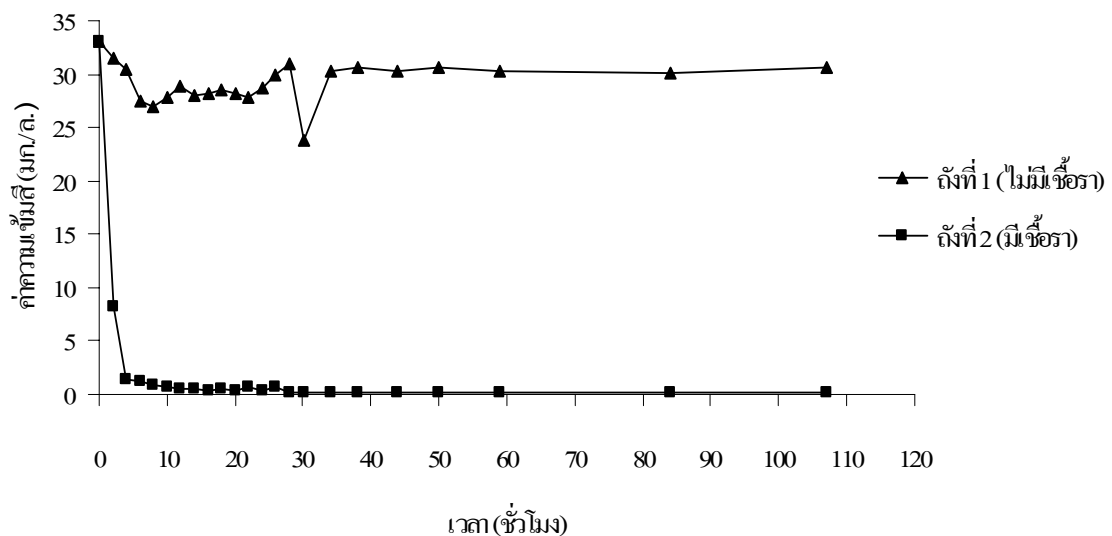


ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของการทดลองแบบที่ละเท ครั้งที่ 1

ส่วนถึงที่ 2 (มีเชื้อรา) ซึ่งเป็นถึงปฏิกรณ์ที่มีเชื้อราเบสิดิโอไมไซค์อยู่ภายในถึงปฏิกรณ์ จากภาพที่ 11 และ 12 จะพบว่าเริ่มมีการลดลงของค่าซีไอดีอย่างรวดเร็วตั้งแต่ระยะเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ผลการทดลองที่ระยะเวลา 2-30 และ 34-107 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพบำบัดซีไอดี 35.5-74.2 และ 81.2-97.6% ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีสูง จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเชื้อราที่อยู่ในถึงปฏิกรณ์ใช้สารอาหารเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโตและเพื่อกระตุ้นการสร้างกิจกรรมบางอย่างให้เกิดขึ้น (Driessel and Christov, 2001) เติมน้ำกลูโคสลงไปเพื่อกระตุ้นให้เกิดการทำเพื่อไปเป็นสารที่เร่งให้เกิดกิจกรรมขึ้นในเชื้อราที่ทำการศึกษาวิจัย ซึ่งจะเกิดกิจกรรมขึ้นได้เนื่องจากการเติมน้ำกลูโคสสามารถกระตุ้นให้มีการเกิดกิจกรรมการสร้างเอนไซม์ย่อยสลายสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นในเชื้อราขาวได้ จากการวิจัยดังกล่าวนี้สามารถอธิบายถึงกลไกในการบำบัดซีไอดีที่เกิดขึ้นได้ด้วย 2 กลไก คือ 1. การดูดซับ 2. การผลิตเอนไซม์ ที่ค่าซีไอดีเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรก เนื่องมาจาก เชื้อราในถึงปฏิกรณ์เกิดกลไกการดูดซับกลูโคสเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสารอินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อนที่ย่อยได้โดยที่กิจกรรมการปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เชื้อราเพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ส่งผลให้ค่าซีไอดีลดลงและมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดซีไอดีโดยจากภาพที่ 12 พบว่าชั่วโมงที่ 4 และ 8 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีเท่ากับ 48.4 และ 67.7 % ตามลำดับ

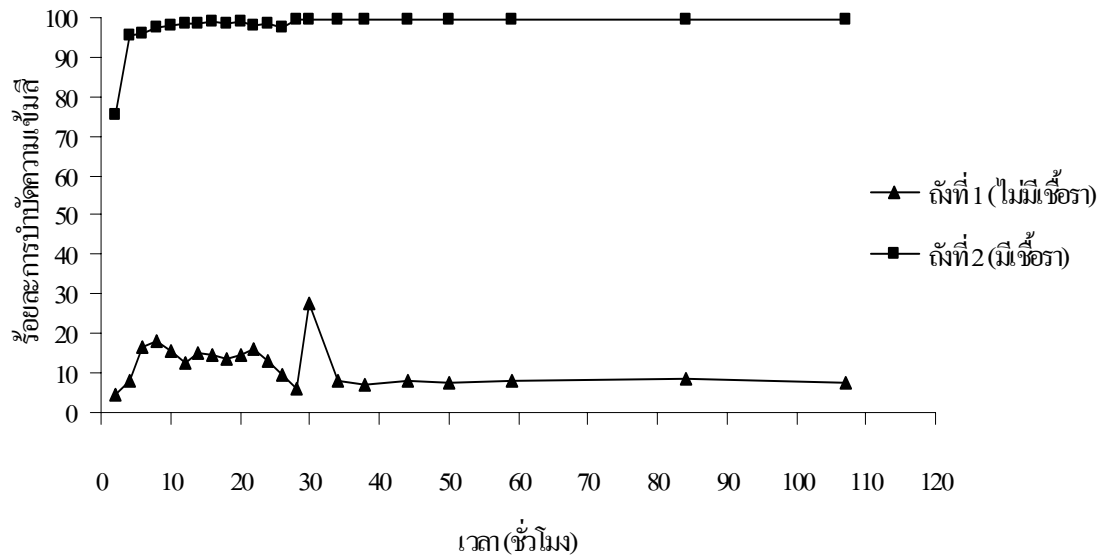
1.1.2 การบำบัดความเข้มข้น

ในการศึกษาการบำบัดค่าความเข้มข้นชนิดรีแอกทีฟฟลู เอ 13 ของระบบแบบที่ละเท โดยใช้เชื้อราชนิดเบสิดิโอมไฮด์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ มีค่าความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 33.00 มก./ล. ศึกษาการบำบัดที่ระยะเวลาต่างๆ ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์การบำบัดค่าความเข้มข้นต่อเวลาในภาพที่ 13 อีกทั้งยังทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาต่างๆ ซึ่งได้แสดงในภาพที่ 14 ผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นของถังที่ 1 (ไม่มีเชื้อรา) จากค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 33.00 มก./ล. จะพบว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นได้สูงสุดที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 23.82 มก./ล. ที่เวลา 30 ชั่วโมงและภาพรวมในการบำบัดความเข้มข้นที่ระยะเวลา 0-107 ชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพรวมในการบำบัดคือ 4.8-31.0% เลือกเวลาที่จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบที่ระยะการบำบัดที่ 4 และ 8 ชั่วโมง ได้ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นเท่ากับ 95.6 และ 97.4 % ตามลำดับ



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นต่อเวลาของการทดลองแบบที่ละเท ครั้งที่ 1

ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นต่อเวลาของการทดลองแบบที่ละเท ครั้งที่ 1



ซึ่งการลดลงของค่าความเข้มข้นในถังที่ไม่มีเชื้อรา มีการลดลงน้อยมากและต้องใช้ระยะเวลานานในการลดลงของค่าความเข้มข้น ทั้งนี้เนื่องมาจากถังที่ 1 เกิดแบคทีเรียที่ใช้อากาศขึ้นดู ได้จากการลดลงของค่าการใช้สารอาหารจากค่าซีโอดีที่ลดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังที่ (Michale *et al.*, 1978) ได้กล่าวไว้ว่า แบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดสีย้อม เนื่องมาจากแบคทีเรียประเภทใช้อากาศในถังปฏิกรณ์นี้ไม่มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนของสีย้อมที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมได้ เนื่องจากกระบวนการแอโรบิกไม่สามารถลดสีเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและการกำจัดสีด้วยกระบวนการของแบคทีเรียใช้อากาศนี้จะเกี่ยวข้องกับกลไกการดูดซับเป็นหลัก ดังนั้นส่งผลให้ค่าการบำบัดความเข้มข้นในถังที่ไม่มีเชื้อรา มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความเข้มข้นต่ำ

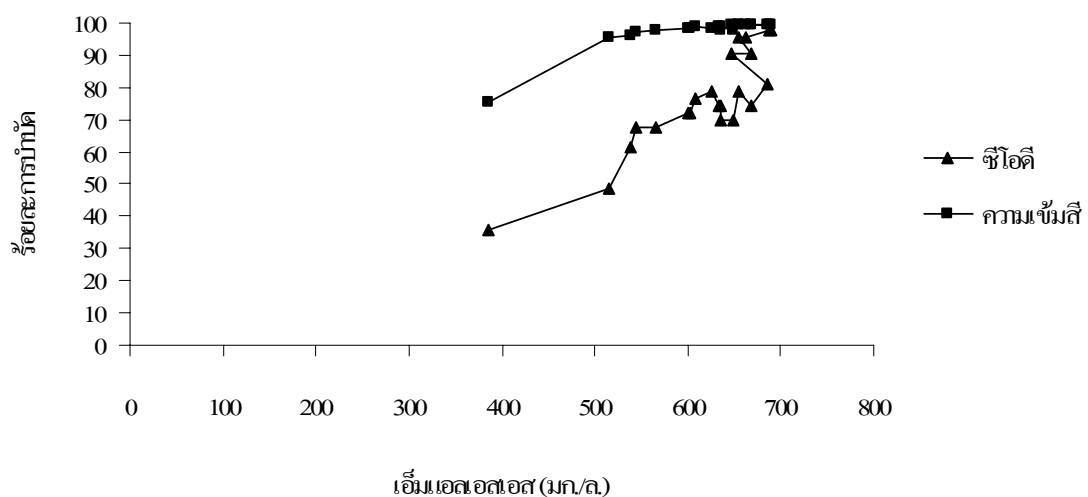
ส่วนค่าความเข้มข้นในถังที่ 2 (มีเชื้อรา) ซึ่งเป็นถังที่มีเชื้อราจะมีการลดลงของค่าซีโอดีอย่างรวดเร็วตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 เริ่มมีการลดลงค่าความเข้มข้นเท่ากับ 8.18 มก./ล. เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นได้สูงสุดที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.17 มก./ล. ที่เวลา 107 ชั่วโมง จะพบว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพรวมในการบำบัดความเข้มข้นที่ระยะเวลา 0-107 ชั่วโมง มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัด 75.2-99.5% ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสีซึ่งระยะเวลามากประสิทธิภาพการ

บำบัดก็จะมากตามไปด้วย ซึ่งบำบัดค่าความเข้มข้นในถังที่มีเชื้อรามีประสิทธิภาพดี Kim *et al.* (2004) ได้กล่าวไว้ว่า เชื้อราขาวจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(Oxidation)ได้ดีกับสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนเป็นสารประกอบที่ย่อยสลายได้ยาก เชื้อราที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ขึ้นมา 3 ชนิดซึ่งช่วยในการลดความเข้มข้นของสีย้อมได้ประกอบไปด้วยแลคเคส (Laccase), ลิกกินินเปอร์ออกซิเดส (Lignin Peroxidase, LiP) และ แมงกานีสเปอร์ออกซิเดส (Manganese Peroxidase, MnP) กลไกการลดความเข้มข้นสีย้อมมี 2 กลไกหลักคือ 1. การดูดซับ (Biosorp) และ 2. การย่อยสลายโดยเอนไซม์ภายในเซลล์ (Biodegradation) โดยเชื้อราที่มีชีวิต (Living Cell) เป็นส่วนหนึ่งของกลไกการบำบัดสี ซึ่งจะเกิดกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพเพราะเซลล์เชื้อราที่มีชีวิตอยู่ในถังปฏิกิริยาสามารถผลิตเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายลิกกินินได้ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ MnP, Laccase, LiP ซึ่งความสัมพันธ์ของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดนี้มีส่วนช่วยในการย่อยสลายทางชีวภาพของสีย้อมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อรา (Oliikka *et al.*, 1993) ส่วนเชื้อราที่ตาย (Dead Cell) จะเกิดกลไกการบำบัดโดยการดูดซับทางชีวภาพ (Biosorption) เข้าไปในตัวเชื้อราขาว ซึ่งเกิดกระบวนการทางกายภาพ-เคมีขึ้นอย่างสมบูรณ์ Gallagher *et al.*, (1997) กล่าวไว้ว่า เชื้อราขาวเกิดกระบวนการดูดซับสีรีแอกทีฟในรูปแบบที่เป็นสารละลายและใช้โมเดลการดูดซับโดยใช้กฎของ Freundlich และ Langmuir Isotherm พบว่าเกิดกระบวนการดูดซับโดยเชื้อรา จากการศึกษาที่มีความเป็นไปได้ว่า หน้าที่สำคัญในการดูดซับสีย้อมเกิดขึ้นภายในเซลล์ Brahimi-Horn *et al.*, (1992) ได้ทำการศึกษาพบว่าเชื้อราขาวเริ่มเกิดกระบวนการดูดซับสีย้อมที่เวลา 1 ชั่วโมงดูดซับเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงจะมีการดูดซับเพิ่มขึ้นซึ่งกลไกทั้ง 2 กลไกที่สำคัญในการบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟโดยเชื้อราขาวที่ใช้ในการทดลอง เซลล์ที่ยังมีชีวิตจะมีความหลากหลายในการเกิดกลไกการลดความเข้มข้นสี แต่มีข้อเสียตรงที่จะต้องมีสถานะที่เหมาะสม โดยจะต้องมีการควบคุมค่า พีเอช อุณหภูมิและความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าระบบที่ต้องการสารอาหารที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เปรียบเทียบเซลล์ที่มีชีวิตกับเซลล์ที่ตายแล้ว พบว่า เซลล์ที่ตายแล้วมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเซลล์ที่มีชีวิตอยู่

1.1.3 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

จากการทดลองดังภาพที่ 15 เป็นภาพความสัมพันธ์ระหว่าง MLSS กับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบที่ละเท จะเห็นได้ว่า เป็นปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังที่ 2 (มีเชื้อรา) ซึ่งเป็นถังที่มีเชื้อราพบว่าปริมาณ MLSS เริ่มต้นที่ 350 มก./ล. โดยเวลาที่ผ่านมาใช้ในการออกแบบที่ระยะเวลาที่ 4 และ 8 ชั่วโมง มีปริมาณ MLSS เท่ากับ 516 และ 545 มก./ล. ตามลำดับพบว่าปริมาณ MLSS เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความเข้มสีและค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณเชื้อราเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการที่เชื้อราที่เกิดขึ้นใหม่ ส่งผลให้เกิดกิจกรรมที่จะทำให้การบำบัดค่าความเข้มสีและซีโอดีได้มากขึ้นไปด้วย

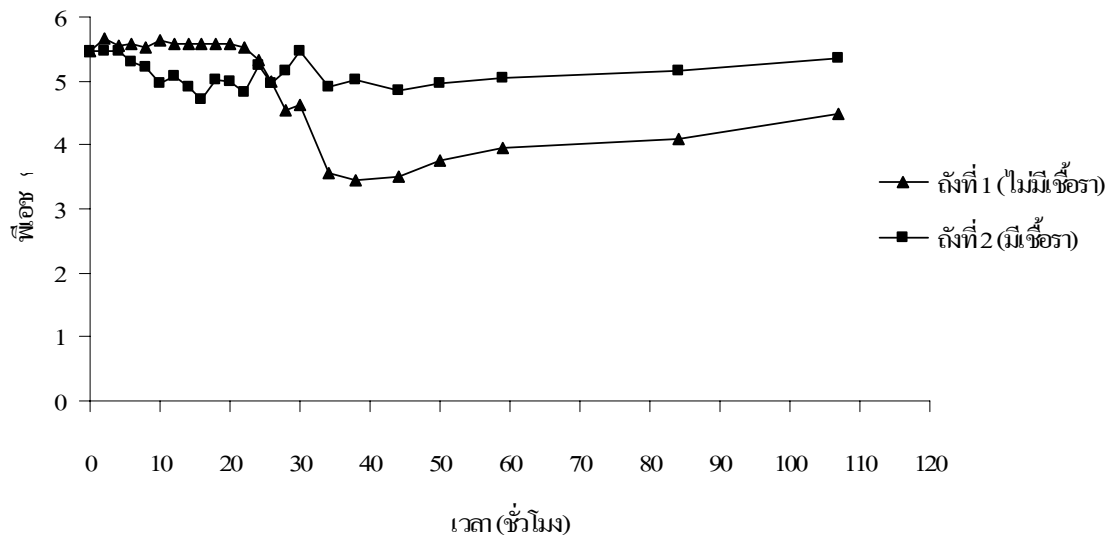
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็มแอลเอสเอสกับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสี



ของการทดลองแบบที่ละเท ครั้งที่ 1

1.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

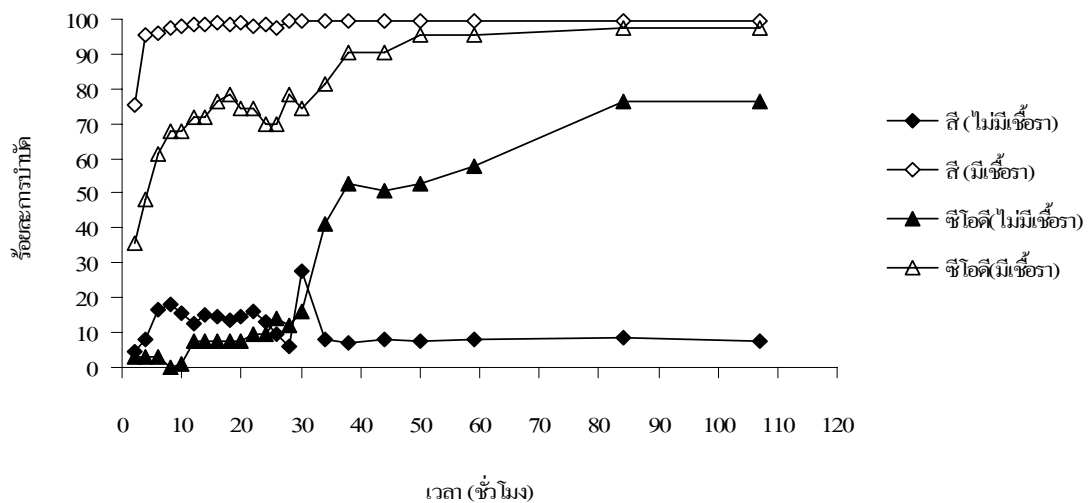
จากการทดลองดังภาพที่ 16 พบว่าถังที่ 1 (ไม่มีเชื้อรา) และส่วนถังที่ 2 (มีเชื้อรา) มีค่าพีเอช (pH) เริ่มต้นเท่ากับ 5.47 เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าค่าพีเอชเริ่มลดลง ในถังที่ 1 (ไม่มีเชื้อรา) ค่าพีเอช อยู่ในช่วง 3.45-5.67 ส่วนถังที่ 2 (มีเชื้อรา) มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 4.70-5.47 สรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดด่างช่วงค่าดังกล่าวเป็นช่วงค่าที่เหมาะสมกับเชื้อราทำให้เกิดการบำบัดค่าความเข้มสีและซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 1

1.1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

จากภาพที่ 17 ซึ่งเป็นภาพที่แสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบทีละเทถึงที่ 2 เป็นถึงมีชีร ครั้งที่ 1 ผลที่ได้พบว่าถึงที่ 1 (ไม่มีชีร) มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีได้ในช่วง 0.2-76.6 % และ 4.8-31.0% ตามลำดับ ส่วนถึงที่มีชีรามีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 30.0-98.0 % ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มสีของถึงที่มีชีร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 75.2-99.5 % จากภาพแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งค่าซีโอดีและสี สามารถสรุปได้ว่า ชีรามีความสามารถในการลดสีและบำบัดค่าซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการทำให้ชีรเกิดกิจกรรมขึ้นภายในถังปฏิกริยาชีวภาพ



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบทีละเทถึงที่ 2 เป็นถังมีเชื้อรา ครั้งที่ 1

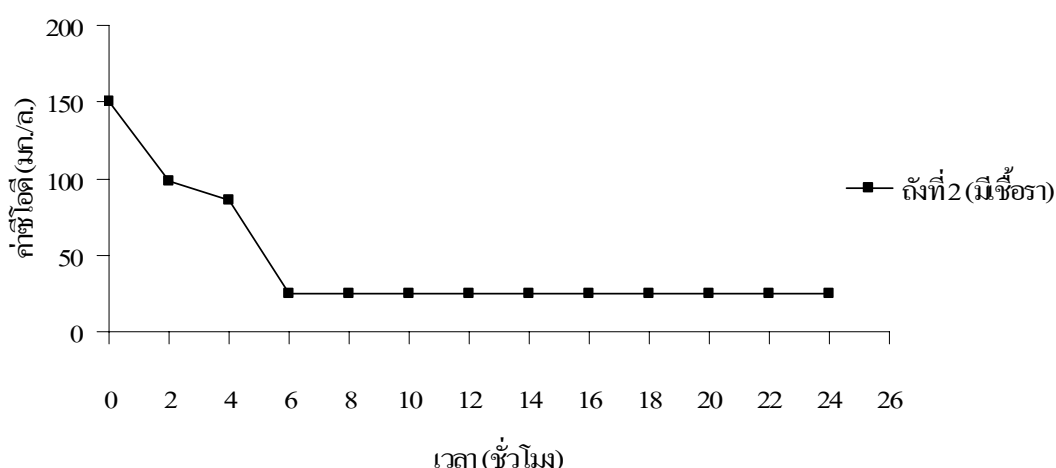
สรุปการทดลองจากการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 1 พบว่าถังที่มีเชื้อรามีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสี ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ปริมาณเชื้อรา (MLSS), พีเอช (pH), ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาทางชีวภาพ (HRT) ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการบำบัดค่าพารามิเตอร์ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบบำบัดที่มีการนำเอาเชื้อรามาใช้ประโยชน์ในการบำบัดสีที่ย่อยสลายยากซึ่งระบบบำบัดทั่วไปไม่สามารถย่อยสลายสีที่ย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ ซึ่งการเลือกใช้เชื้อราเบสิดิโอไมโซดในเข้ามาใช้ในการบำบัดความเข้มสีและปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียอีกด้วย สรุปได้ว่าการเลือกใช้เชื้อราเข้ามาช่วยในการบำบัดสีและซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบทีละเทไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีแผ่นกรองละเอียดจมตัว (Microfilter Bioreactor : MBR) โดยใช้เชื้อราและใช้กับระบบถึงปฏิกรณ์ที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบแบบต่อเนื่อง (CSTR) ต่อไป ซึ่งเกณฑ์ในการออกแบบคือ ระยะเวลาเก็บกักที่เลือกใช้จากการทดลองแบบทีละเทเลือกใช้ช่วงเวลาที่ 4 และ 8 ชั่วโมง, ค่าของแ่งแวนลอยในน้ำตะกอน, F/M ratio เพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมในการนำมาออกแบบต่อไป

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเชื้อราแบบทีละเท (Batch Reactor) ครั้งที่ 2

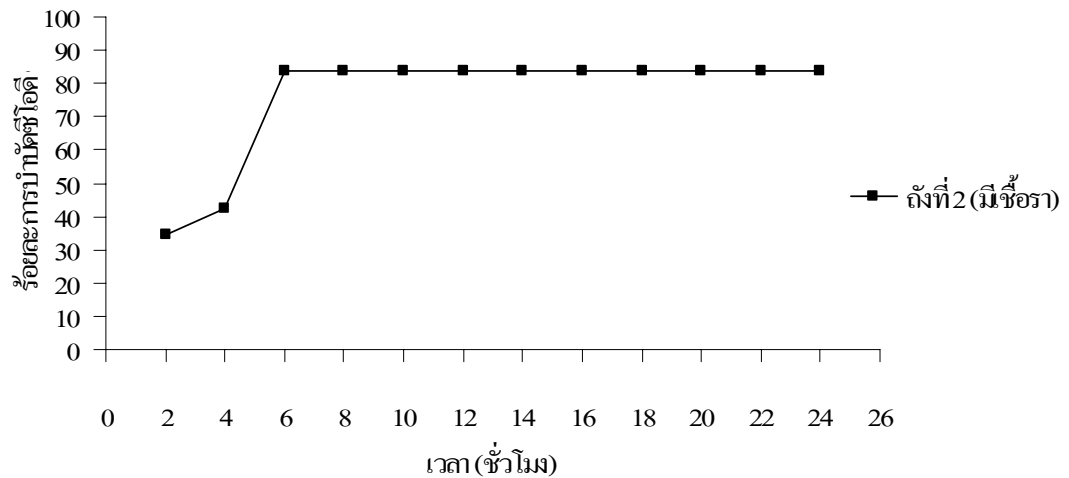
การทำการทดลองแบบทีละเทครั้งที่ 2 เป็นการทดลองที่ต่อเนื่องมาจากครั้งที่ 1 โดยใช้เชื้อราจากการทดลองครั้งที่ 1 ซึ่งทำการเทน้ำเสียสังเคราะห์จากการทดลองที่ 1 ที่ทิ้งแล้วนำน้ำเสียสังเคราะห์ใส่ใหม่เป็นการทดลองครั้งที่ 2 เพื่อทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อราว่าสามารถรับภาระในการบำบัดสารอินทรีย์และความเข้มข้นได้มากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นแนวทางในการทำการทดลองที่มีการป้อนน้ำเสียแบบต่อเนื่องต่อไป

1.2.1 การบำบัดชีโอดี

จากผลการทดลองภาพที่ 18 และภาพที่ 19 พบว่าค่าชีโอดีเริ่มต้นที่ 150.0 มก./ล. จะพบว่าสามารถลดค่าชีโอดีได้สูงสุดที่ค่าความเข้มข้นชีโอดีเท่ากับ 24.6 มก./ล. ที่เวลา 6 ชั่วโมง และคงที่ต่อเนื่องไปจนถึงชั่วโมงที่ 24 ส่วนค่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีได้สูงสุดเท่ากับ 83.6% ที่เวลา 6 ชั่วโมง ที่ระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี เท่ากับ 44.6 และ 83.6%ตามลำดับ จากการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่มีเชื้อราแบบทีละเท ครั้งที่ 2 พบว่าเชื้อรามีความสามารถในการบำบัดค่าชีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการที่เชื้อราสามารถบำบัดชีโอดีได้เนื่องมาจากกลไกการดูดซับและการผลิตเอนไซม์และเชื้อราต้องใช้กลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นทั้งภายในและภายนอกเซลล์



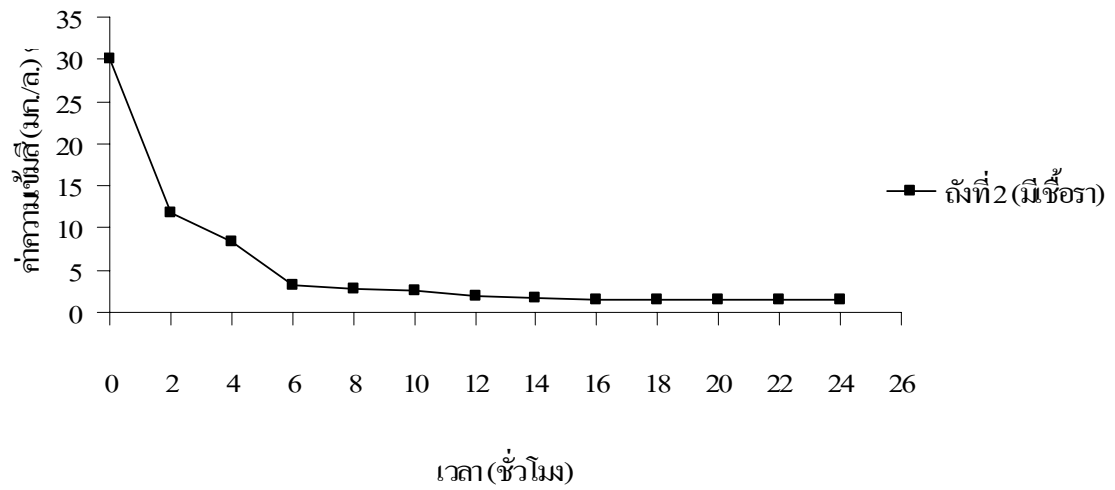
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าชีโอดีต่อเวลาของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2



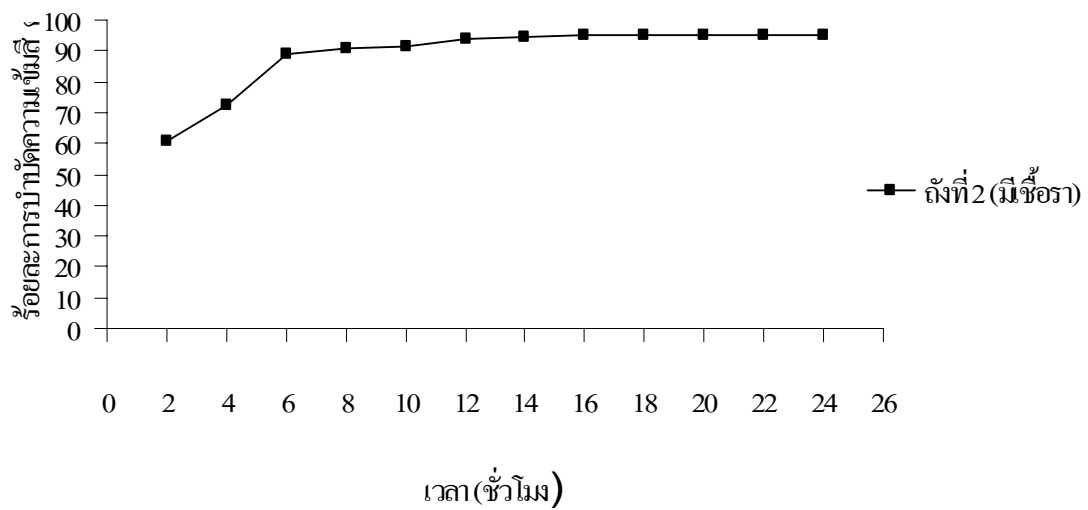
ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2

1.2.2 การบำบัดความเข้มข้น

จากภาพที่ 20 และ 21 พบว่าจากค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 30.00 มก./ล. จะพบว่าเริ่มลดค่าความเข้มข้นเหลือค่าความเข้มข้นเท่ากับ 11.74 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นเท่ากับ 60.9 % ที่เวลา 2 ชั่วโมงเป็นถึงที่มีเชื้อราจะมีการลดลงของค่าความเข้มข้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2 เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าสามารถลดค่าความเข้มข้นได้สูงสุดที่ค่าความเข้มข้นเท่ากับ 1.40 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นเท่ากับ 95.3 % ที่เวลา 24 ชั่วโมง ที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเข้มข้น เท่ากับ 72.3 และ 91.0.% ตามลำดับ ซึ่งการลดค่าความเข้มข้นเกิดจากกลไกการลดความเข้มข้นย้อมมี 2 กลไกหลักคือ 1. การดูดซับ (Biosorp) และ 2. การย่อยสลายโดยเอนไซม์ภายในเซลล์ (Biodegradation) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นต่อเวลาของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2

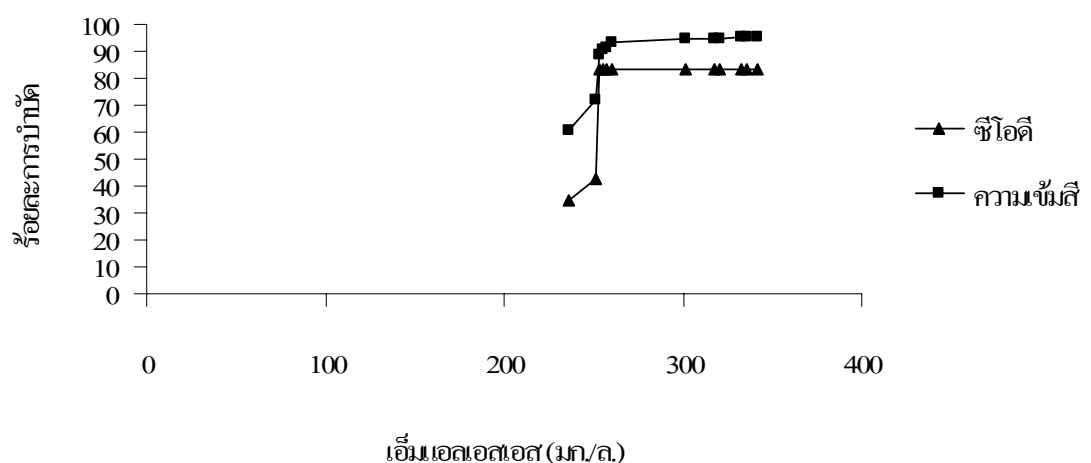


ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นต่อเวลาของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2

1.2.3 ค่าของแฉ่งแขวนลอยในน้ำตะกอน

จากการทดลองดังภาพที่ 22 เป็นปริมาณของแฉ่งแขวนลอยในถังที่ 2 (มีเชื้อรา) ซึ่งเป็นถังที่มีเชื้อราพบว่าปริมาณ MLSS เริ่มต้นที่ 172 มก./ล. ปริมาณ MLSS เพิ่มขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงค่า 172-341

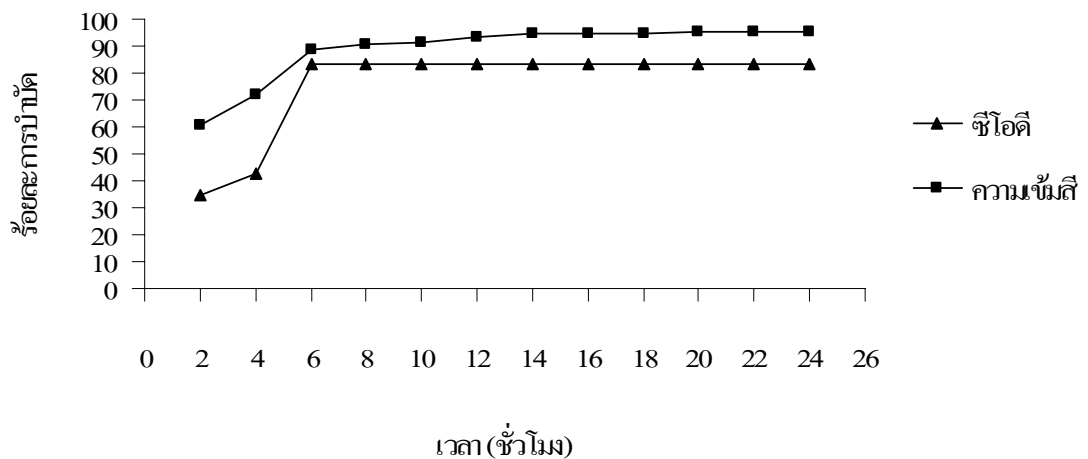
มก./ล.ปริมาณ MLSS เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความขุ่นสีและค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อปริมาณเชื้อราเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาจากการที่เชื้อราที่เกิดขึ้นใหม่ ส่งผลให้เกิดกิจกรรมที่จะทำให้เกิดการบำบัดค่าความขุ่นสีและซีโอดีได้มากขึ้นไปด้วยทั้งนี้สามเหตุอันเนื่องมาจากปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีปริมาณเชื้อรามากขึ้น ปริมาณ MLSS ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแสดงถึงปริมาณตะกอนของแข็งในน้ำตะกอน จากการทดลองน้ำเสียที่ทำการป้อนเข้าระบบไม่มีค่า MLSS เพราะเป็นน้ำที่ไม่มีปริมาณตะกอนของแข็งแขวนลอย จึงทำให้ทราบได้ว่าในถังปฏิกรณ์ปริมาณ MLSS เป็นปริมาณเชื้อราในถังปฏิกรณ์ เมื่อปริมาณเชื้อราในถังปฏิกรณ์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ก็จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาในการออกซิเดชัน การดูดซับ การผลิตเอนไซม์เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบถังปฏิกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดกิจกรรมที่จะทำให้เกิดการบำบัดค่าความขุ่นสีและซีโอดีได้มากขึ้นไปด้วยทั้งนี้สามเหตุอันเนื่องมาจากปริมาณ MLSS ที่เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีปริมาณเชื้อราเพิ่มจำนวนขึ้นและปริมาณ MLSS ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแสดงถึงปริมาณตะกอนของแข็งในน้ำตะกอน จากการทดลองน้ำเสียที่ทำการป้อนเข้าระบบไม่มีค่า MLSS เพราะเป็นน้ำที่ไม่มีปริมาณตะกอนของแข็งแขวนลอยจึงทำให้ทราบได้ว่าในถังปฏิกรณ์ค่า MLSS แสดงถึงปริมาณเชื้อราในถังปฏิกรณ์



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็มแอลเอสเอสกับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความขุ่นสีของการทดลองแบบที่ละเท ครั้งที่ 2

1.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

จากภาพที่ 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2 พบว่าที่เวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการ



บำบัดความเข้มสีและซีโอดีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากในการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2 มีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ค่าซีโอดีเริ่มต้นน้อยจึงส่งผลให้ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมงเริ่มมีประสิทธิภาพในการบำบัดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เนื่องมาจากคาร์บอนที่เชื้อราจะนำไปใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นส่งผลทำให้ค่าความเข้มสีและซีโอดีคงที่

ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2

สรุปการทดลองแบบทีละเท ครั้งที่ 2 ทำให้เห็นได้ว่าหากมีการเติมน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของซีโอดีและสีเข้าไปในถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยมีระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมในการทำให้เชื้อราสามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ภายในถังปฏิกรณ์ ดังนั้นสามารถใช้การทดลองแบบทีละเทไปเป็นเกณฑ์ในการเดินระบบที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากถังปฏิกรณ์เดิมอากาศทั่วไปต้องต่อด้วยถังตกตะกอน ทั้งนี้เพื่อทำการตกตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นในการทดลองนี้น้ำเทคโนโลยีในน้ำเชื้อกรองละเอียดมาใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเชื้อราไม่ให้ออกไปปนกับน้ำออก อีกทั้งยังลดพื้นที่ในการสร้างถังตกตะกอนได้อีกด้วย จากการทำการทดลองแบบทีละเทพบว่ายิ่งปริมาณเชื้อราที่อยู่ในถังมีปริมาณมากจะทำให้การบำบัดทั้งค่าซีโอดีและสีมากตามไปด้วย

ดังนั้นการใช้เยื่อกรองละเอียดจึงสามารถกักเชื้อราไม่ให้หลุดออกไปได้และตัวเชื้อรายังสามารถเจริญเติบโต อีกทั้งเชื้อราเกิดใหม่ภายในถังปฏิกรณ์ทางชีวภาพที่มีเยื่อกรองละเอียดจมตัวได้ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากขึ้น

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดและค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราแบบถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีแผ่นกรองละเอียดจมตัว

สำหรับการทดลองนี้เพื่อการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตของเชื้อราประสิทธิภาพของระบบและการลดความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) แบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัวในถังปฏิกรณ์ ซึ่งจะมีการแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ทำการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) 8 ชม., ค่าอัตราสารอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) 1.2, 2.4, 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน (kg COD/kg MLSS-d) ซึ่งแต่ละการทดลองมีการแบ่งออกเป็น 3 ถังปฏิกรณ์ คือ ถังปฏิกรณ์ที่ 1 กำหนดค่า F/M เท่ากับ 1.2 (kg COD/kg MLSS-d), ถังปฏิกรณ์ที่ 2 กำหนดค่า F/M เท่ากับ 2.4 (kg COD/kg MLSS-d) และถังปฏิกรณ์ที่ 3 กำหนดค่า F/M เท่ากับ 3.6 (kg COD/kg MLSS-d)

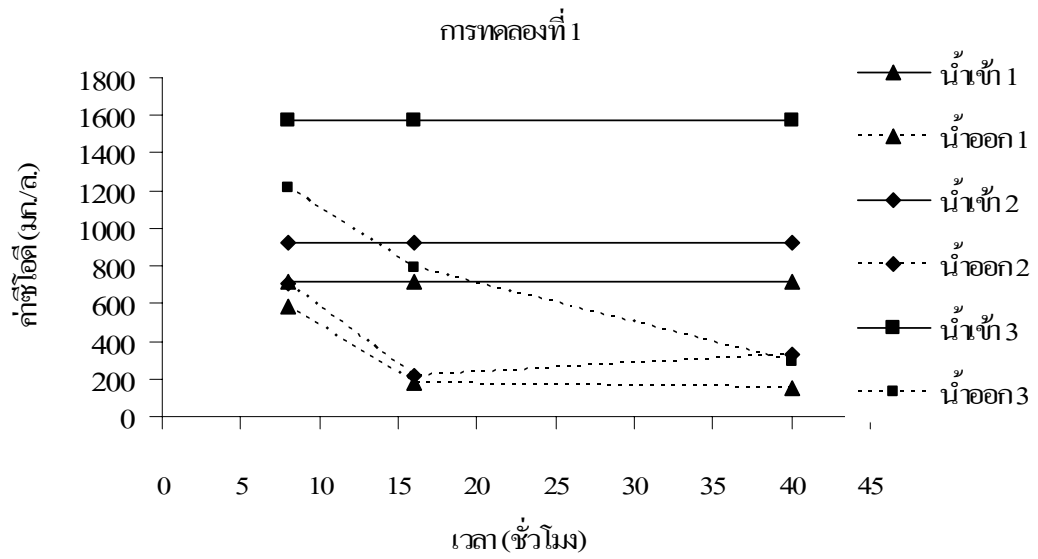
ซึ่งการทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นให้เชื้อราคุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการเติมเข้าไปในถังปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง โดยจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของเชื้อราช่วงระยะเวลาหนึ่ง การทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อมุ่งเน้นในการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพในการบำบัดค่าความเข้มข้นและชีโอดี อีกทั้งยังทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้การดำเนินระบบเกิดขึ้นอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพอีกด้วย ส่วนการทดลองสุดท้ายคือการทดลองที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อมุ่งเน้นในการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราจากการทดลองและยังสามารถหาค่าประสิทธิภาพในช่วงที่ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเยื่อกรองละเอียดจมตัวขนาด 20 ไมครอนโดยใช้เชื้อราได้ในสภาวะที่ระบบคงที่ (Steady State) ของสารอินทรีย์ ซึ่งการทดลองระบบที่มีการเติมน้ำเสียเข้าแบบต่อเนื่องนี้ทำการทดลองโดยมุ่งเน้นที่จะสามารถกำหนดค่าปัจจัยในการออกแบบถึงระดับจำลองการใช้จริง (Pilot Scale) ต่อไป

2.1 การศึกษาน้ำเสียที่เข้าถังปฏิกรณ์มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1

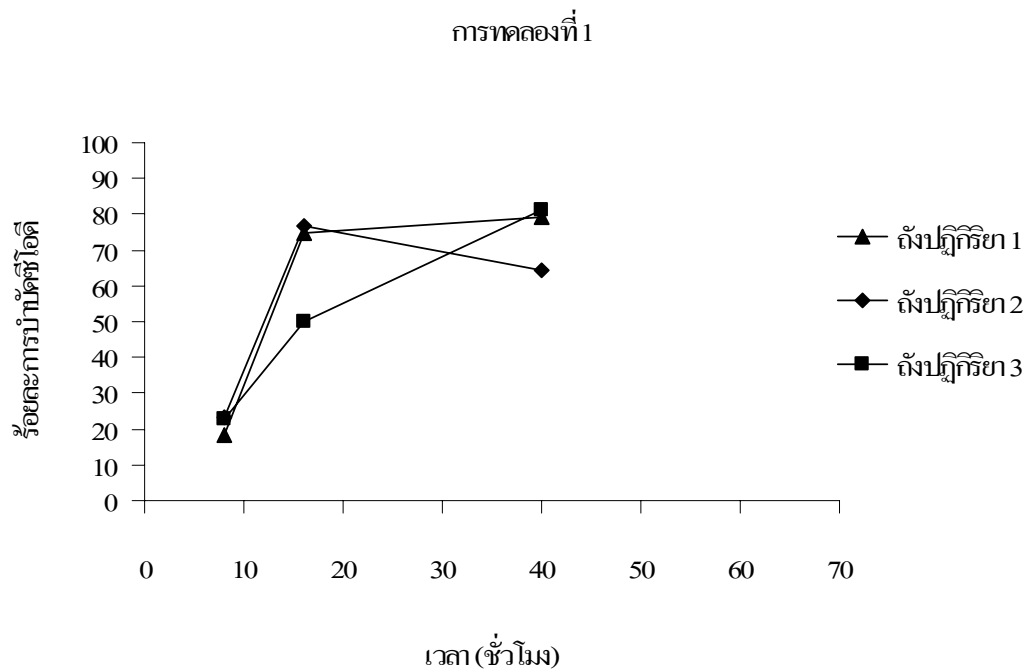
2.1.1 การบำบัดชีโอดี

ได้ทำการศึกษาค่าชีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถังปฏิกรณ์
กวนสมบูรณ์ โดยค่าชีโอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ถังที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าเท่ากับ 712.33 มก./ล. ค่าชีโอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ถังที่ 2 ($F/M = 2.4$) มีค่าเท่ากับ 920.55 มก./ล. ค่าชีโอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ถังที่ 3 ($F/M = 3.6$) มีค่าเท่ากับ 1578.00 มก./ล. แต่ละถังจะมีค่าความเข้มข้นชีโอดีที่เข้าระบบแตกต่างกัน การทำการทดลองแบบถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีเยื่อกรองละเอียดจมตัวในการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองระยะเริ่มต้นเดินระบบ (Start Up) จะทำการควบคุมค่าระยะเวลาเก็บกัก (HRT) เท่ากับ 8 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อราคุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้ใช้ตลอดการทดลอง

จากภาพที่ 24 และ 25 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าชีโอดีต่อเวลาและประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีต่อเวลา ได้แสดงรายละเอียดข้อมูลค่าความเข้มข้นชีโอดีของน้ำเข้า (Feed) และน้ำออก (Permeate) ของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ จากการทดลองพบว่าถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 712.33 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมง ค่าชีโอดีน้ำออก 1 ลดลงมีค่าเท่ากับ 580.82, 180.83, 147.95 มก./ล. ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีมีค่าเท่ากับ 18.5, 74.6, 79.2 % ตามลำดับ พบว่าในระยะแรกจะระบบถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีเยื่อกรองละเอียดจมตัวพบว่าการบำบัดค่าชีโอดีได้ไม่ดีนักแต่เมื่อเชื้อราที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสียแล้วจะเริ่มเกิดการบำบัดค่าชีโอดีได้มากขึ้นซึ่งที่การทดลองที่ 1 นี้มีการบำบัดค่าชีโอดีได้น้อยเนื่องมาจากเชื้อราที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ยังไม่เคยชินกับการเติมน้ำเสียเข้าอย่างต่อเนื่องทำให้ในช่วงแรกนี้เชื้อรายังไม่สามารถปรับตัวได้จากการทดลอง ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($F/M = 2.4$) มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 920.55 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมง ค่าความเข้มข้นชีโอดีน้ำออก 2 มีค่าเท่ากับ 706.85, 410.96, 246.58 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีมีค่าเท่ากับ 23.2, 76.8, 64.3 % ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ที่ 3 มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 1578.00 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมง ค่าความเข้มข้นชีโอดีน้ำออก 3 มีค่าเท่ากับ 1216.44, 789.04, 295.90 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีมีค่าเท่ากับ 22.9, 50.0, 81.3 % ตามลำดับ



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีต่อเวลาการทดลองที่ 1



ภาพที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่อเวลาถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3

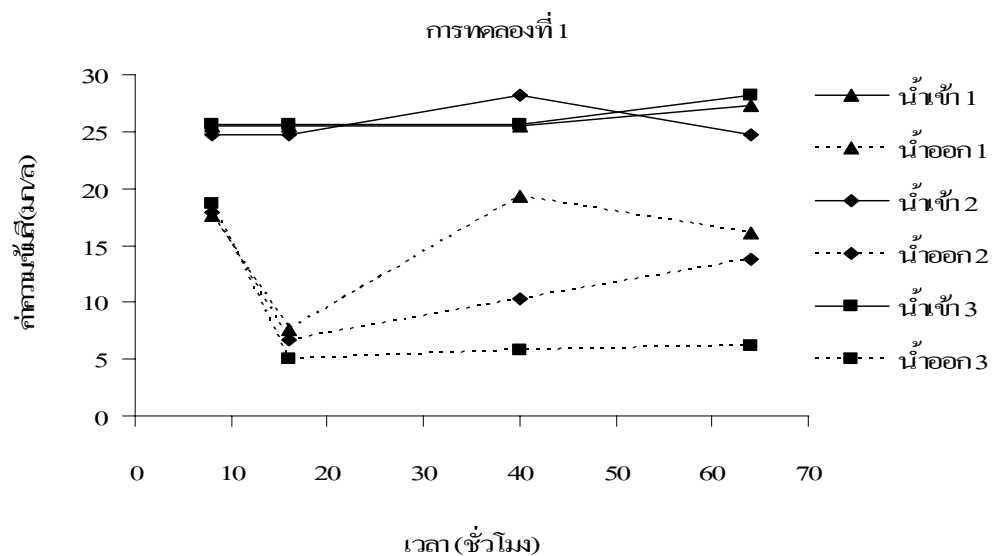
จากทั้ง 3 ถึงปฏิบัติพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไปในทิศทางเดียวกันจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกมีการบำบัดค่าซีโอดีได้น้อยเนื่องมาจากเชื้อราค่อยๆเริ่มทำความคุ้นเคยกับน้ำเสียอยู่จึงทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาในการบำบัดค่าซีโอดีแต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าเชื้อราสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องมาจากเกิดกลไกการบำบัดค่าซีโอดีขึ้นเนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น เนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ค่าซีโอดีแต่เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าเชื้อราสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องมาจากเกิดกลไกการบำบัดค่าซีโอดีขึ้นเนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น เนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของการทดลองที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยถึงปฏิบัติจำนวน 3 ถึงพบว่าทั้ง 3 ถึงปฏิบัติมีแนวโน้มในการบำบัดซีโอดีเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ จะมีการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยเริ่มต้นเชื้อราต้องใช้เวลาในการทำ ความคุ้นเคยกับน้ำเสียก่อนจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีช่วงแรกมี ประสิทธิภาพน้อย แต่เมื่อปล่อยระยะเวลาให้ผ่านไปช่วงหนึ่งปรากฏว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอ ดีมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเชื้อราเริ่มคุ้นเคยกับน้ำเสียมากขึ้นแล้วจึงทำให้เชื้อราสามารถใช้สารอาหาร จากน้ำเสียในรูปสารประกอบคาร์บอนเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อราได้มากขึ้น

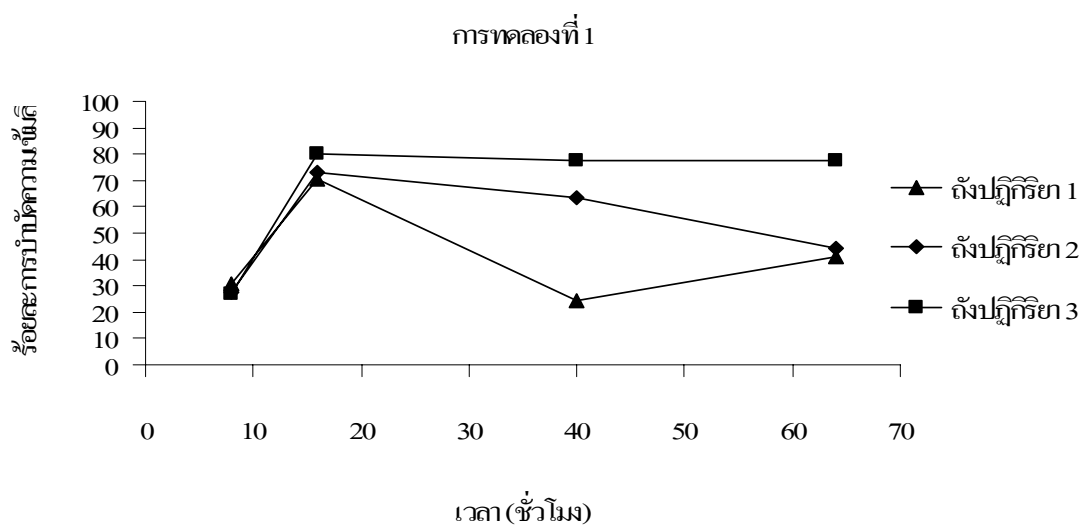
2.1.2 การบำบัดความเข้มข้น

จากภาพที่ 26 ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการ ป้อนเข้าระบบถึงปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์ โดยค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ถึงที่ 1 ถึงปฏิบัติ ถึงที่ 2 และถึงปฏิกรณ์ถึงที่ 3 มีค่าเท่ากับ 25.53, 24.71 และ 25.68 มก./ล. ตามลำดับโดยแต่ละถึงจะมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบใกล้เคียงกัน จากการทดลองโดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ถึงที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าเท่ากับ 25.53 มก./ล.ทำการป้อนน้ำเสียเข้า ระบบอย่างต่อเนื่อง จากภาพที่ 27 ของการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมง ประสิทธิภาพใน การบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 30.9, 70.4, 24.2 % ตามลำดับ ส่วนน้ำเสียเข้าถึงปฏิกรณ์ถึงที่ 2 ($F/M = 2.4$)มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 24.71 มก./ล.จากภาพที่ 27 ของการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16,

40 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 27.5, 73.1, 63.7 % และถึงปฏิกิริยาถึงที่ 3 (F/M = 3.6) มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 25.68 มก./ล จากภาพที่ 27 ของการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 27.2, 80.5, 77.5 % ตามลำดับ เกิดกระบวนการในการย่อยสลายสีที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Aromatic Compound) 2 กระบวนการ คือ กระบวนการดูดซับโดยตัวเชื้อรา และกระบวนการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารประกอบสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น



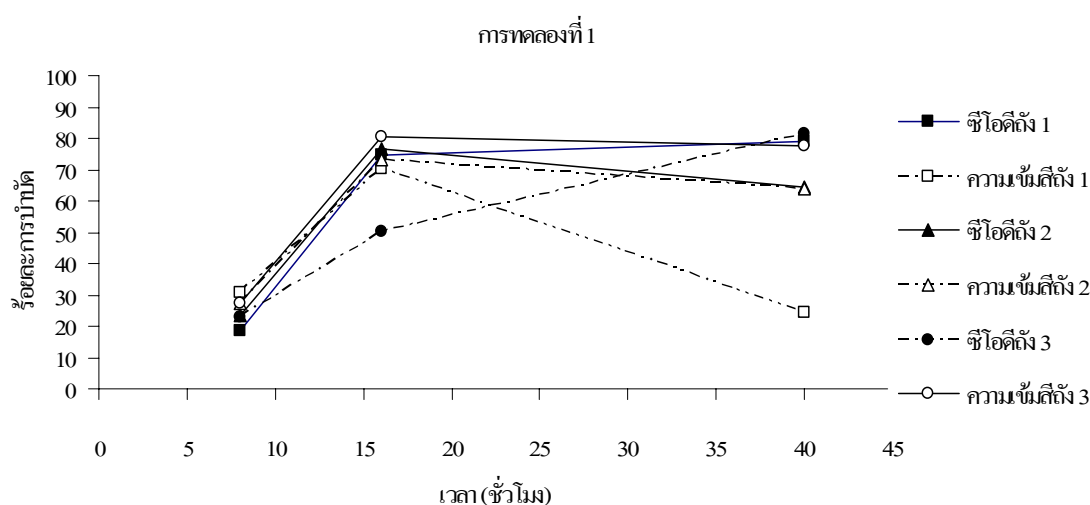
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นต่อเวลาถึงปฏิกิริยาที่ 1



ภาพที่ 27 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นต่อเวลาถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3

2.1.3 เปรียบเทียบการบำบัด

ภาพที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1 พบว่าจากทั้ง 3 ปฏิกริยาพบว่าการทดลองที่เชื่อว่าจะมีประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มสีและซีโอดียังไม่คงที่แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ในระดับที่น่าพอใจ

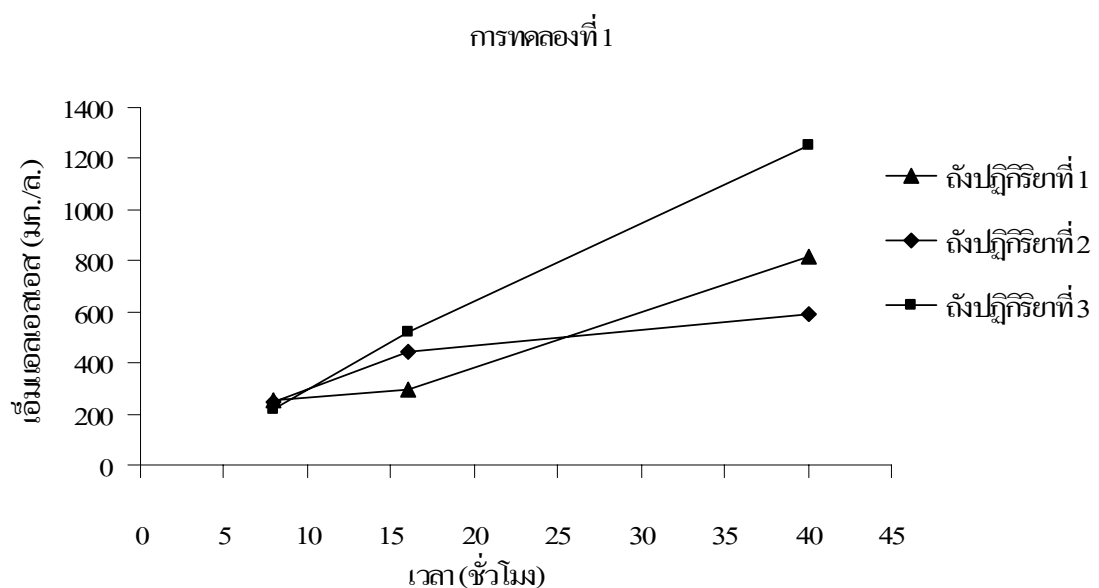


ภาพที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบต่อเนื่อง การทดลองที่ 1

2.1.4 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

จากการทดลอง MLSS ในถังปฏิกรณ์ที่มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1 ได้ค่าดังภาพที่ 29 พบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมงค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) เฉลี่ยของทั้ง 3 ถังเท่ากับ 240, 420, 887 มก./ล. จากการทดลองพบว่าค่าเอ็มแอลเอสเอสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากระบบที่มีการไหลเข้าของน้ำเสียแบบต่อเนื่องมีการป้อนน้ำเข้าระบบตลอดเวลาทำให้ระบบมีการสารอินทรีย์ ที่ใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อราทำให้ปริมาณความเข้มข้นอายุตะกอนมีมากตามค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ แต่ในการทดลองที่ 1 นี้ยังไม่ได้มีการถ่ายเทปริมาณ MLSS ออกจากระบบ เนื่องจากต้องการกักเชื้อราไว้ในถังในปริมาณที่ต้องการก่อนอีกทั้งยังมีวัตถุประสงค์ให้เชื้อรา

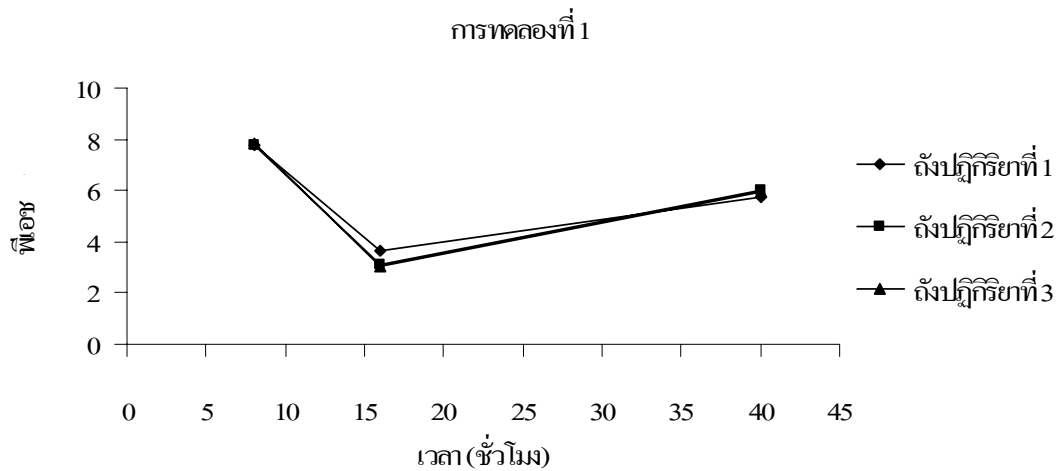
คุ้นเคยกับน้ำเสีย ในการทดลองที่ 1 จึงเป็นการทดลองเริ่มต้นของการเริ่มเดินระบบถังปฏิกรณ์กวน สมบูรณ์แบบไหลเข้าอย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีแผ่นกรองละเอียดจมตัวและติดตามกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับเชื้อราตอนเริ่มเดินระบบ ส่วนเชื้อราที่ใช้ตลอดการทดลองใช้เชื้อราใหม่จากถังที่มีการเลี้ยงเชื้อรา (Stock Fungal) ลักษณะของเชื้อราที่นำมาใช้ในการทดลองแบบต่อเนื่องนี้ขนาดเชื้อราจะเล็กกว่าในครั้งที่ทำแบบทีละเท (Batch Reactor) เนื่องจากเริ่มทำการทดลองมีการเลี้ยงเชื้อมาเป็นระยะเวลานานแล้วกว่าจะเริ่มทำการทดลองแบบมีการเติมน้ำเสียเข้าระบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮมแอลเอสเอสกับเวลาในถังปฏิริยาที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 1

2.1.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพที่ 30 จากการทดลองหาค่าพีเอช (pH) จากถังปฏิกรณ์ที่มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1 โดยทำการวัดค่าพีเอช (pH) ในถังปฏิริยาดังภาพที่ 30 พบว่าที่เวลา 8, 16, 40 ชั่วโมงค่าพีเอช (pH) เฉลี่ยของทั้ง 3 ถังเท่ากับ 7.81, 3.27, 5.91 ซึ่งควรจะมีการควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.00 – 5.00 เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 1

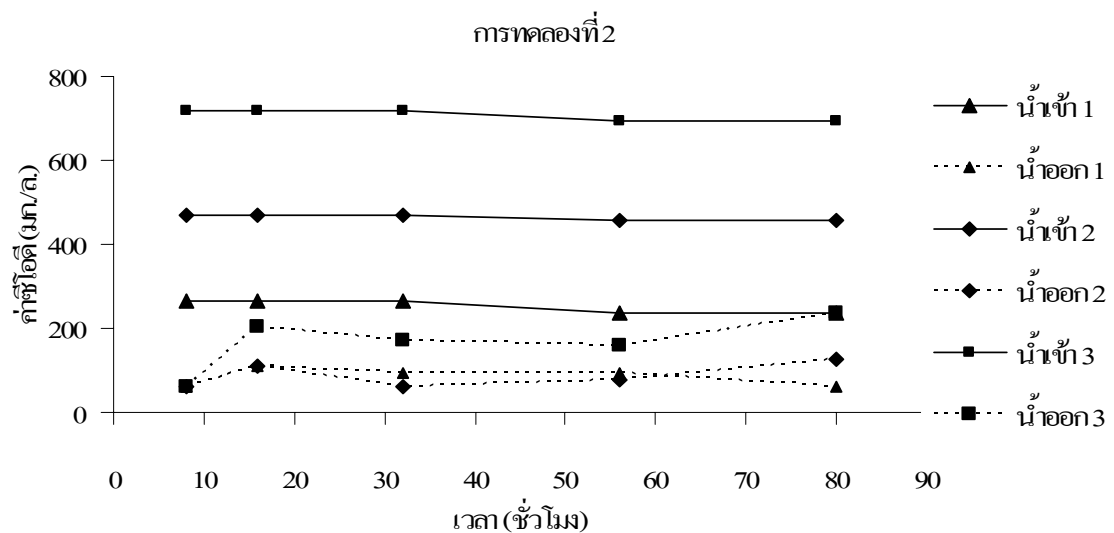
2.2 ศึกษา น้ำเสียที่เข้าถังปฏิกรณ์มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 2

2.2.1 การบำบัดชีโอดี

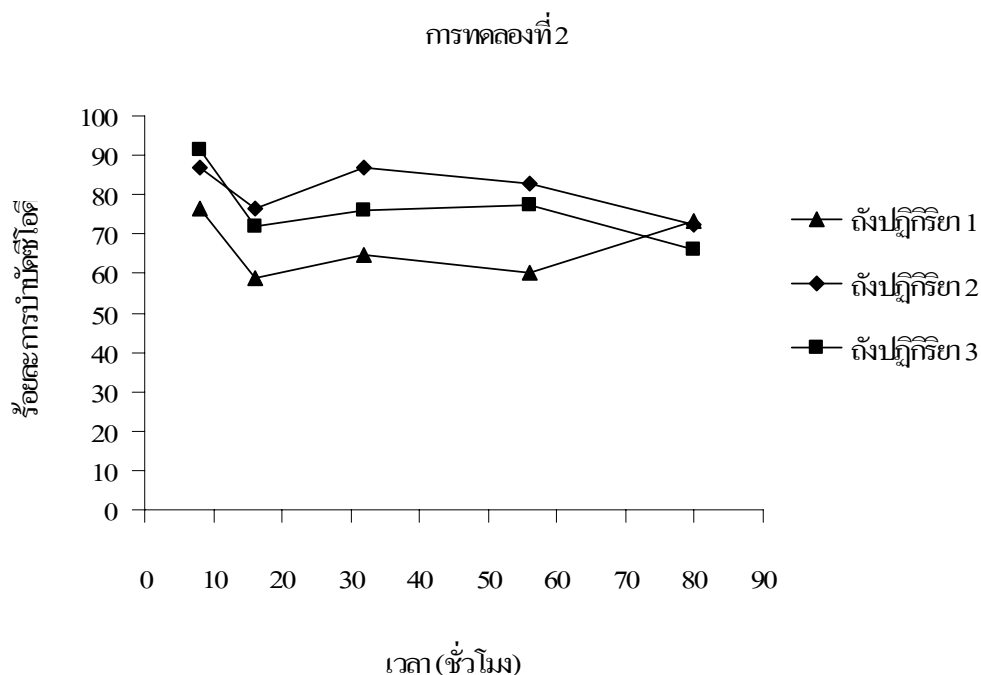
จากภาพที่ 31 และ 32 ได้ทำการศึกษาค่าชีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีอัตราการไหลแบบต่อเนื่อง โดยค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิกิริยาถึงที่ 1 มีค่าเท่ากับ 253.70 มก./ล. ค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าเท่ากับ 463.70 มก./ล. ค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าเท่ากับ 708.00 มก./ล. แต่แต่ละถังจะมีค่าความเข้มข้นชีโอดีที่เข้าระบบแตกต่างกัน

ได้แสดงรายละเอียดข้อมูลค่าความเข้มข้นชีโอดีของน้ำเข้า (Feed 1) และน้ำออก (Permeate 1) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าชีโอดีต่อเวลา ถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 253.70 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง ค่าชีโอดีน้ำออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 62.34, 109.10, 93.51, 94.74 และ 63.16 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี เท่ากับ 76.5, 58.8, 64.7, 60.0 และ 73.3 % ตามลำดับ ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 463.70 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง ค่าชีโอดีน้ำออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 62.34, 109.10, 62.34, 78.95 และ 126.32 มก./ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดี เท่ากับ 86.7, 76.7, 86.7, 82.8 และ 72.4 % ตามลำดับ และถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีค่าชีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 708.00 มก./ล. ที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง ค่าชีโอดีน้ำ

ออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 62.34, 202.60, 171.43, 157.90 และ 236.84 มก./ล.ประสิทธิภาพการบำบัด
 ซีไอดี 91.3, 71.7, 76.1, 77.3 และ 65.9 % ตามลำดับ ระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบไหลเข้า
 อย่างต่อเนื่อง (CSTR) โดยมีแผ่นกรองละเอียดจมตัวมีความสามารถบำบัดค่าซีไอดีได้จากภาพทั้ง 3
 ถึงปฏิกิริยาพบว่าเชื้อราสามารถบำบัดค่าซีไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดกลไก
 การบำบัดค่าซีไอดีขึ้นเนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการ
 สร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นแต่ยังไม่เข้าภาวะคงที่ (Steady State) จึงทำให้ค่า
 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดียังไม่คงที่



ภาพที่ 31 ค่าซีไอดีน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์กวนผสมการทดลองที่ 2

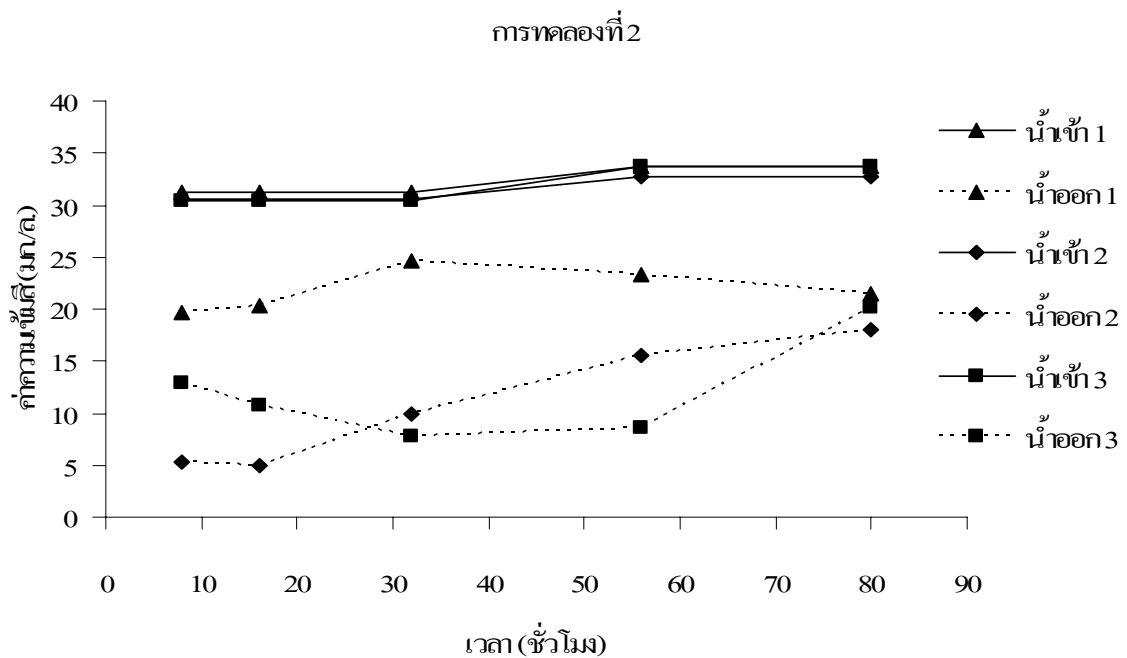


ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าชีไอ้ต่อเวลาถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 2

จากการทดลองทั้ง 3 ถึงปฏิกิริยาจะพบว่าค่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีไอ้ยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดชีไอ้ขึ้นลงไม่แน่นอน

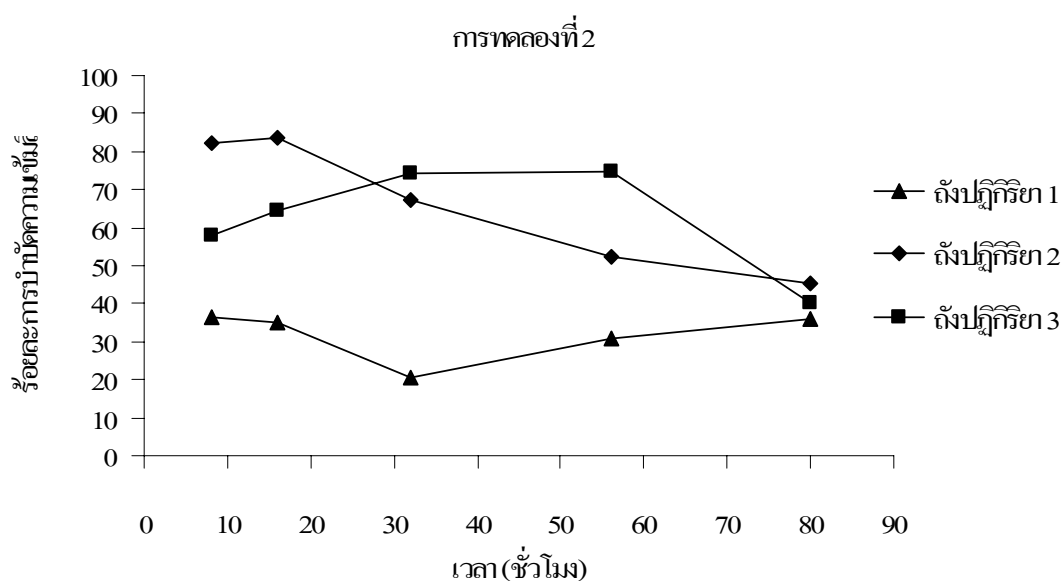
2.2.2 การบำบัดความเข้มข้น

จากภาพที่ 33 ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถึงปฏิกิริยาถ่วงสมดุล โดยค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกิริยาถึงที่ 1 ถึงปฏิกิริยาถึงที่ 2 และถึงปฏิกิริยาถึงที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.17, 31.42 และ 31.72 มก./ล. ตามลำดับ



ภาพที่ 33 ค่าความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์กวนผสมการทดลองที่ 2

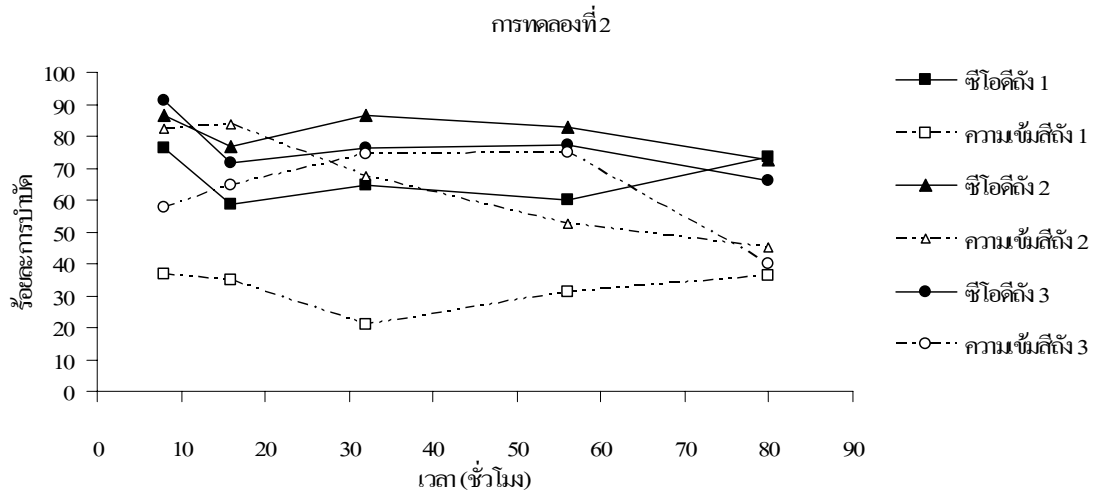
โดยแต่ละถังจะมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบใกล้เคียงกัน จากการทดลองโดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ถังที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าเท่ากับ 32.17 มก./ล.ทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง จากภาพที่ 34 จะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 36.63, 34.87, 20.72, 31.03 และ 36.11 % ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 31.87 % ส่วนน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ถังที่ 2 ($F/M = 2.4$) มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 31.42 มก./ล. การทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 82.41, 83.51, 67.28, 52.55 และ 45.20 % ค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 66.19 % และถึงปฏิกรณ์ถังที่ 3 ($F/M = 3.6$) มีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 31.72 มก./ล พบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 57.88, 64.65, 74.28, 74.68 และ 40.05 % ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 62.3 % เกิดกระบวนการในการย่อยสลายสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Aromatic Compound) 2 กระบวนการ คือ กระบวนการดูดซับโดยตัวเชื้อรา และกระบวนการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารประกอบสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น



ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มน้ำกับเวลาของถึงปฏิบัติ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 2

2.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

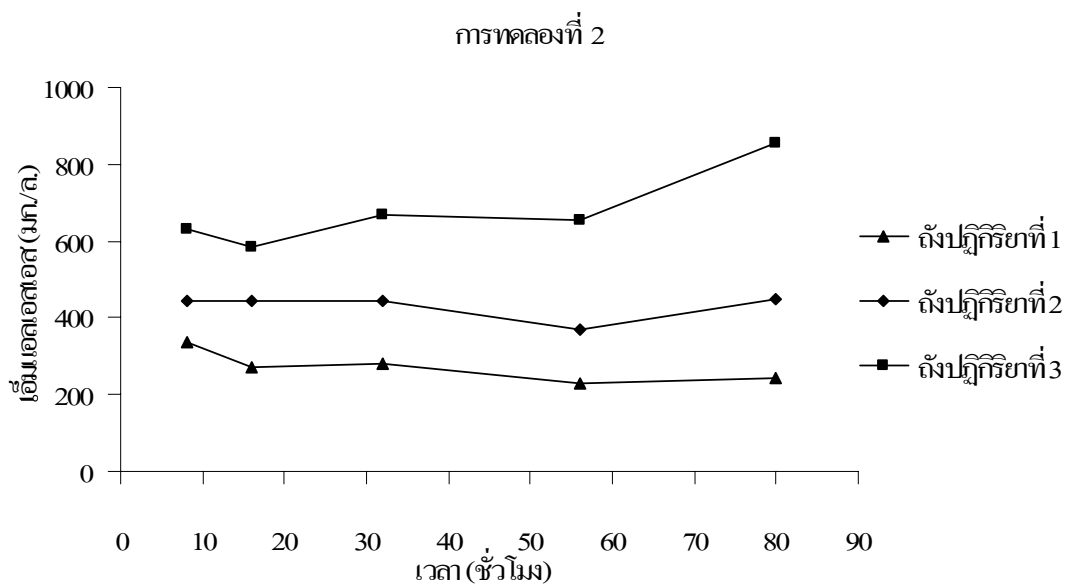
ภาพที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีไอดีและความเข้มน้ำของการทดลองแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 1 พบว่าจากทั้ง 3 ปฏิบัติพบว่า การทดลองที่เชื่อว่าจะมีประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มน้ำและซีไอดียังไม่คงที่แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการบำบัดดี ซึ่งการทดลองที่ 2 มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีและความเข้มน้ำใกล้เคียงกันแล้ว จะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพของซีไอดีเริ่มใกล้เคียงกัน แต่ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดียังไม่คงที่และมีประสิทธิภาพไม่มากในบางเวลา



ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัดค่าซีโอดีและความเข้มข้นซีโอดีของการทดลองแบบต่อเนื่อง การทดลองที่ 2

2.2.4 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

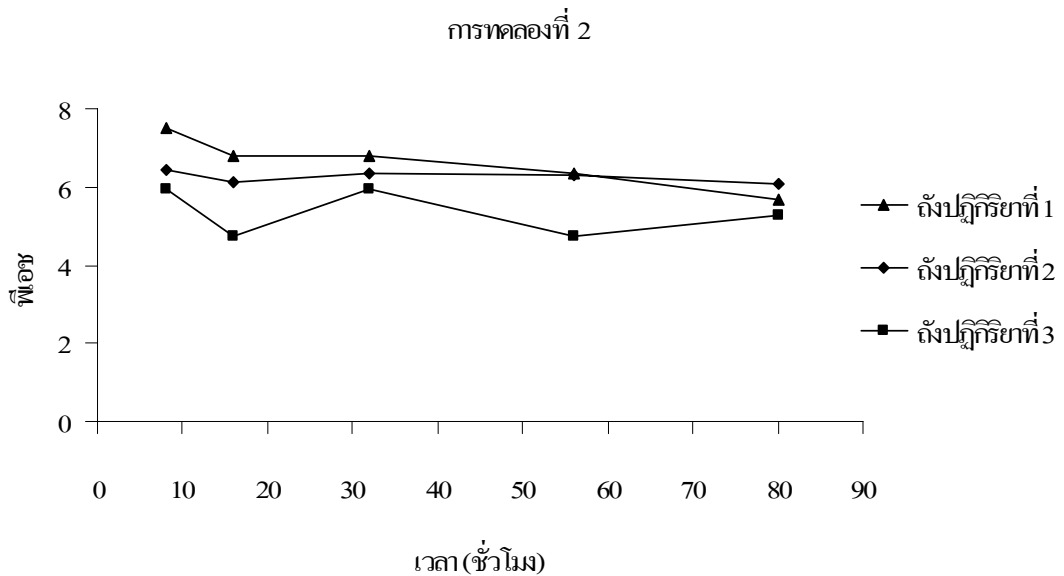
ภาพที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็มแอลเอสเอสกับเวลาในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 2 การทดลองหาค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ในถังปฏิกรณ์ที่มีการไหลแบบต่อเนื่องทดลองที่ 2 พบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมงค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) เฉลี่ยของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 271, 430, 678 มก./ล. ในการทดลองที่ 2 เริ่มมีการควบคุมค่าเอ็มแอลเอสเอสให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาค่าจลนพลศาสตร์ของเชื้อราที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่า F/M ratio ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังให้มีค่าแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 1.2, 2.4, 3.6 กก.ซีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน(kg-COD/kg-MLSS) ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็มแอลเอสเอสกับเวลา การทดลองที่ 2

2.2.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพที่ 37 จากการทดลองหาค่าพีเอชจากถึงปฏิกิริยาที่มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 2 โดยทำการวัดค่าพีเอชในถึงปฏิกิริยาดังภาพที่ 39 พบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56 และ 80 ชั่วโมงค่าพีเอชเฉลี่ยของทั้ง 3 ถึงเท่ากับ 6.64, 5.88, 6.37, 5.80 และ 5.70 ซึ่งจะพบว่าตลอดการเดินระบบโดยรวมมีค่าพีเอช มีค่าสูงกว่าช่วงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเอนไซม์ของเชื้อรา จึงมีผลทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดไม่ดี ทำให้เชื้อรานำสารอาหารไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือในช่วง 4.00-5.50



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลา การทดลองที่ 2

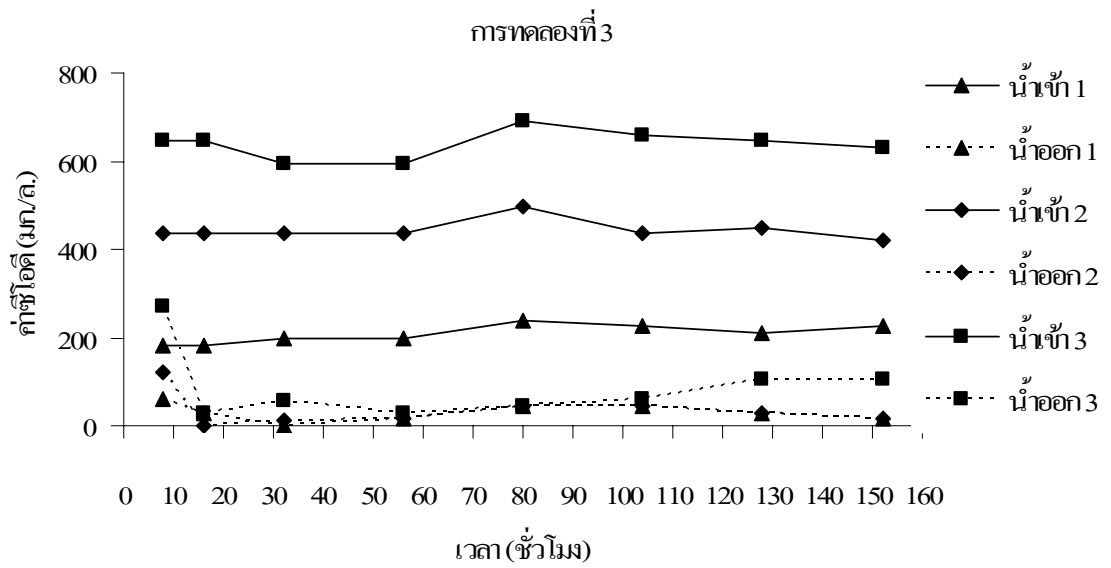
2.3 ศึกษา น้ำเสียที่เข้าถังปฏิกรณ์มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 3

สำหรับการทดลองที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อวัตถุประสงค์ในการหาประสิทธิภาพการบำบัดและหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเยื่อกรองละเอียดคมตัวที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่า F/M ratio ของถังปฏิริยาทั้ง 3 ถังให้มีค่าแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 1.2, 2.4, 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน ในถังปฏิริยาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ สำหรับการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ไปใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเยื่อกรองละเอียดคมตัวขนาด 20 ไมครอนขนาดใช้งานจริง (Full Scale) ได้โดยนำค่าต่างๆที่ได้จากสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์มาใช้ในการออกแบบ และเป็นพื้นฐานการคำนวณระบบต่อไป

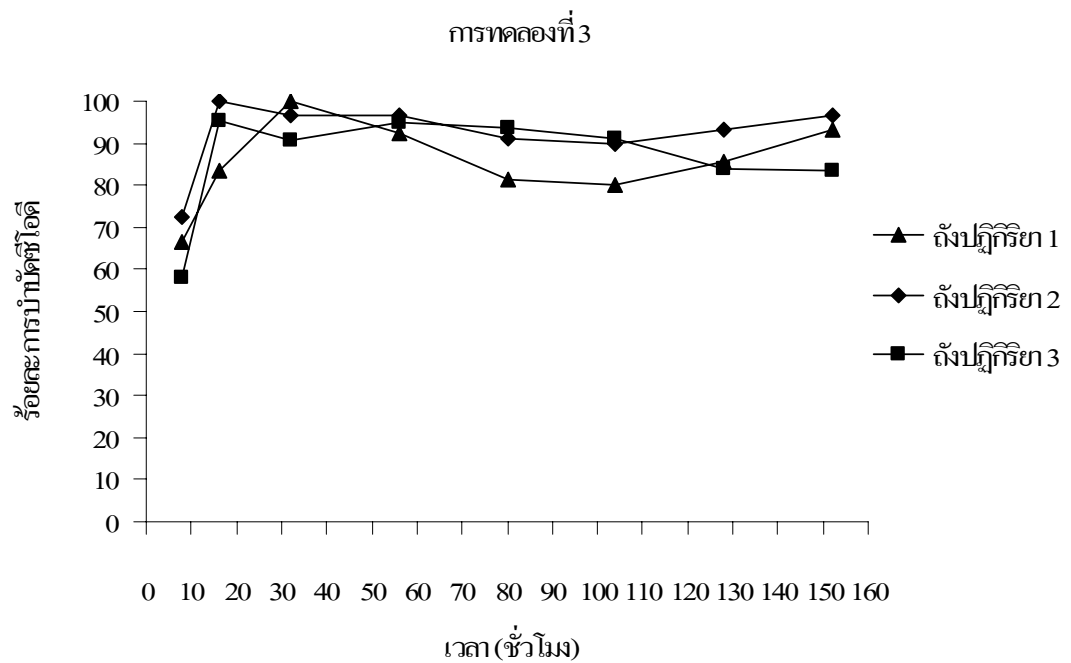
2.3.1 การบำบัดค่าชีโอดี

จากภาพที่ 38 และ 39 ได้ทำการศึกษาค่าชีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีถังปฏิกรณ์ไหลแบบต่อเนื่อง โดยค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิริยาถังที่ 1 มีค่าเท่ากับ 206.90 มก./ล. ค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิริยาถังที่ 2 มีค่าเท่ากับ 443.16 มก./ล. ค่าชีโอดีเฉลี่ยเข้าระบบถังปฏิริยาถังที่ 3 มีค่าเท่ากับ 637.61 มก./ล.แต่ละถัง

ปฏิกิริยาจะมีค่าความเข้มข้นซีโอดีที่เข้าระบบแตกต่างกันและทำการควบคุมค่าเอ็มแอลเอสเอสให้
อยู่ในช่วงค่า 500 มก./ล. ซึ่งได้แสดงรายละเอียดข้อมูลค่าความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเข้าและน้ำ
ออกเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีต่อเวลาถึงปฏิกิริยาถึงที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าซีโอดีเริ่มต้น
เฉลี่ยเท่ากับ 206.90 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152
ชั่วโมง ค่าซีโอดีน้ำออกจะมีค่าเท่ากับ 60.00, 30.00, 0.00, 15.00, 45.00, 45.00, 30.00 และ 15.00
มก./ล.ตามลำดับ ถึงปฏิกิริยาที่ 1 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 1.2 กก.ซีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอย
ในน้ำตะกอน-วันจากการทดลองที่ 3 จะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง มี
ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี เท่ากับ 66.7, 83.3, 100, 92.4, 81.3, 80.0, 85.7 และ 93.3 % ตามลำดับ
ถึงปฏิกิริยาถึงที่ 2 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 2.4 กก.ซีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-
วัน มีค่าซีโอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 443.16 มก./ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80,
104, 128 และ 152 ชั่วโมง ค่าซีโอดีน้ำออกจะมีค่าเท่ากับ 120.00, 0.00, 14.20, 15.00, 45.00, 45.00,
30.00 และ 15.00 มก./ล.พบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพ
การบำบัดซีโอดี เท่ากับ 72.4, 100.0, 96.8, 96.6, 91.0, 89.7, 93.3 และ 93.3 % ตามลำดับ ตามลำดับ
ปฏิกิริยาที่ 3 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 3.6 กก.ซีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน
จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการ
บำบัดซีโอดี เท่ากับ 58.1, 95.4, 90.5, 94.9, 93.5, 90.9, 83.7 และ 83.3 % ตามลำดับ ซึ่งจากการ
ทดลองของทั้ง 3 ถึงปฏิกิริยา พบว่าเชื้อราสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องมาจาก
เกิดกลไกการบำบัดค่าซีโอดีขึ้น เนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและ
กระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อราดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากการทดลองที่ 3 สามารถนำ
ค่าที่ได้ในสถานะคงที่มาทำการหาค่าจลนพลศาสตร์ของเชื้อราในระบบที่มีการไหลเข้าของน้ำเสีย
สังเคราะห์แบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากในการทดลองเข้าสู่สถานะคงที่ (Steady State) ของสารอินทรีย์



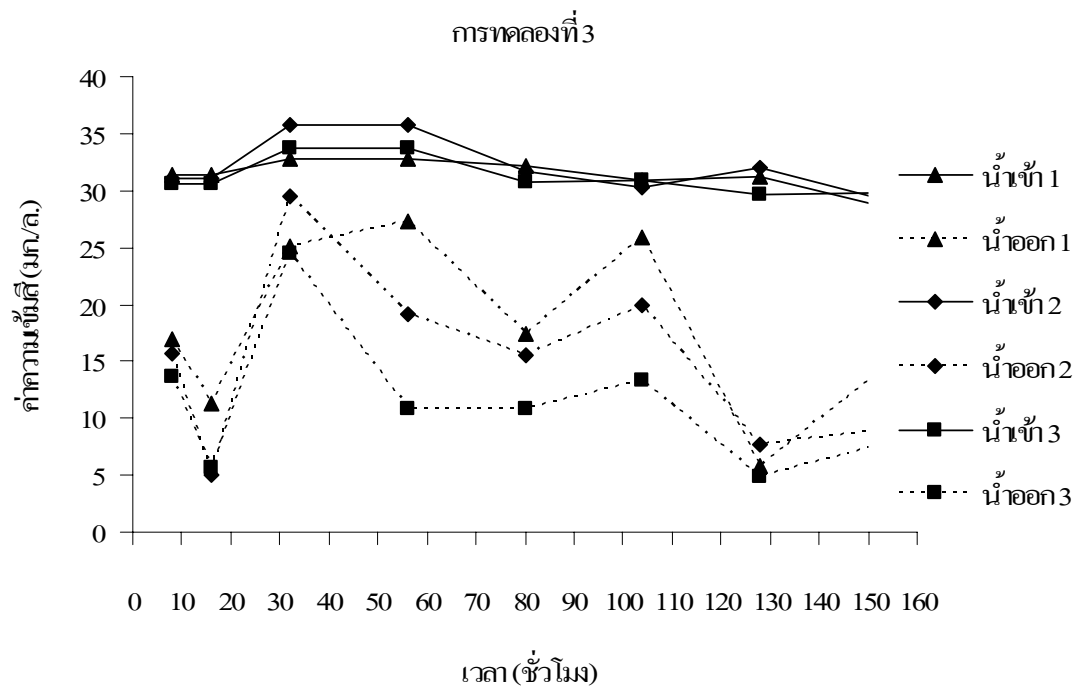
ภาพที่ 38 ค่าซีโอดีต่อเวลาของระบบถึงปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์การทดลองที่ 3



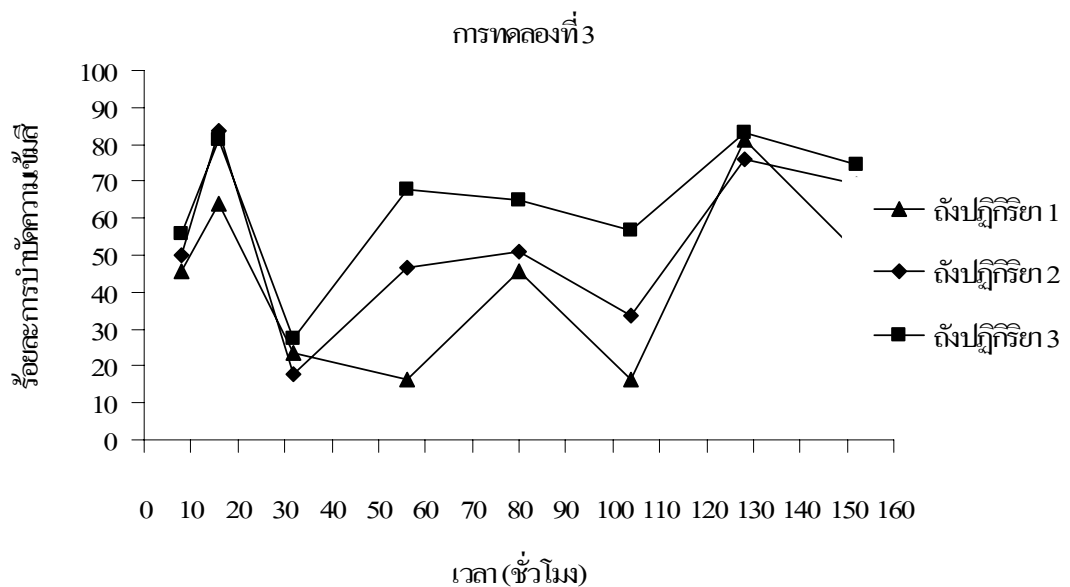
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่อเวลา การทดลองที่ 3

2.3.2 การบำบัดความเข้มข้น

จากภาพที่ 40 และ 41 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นต่อเวลาถึงปฏิกิริยาที่ 1 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 1.2 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วันจากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้น เท่ากับ 45.9, 64.1, 23.4, 16.5, 45.8, 16.3, 81.2 และ 51.1 % ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ค่า F/M ratio ต่ำๆจะมีค่าการบำบัดที่ไม่แน่นอน เนื่องมาจากการทดลองนี้ใช้เชื้อราตัวเดิมที่ได้จากการทดลองที่ผ่านมา ช่วงการเจริญเติบโตของเชื้อราที่มีชีวิต (Living Cell) เริ่มอยู่ในช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโตมีแต่เซลล์ที่แก่กำลังจะตายทั้งนั้น สังเกตได้จากขนาดของเชื้อราภายในถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดเล็กลงมากจากการทดลองครั้งแรกที่นำเชื้อราใหม่มาลง ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ต้องใช้เชื้อราเดิมเนื่องมาจากเชื้อราจากการทดลองระบบที่มีการป้อนน้ำเข้าอย่างต่อเนื่องต้องหาค่าประสิทธิภาพการบำบัดของเชื้อราเดิมเพื่อดูว่า ในการดำเนินระบบต้องมีการเดินระบบอย่างไรเพื่อควบคุมไม่ให้เชื้อราตาย ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 2 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 2.4 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน พบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นน้ำออกจะมีค่าเท่ากับ 49.8, 83.7, 17.7, 46.8, 50.7, 33.9, 75.9 และ 69.3 % ตามลำดับ ส่วนการทดลองในถังปฏิกิริยาที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นที่ค่า F/M กลางๆ มีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก อันเนื่องมาจากเหตุผลแบบเดียวกันกับถังที่ 1 ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว และถึงปฏิกิริยาที่ 3 ควบคุมค่า F/M ratio เท่ากับ 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วันจากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 8, 16, 32, 56, 80, 104, 128 และ 152 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความเข้มข้น เท่ากับ 55.6, 81.5, 27.3, 67.8, 64.8, 56.8, 83.4, 74.7 % ตามลำดับ ซึ่งที่ค่า F/M ratio สูงสุดในการทดลองพบว่าที่ค่าปริมาณสารอาหารที่ป้อนเข้าระบบสูงคือมีค่าชีโอดีสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นมากตามไปด้วยอันเนื่องมาจากเมื่อ ค่าปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีค่าสูงการนำเอาสารอินทรีย์ไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นในระบบจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ดังนั้นค่าความเข้มข้นที่ค่า F/M ratio สูงๆจะมีการบำบัดความเข้มข้นได้สูงกว่าที่ F/M ratio ต่ำๆ



ภาพที่ 40 ค่าความซึมที่น้ำเสียส่งเคราะห์ที่เข้าถึงอุปกรณ์กวนผสมการทดลองที่ 3

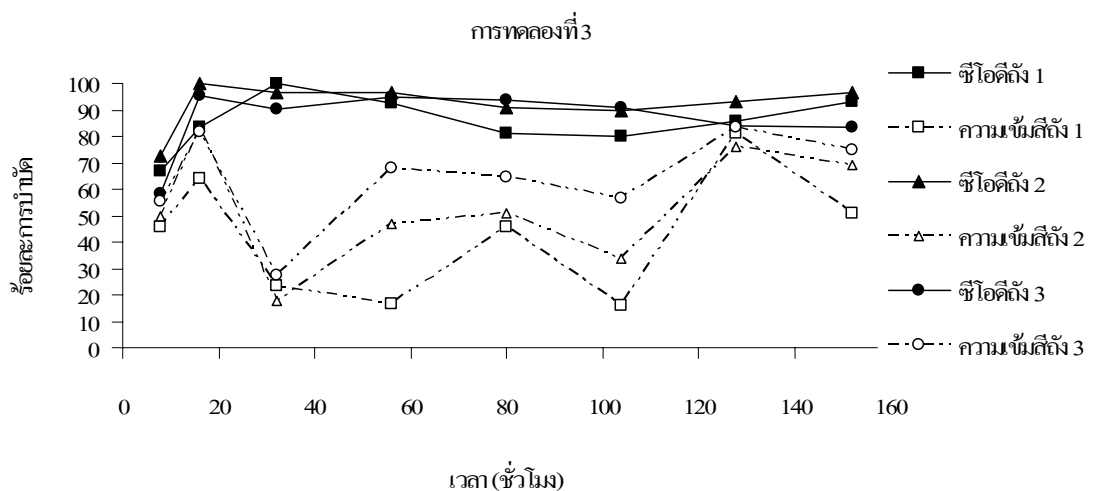


ภาพที่ 41 ประสิทธิภาพการบำบัดความซึมที่สัมพันธ์กับเวลาการทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่า การทดลองที่ 3 ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเชื้อกรอง
ละเอียดแบบจมตัวโดยใช้เชื้อราที่มีการเติมน้ำเสียเข้าแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอ
ดีและความเข้มข้นฟอกย้อมได้ดี ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดกระบวนการในการย่อยสลายสีที่มี
โครงสร้างซับซ้อน 2 กลไก คือ กลไกการดูดซับโดยตัวเชื้อรา และกลไกการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อย
สลายสารประกอบสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อนดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

2.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

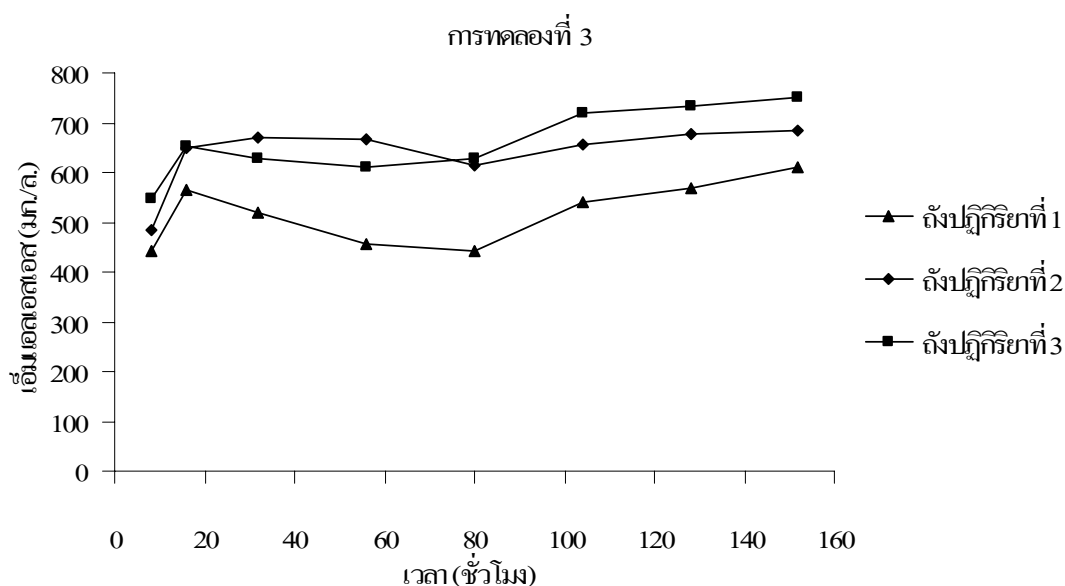
ภาพที่ 42 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละการบำบัด
ค่าชีโอดีและความเข้มสีของการทดลองแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 3 พบว่าจากทั้ง 3 ปฏิกริยาพบว่า
การทดลองที่เชื้อราจะมีประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มสีและชีโอดียังไม่คงที่แต่ยังคงมี
ประสิทธิภาพในการบำบัดดี ซึ่งการทดลองที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีเข้าสู่ภาวะ
คงที่แต่จะพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มสีมีค่าไม่คงที่ สาเหตุเนื่องมาจากภายในถังปฏิกริยา
มีสถานะที่ไม่เหมาะสมในการเกิดการผลิตเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารประกอบของสี
ย้อม ซึ่งสถานะที่สำคัญคือค่าพีเอชในระบบมีค่าสูงในช่วง 4.0-5.0 แต่จากการทดลองที่ 3 พบว่าค่า
พีเอชในถังปฏิกรณ์มีค่าสูงกว่าค่าในช่วงที่เหมาะสม ดังนั้นจึงส่งผลให้การบำบัดสีของเชื้อราในถังมี
ค่าไม่คงที่



ภาพที่ 42 ความสัมพันธ์เวลากับประสิทธิภาพการบำบัดค่าชีโอดีและความเข้มสี การทดลองที่ 3

2.3.4 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

จากภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอ็มแอลเอสเอสกับเวลาของถังปฏิริยาที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 2 จากการทดลองหาค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ในถังปฏิริยาที่มีการไหลแบบต่อเนื่องทดลองที่ 3 ได้ค่าดังภาพที่ 52 พบว่าที่เวลา 880, 888, 904, 928, 952, 976, 1000 และ 1024 ชั่วโมง ค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) ค่าเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) เฉลี่ยของถังปฏิริยาที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 519, 638, 658 มก./ล.

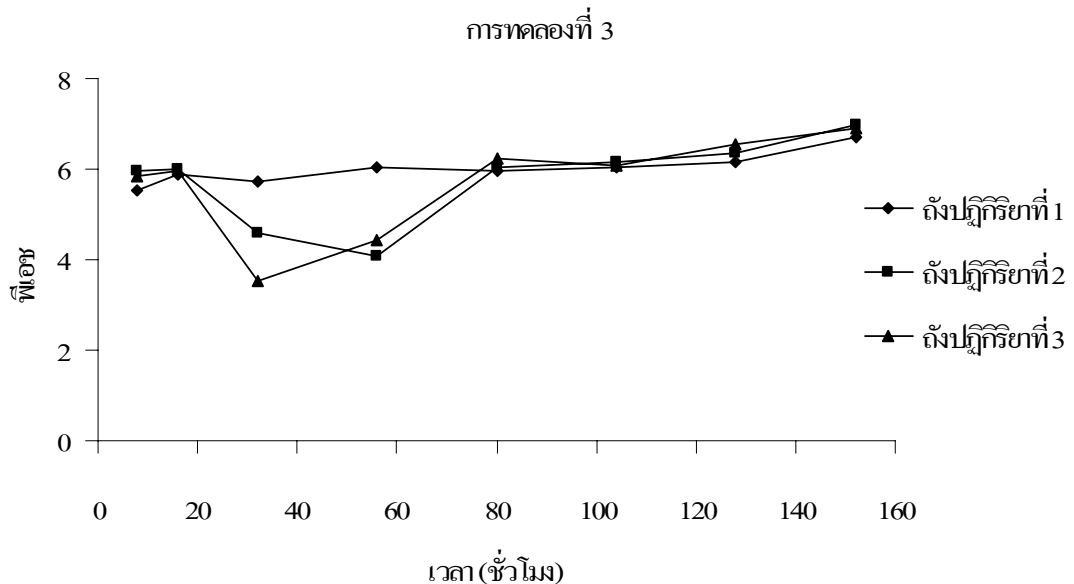


ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ค่าเอ็มแอลเอสเอสกับเวลาในถังปฏิริยา 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 3

2.3.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากภาพที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของถังปฏิริยาที่ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาค่าพีเอช จากถังปฏิริยาที่มีการไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 3 โดยทำการวัดค่าพีเอชในถังปฏิริยาดังภาพที่ 50 พบว่าที่เวลา 880, 888, 904, 928, 952, 976, 1000 และ 1024 ชั่วโมง ค่าพีเอช เฉลี่ยของทั้ง 3 ถังเท่ากับ 6.00, 5.77, และ 5.70 ซึ่งจะพบว่าตลอดการเดินระบบโดยรวมมีค่าพีเอช มีค่าสูงกว่าช่วงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเอนไซม์ของเชื้อราซึ่งจากค่าพีเอชก็จะทำให้ปฏิกิริยาในการเกิดการบำบัดค่าความเข้มข้นไม่สูง

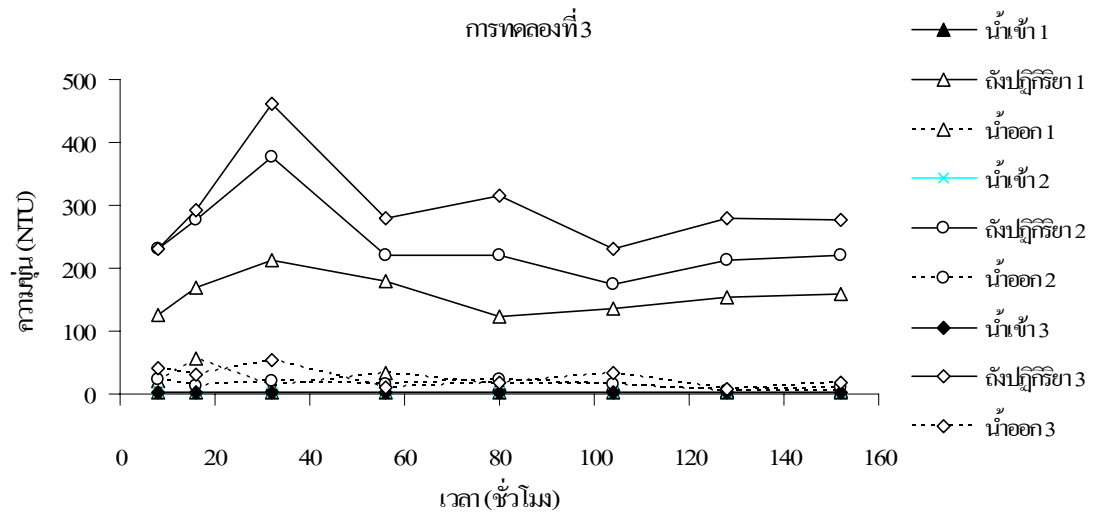
มากนัก ซึ่งปัจจัยในการผลิตเอนไซม์ที่มีความสำคัญในการย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนเช่น ลีข้อมขึ้นอยู่กับสถานะที่ค่าพีเอชช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ค่าพีเอชกับเวลาของถึงปฏิกิริยา 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 3

2.3.6 ค่าความขุ่น

จากภาพที่ 45 แสดงค่าความขุ่นต่อเวลาของทั้ง 3 ถึงปฏิกิริยา การทดลองที่ 3 การหาค่าความขุ่น (Turbidity) ดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 45 ทั้ง 3 ถึงปฏิกิริยาพบว่าน้ำเสียเข้า (Feed) มีค่าความขุ่นในช่วง 2.64-2.97 NTUซึ่งมีค่าความขุ่นน้อยก่อนเข้าถึงปฏิกิริยาที่มีเชื้อราอยู่ เมื่อทำการวัดค่าความขุ่นภายในถึงปฏิกิริยา พบว่าค่าความขุ่นเพิ่มสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 125-462 NTU ทำให้ทราบว่าเชื้อราที่อยู่ภายในถึงปฏิกิริยาเป็นตัวที่ทำให้ค่าความขุ่นสูง จากนั้นทำการวัดค่าความขุ่นที่ออกจากถึงปฏิกิริยา (Permeate) พบว่าค่าความขุ่นลดลงอยู่ในช่วงค่า 5.03-55.3 NTU ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าน้ำเข้าที่ทำการป้อนเข้าสู่ถึงปฏิกิริยา ที่ค่าความขุ่นของน้ำที่ออกจากถึงปฏิกิริยาลดลงเนื่องจากแผ่นกรองละเอียดขนาด 20 ไมครอนทำหน้าที่ในการกรองหรือกักเชื้อราที่อยู่ในถึงปฏิกิริยาไม่ให้ออกมาพร้อมกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วส่งผลให้ค่าความขุ่นน้ำออกมีค่าน้อย



ภาพที่ 45 ค่าความขุ่นต่อเวลาของทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ การทดลองที่ 3

2.3.7 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์เชื้อราของถังปฏิกรณ์ที่ไหลแบบต่อเนื่องการทดลองที่ 3

ความจำเป็นในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียโดยการออกแบบ ขึ้นกับคุณลักษณะของการย่อยสลายสารอาหารและรูปแบบการเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งทำได้โดยควบคุมสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ พีเอช ระยะเวลาเก็บกัก ตะกอนของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน ค่าอัตราสารอาหารต่อจุลินทรีย์ และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นหลักสำคัญที่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโต และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถควบคุมระบบและเชื้อราได้จึงจะสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์การเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราสามารถหาได้จากตารางที่ 9 และ 10 และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถควบคุมระบบและเชื้อราได้จำเพาะ จึงจะสามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องควบคุมอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

การศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียสังเคราะห์สี่ข้อม เป็นการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพและค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการออกแบบระบบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งแบบป้อนน้ำเสียต่อเนื่อง ผลการทดลองได้ใช้ข้อมูลในช่วงเสถียรหรือสภาวะคงที่ของระบบ คือเป็นช่วงที่ระบบมีประสิทธิภาพในการลดค่า COD ค่อนข้างคงที่ ช่วงเดิน

ระบบอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทำการทดลอง การทดลองทำโดยกำหนดสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ (F/M Ratio) ที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 1.2, 2.4, และ 3.6 ตามลำดับ ระยะเวลาเก็บกักที่ 8 ชั่วโมง โดยควบคุมสถานะแวดล้อมให้ใกล้เคียงกันทุกการทดลอง แล้วทำการวัดปริมาณจุลินทรีย์ในรูปของ MLSS ในขณะเดียวกันก็วัดสารอินทรีย์ในน้ำที่ออกจากระบบในรูปของ COD แล้วจึงนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ตามกราฟเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ตามสมการของโมนอด

ตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อรา

ถังปฏิกรณ์	X_0	X_t	X	HRT	S_i	S_t	$1/S_t$
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(d)	(mg/l)	(mg/l)	
1	500	517.8	508.9	0.33	225	15	0.0667
2	500	649.063	574.5315	0.33	460	40	0.025
3	500	692.88	596.44	0.33	665	70	0.0143

ตารางที่ 10 ค่าที่นำไปคำนวณสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราในถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์	$X(HRT)/(S_i - S_t)$	$(\Delta X/\Delta t)/X(HRT)$	$(S_i - S_t)/X(HRT)$
1	0.800	0.321	1.250
2	0.451	2.382	2.215
3	0.331	2.970	3.023

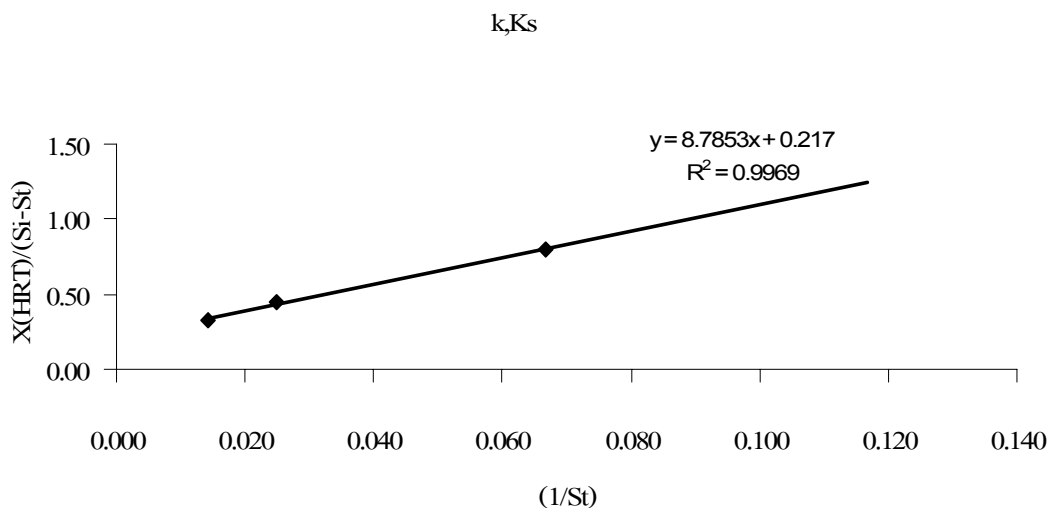
2.3.7.1. การทดลองเพื่อหาค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดของจุลินทรีย์ (k) และความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (K_s)

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมงผลการทดลองดังตารางที่ 7 เมื่อนำเขียนกราฟเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $X(HRT)/(S_i - S_t)$ และค่า $1/S_t$ ได้ดังภาพที่ 46 ซึ่งได้ค่าความชัน คือค่า K_s/k และมีจุดตัดแกน Y คือค่า $1/k$ สรุปค่าได้ดังนี้ จาก

กราฟความชันของกราฟเท่ากับ 8.785 และ จุดตัดแกน y เท่ากับ 0.217 สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการใช้อาหารสูงสุด (k) และอัตราการตายของจุลินทรีย์(k_d) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} k &= 1/\text{จุดตัดแกน } Y \\ &= 1/0.217 \text{ (วัน}^{-1}\text{)} \\ &= 4.61 \text{ (วัน}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_s &= (\text{ความชันกราฟ})/k \\ &= (8.7853)(4.61) \text{ (มก.ซีโอดี/ ลิตร)} \\ &= 40.50 \text{ (มก.ซีโอดี/ ลิตร)} \end{aligned}$$



ภาพที่ 46 การหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ k และ K_s

การทดลองที่ระยะเวลาเก็บกาก 8 ชั่วโมง ได้ค่า k และ K_s เท่ากับ 4.61 d^{-1} และ 40.49 mg/l ตามลำดับเนื่องจากเป็นค่าคงที่เฉพาะของเชื้อราต่อน้ำเสียสังเคราะห์สี่ข้อมประเภทรีแอกทีฟ บลู เอ 13 ค่าซึ่ง Muhammad *et.al.* (2005) ได้ทำการทดลองโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศทั่วไปในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัวโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียชุมชน) พบว่าค่า k และ K_s มีค่าอยู่ในช่วง $0.0043\text{-}0.571 \text{ d}^{-1}$ และ $289\text{-}2933 \text{ mg COD/l}$ ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ค่า k ซึ่งเป็นค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดของเชื้อรามีค่าสูงกว่าช่วงของเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไป ดังนั้น ทำให้ทราบว่าภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเชื้อราสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆได้

และสามารถเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้สูง ดังนั้นภายในถังปฏิกรณ์ทำจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังพบว่าค่า K_s ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของสารอาหารเมื่ออัตราการย่อยสลายสารอาหารเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด มีค่า K_s ต่ำกว่าค่าของเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีในขณะที่ใช้ระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์น้อย เป็นข้อดีของการเลือกใช้เชื้อรา

สรุปค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า k และ K_s ของเชื้อราสามารถอธิบายถึงการเกิดกิจกรรมของเชื้อราภายในถังปฏิกรณ์ได้ว่า ถังปฏิกรณ์ที่มีเชื้อรามีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพและใช้ระยะเวลาน้อยในเกิดปฏิกิริยา

2.3.7.2. อัตราการเพิ่มของจุลินทรีย์ หรือ สัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Yield coefficient, Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (Decay rate, k_d)

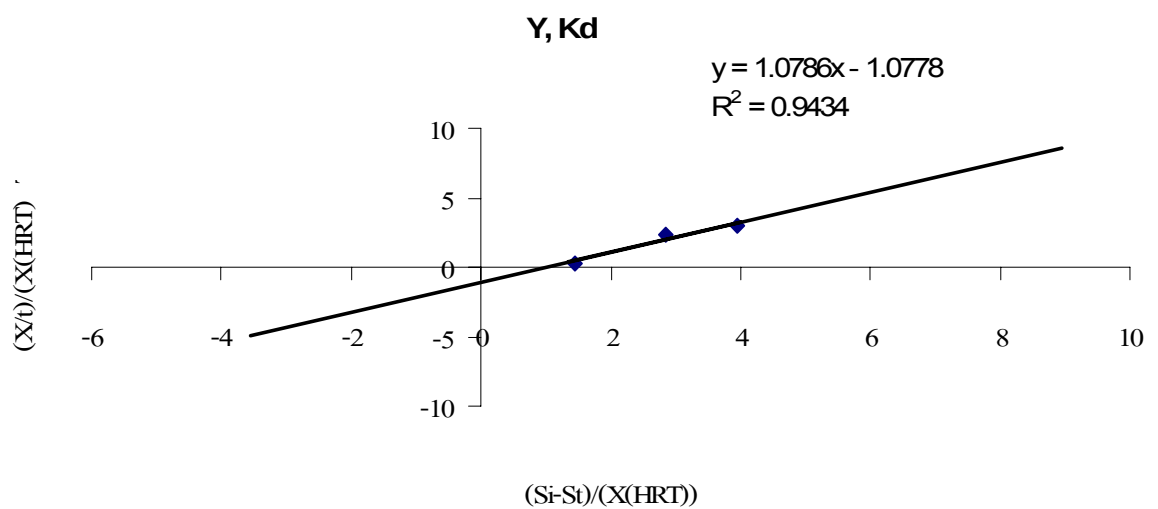
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 9 และ 10 เมื่อนำเขียนกราฟเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(\Delta X/\Delta t)/\text{AverageX}$ และ $(S_i - S_f)/\text{AverageX(HRT)}$ ได้ดังภาพที่ 47 และ ซึ่งได้ค่าความชัน คือค่า Y และมีจุดตัดแกน Y คือค่า $-k_d$ สรุปค่าได้ดังนี้

การทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก คือ 8 ชั่วโมง ได้ค่า Y และ k_d ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นค่าคงที่เฉพาะของเชื้อต่อน้ำเสียประเภทนั้น ๆ ค่า Y ของการทดลองที่ 8 ชั่วโมง เฉลี่ยเท่ากับ 1.08 mg MLSS/mg COD ส่วนค่า k_d ของการทดลองที่ 8 ชั่วโมง เท่ากับ 1.08 d^{-1} ดังนั้นค่า Y และ k_d ซึ่ง Muhammad *et.al.* (2005) ได้ทำการทดลองโดยใช้เชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัวโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียชุมชน) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) มีค่าอยู่ในช่วง 0.49-0.58 mg MLSS/mg COD และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.037-0.151 เมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับเชื้อราที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของเชื้อรามีค่ามากกว่าเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัวแสดงว่าในถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ใช้เชื้อราพบว่าเชื้อรามีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียที่ใช้อากาศทั่วไปแสดงว่า ในถังปฏิกรณ์มีปริมาณเชื้อราเกิดขึ้นมาก ส่งผลให้ค่าอายุตะกอนในถังต่ำเป็นผลดีในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ คือใช้ระยะเวลาน้อยในการเกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า k_d ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการตายของเชื้อราพบว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศพบว่ามีความสูงกว่ามาก จากการวิเคราะห์ค่าอัตราการตายของเชื้อราทำให้ทราบได้ว่า เชื้อราในถังปฏิกรณ์ที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้มีอัตราการตายสูงกว่าเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไป ส่งผลให้ภายในถังปฏิกรณ์มีปริมาณเชือราน้อย สรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า Y และ k_d พบว่าอัตราการเกิดและอัตราการตายมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นทำให้ภายในถังปฏิกรณ์มีปริมาณเชื้อราคงที่ เป็นข้อดีคือไม่ต้องมีการถ่ายเชื้อ ซึ่งจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์เป็นข้อได้เปรียบของถังปฏิกรณ์ที่ใช้เชื้อราเบสิดิโอไมไซต์จากถังปฏิกรณ์ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในควบคุมปริมาณตะกอนภายในถังปฏิกรณ์ เนื่องด้วยตะกอนจุลินทรีย์มีเชื้อราขาวเป็นจุลินทรีย์หลักในระบบแทนแบคทีเรียใช้อากาศ โดยที่สามารถอธิบายตามหลักการในการทำงานของถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเยื่อกรองจมตัวต้องมีการเลี้ยงเชื้อให้ได้ปริมาณมากๆ เพื่อต้องการให้ถังปฏิกรณ์มีความสามารถในการบำบัดที่มีภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายเสียย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเยื่อกรองมีหน้าที่ในการกรองเชื้อและดักตะกอนเชื้อภายในถังปฏิกรณ์ให้มีปริมาณเชื้อมากๆ เพราะในถังปฏิกรณ์เมื่อเชื้อมีปริมาณมากก็จะมีตัวที่ตายไปมากเช่นเดียวกันเนื่องจากเกิดการกินกันเองหรือมีการย่อยสลายตัวเองดังที่ Waddle and Jenkins, 1971 ได้กล่าวไว้ว่า ในสภาวะ Endogenous Decay จะเกิดขึ้นเมื่อไม่สามารถหาพลังงานจากภายนอกเซลล์มาใช้ได้ จะเกิดการย่อยสลายตัวเองเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง เมื่ออาหารที่สะสมอยู่ในเซลล์ถูกใช้หมดไปมาใช้ในและเซลล์จะเริ่มย่อยสลายส่วนประกอบสำคัญของมัน เช่น RNA, DNA และ โปรตีนอื่นๆ เป็นผลให้เซลล์ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ ส่วนในการทดลองนี้จะมีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบอย่างต่อเนื่องทำให้มีปริมาณสารอาหารตลอดเวลาจึงทำให้มีปริมาณสารอาหารเพียงพอที่จะทำให้เกิดเซลล์ใหม่ขึ้นและเซลล์ที่ตายไปก็เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวเองเนื่องจากเซลล์ที่มีอายุมากก็จะแก่ตายทำให้เชื้อราอัตราการตายเกิดขึ้นจากค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ค่า Y และ k_d ของเชื้อราในถังปฏิกรณ์ที่ทำทดลองเริ่มต้นเดินระบบมีการนำเชื้อราในสภาวะ Stationary Phase มาใช้ในถังปฏิกรณ์ทำให้เชื้อราที่ใช้มีอัตราการเกิดและอัตราการตายที่สูง จึงส่งผลให้เชื้อราในถังปฏิกรณ์มีปริมาณคงที่ ซึ่งสังเกตได้จากค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักค่อนข้างคงที่เมื่อทำการควบคุมค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 500 มก./ล. จะมีการถ่ายตะกอนออกจากถังน้อยมากคือ ประมาณวันละ 200 มล./วัน เพื่อควบคุมปริมาณตะกอนทำให้หาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ได้

จากภาพที่ 47 พบว่าสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟความชันของกราฟเท่ากับ 1.0786 และ จุดตัดแกน y เท่ากับ 1.0778 สามารถนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) และอัตราการตายของจุลินทรีย์ (k_d) ได้ดังนี้

Y = ความชันของกราฟ
 = 1.08 (มก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อมก.ซีไอดี)
 k_d = จุดตัดแกน y
 = 1.08 (ต่อวัน)



ภาพที่ 47 ค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ Y k_d และ μ_m

2.3.7.3. อัตราการเจริญเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์ (Maximum specific growth rate, μ_m)

สำหรับอัตราการเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์ เป็นค่าของผลคูณระหว่างอัตราการใช้ อัตราการใช้อาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์ (k) กับสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Y) ดังนั้น จากค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวข้างต้นในข้อ 2.3.7.1 และ 2.3.7.2 สามารถคำนวณค่าอัตราการเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์ ได้ดังนี้

$$\mu_m = Y(k)$$

$$= 1.08 (4.61)$$

$$= 4.98$$

ระบบถังปฏิกรณ์แบบมีเชื้อกรองละเอียดจมน้ำ มีอัตราการเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์เฉลี่ยเท่ากับ 4.98 d^{-1} ในการทดลองที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง ซึ่งมีงานวิจัยของ Muhammad *et.al.* (2005) ได้ทำการทดลองโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้อากาศทั่วไปในถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมน้ำโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำเสียชุมชน) พบว่าค่าอัตราการเติบโตสูงสุดสุทธิของจุลินทรีย์มีค่าอยู่ในช่วง $1.28-6.46 (\text{d}^{-1})$ จากการเปรียบเทียบระหว่างเชื้อรากับแบคทีเรียใช้อากาศจะเห็นได้ว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน

สรุปได้ว่าค่าอัตราการเติบโตสูงสุดของเชื้อรามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไป แสดงให้เห็นว่าเชื้อรามีอัตราการเจริญเติบโตสูงทำให้ระยะเวลาเก็บกักในถังปฏิกรณ์น้อยอีกด้วยเป็นข้อดีของการเลือกใช้เชื้อรา ซึ่งจากการหาสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ทำให้ทราบถึงการเกิดปฏิกิริยาภายในถังปฏิกรณ์ได้อีกทั้งการเลือกใช้เชื้อราเบสิดิโอไมไซค์มาใช้ในการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงและยังเป็นแนวทางในการนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบและดำเนินระบบบำบัดโดยใช้ประโยชน์จากเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพ

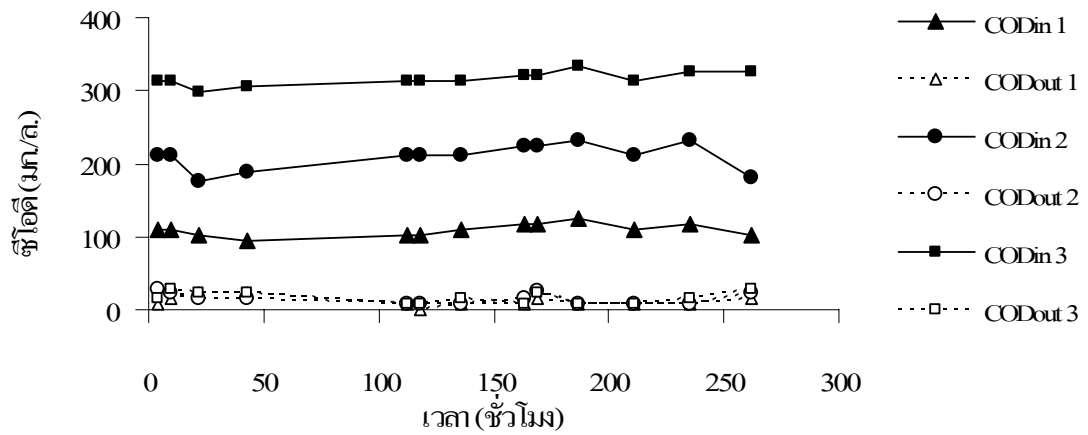
3. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดเชื้อราถังปฏิกรณ์แบบเอสบีอาร์ (SBR)

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเชื้อราชนิดเบสิดิโอไมไซค์ในการย่อยสลายสีซ้อมรีแอกทีฟบลู เอ 13 แบบเอสบีอาร์ (SBR) แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ทำการควบคุมค่าระยะเวลาเก็บกัก เท่ากับ 4 ชั่วโมง F/M ratio 1.2, 2.4, 3.6 กก. ซีไอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วันได้ทำการศึกษาค่าซีไอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมหมุน โดยค่าซีไอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ที่ 1 ($F/M = 1.2$) มีค่าเท่ากับ 108.53 มก./ล. ค่าซีไอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ที่ 2 ($F/M = 2.4$) มีค่าเท่ากับ 209.80 มก./ล. ค่าซีไอดีเข้าระบบถังปฏิกรณ์ที่ 3 ($F/M = 3.6$) มีค่าเท่ากับ 316.10 มก./ล.แต่ละถังจะมีค่าความเข้มข้นซีไอดีที่เข้าระบบแตกต่างกันซึ่งจากการทดลองแบบที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบแบบกึ่งต่อเนื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ขึ้น ให้เชื้อราสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้มากขึ้น เนื่องจากการทำการทดลองที่ผ่านมา 2 ระบบแล้วทำให้มีส่วนช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบถังปฏิกรณ์ที่มีความเหมาะสมไปใช้จริงในโรงงานฟอกย้อมได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ เนื่องจากถังเอสปีอาร์มีข้อดีคือสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงใช้เวลาในการบำบัดน้อย

3.1 การบำบัดค่าซีไอดี

จากภาพที่ 48 และ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีต่อเวลาของถังระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมแบบเอสปีอาร์ (SBR) โดยมีแผ่นกรองละเอียดจมตัว ซึ่งถึงปฏิริยาที่ 1 (SBR 1) มีค่าซีไอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 108.53 มก./ ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ค่าซีไอดีน้ำออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 7.27, 14.55., 23.80, 23.20, 7.27, 0.00, 7.27, 7.27, 14.55, 7.27, 7.27, 7.27 และ 14.55 มก./ ล.ตามลำดับ มีการสามารถบำบัดค่าซีไอดีได้มีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี (COD) เท่ากับ 93.3, 86.7, 86.6, 76.6, 92.9, 100.0, 93.3, 93.8, 87.5, 94.1 93.3, 93.8 และ 85.7 % ตามลำดับถึงปฏิริยาถังที่ 2 (SBR 2) มีค่าซีไอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 209.80 มก./ ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ค่าซีไอดีน้ำออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 29.10, 21.82., 14.55, 14.55, 7.27, 7.27, 7.27, 14.55, 24.25, 7.27, 7.27, 7.27 และ 21.82 มก./ ล. ตามลำดับมีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี (COD) เท่ากับ 86.2, 89.7, 91.7, 92.3, 96.6, 96.6, 96.6, 93.6, 89.2, 96.9, 96.6, 96.9 และ 88.0 % ตามลำดับ และถึงปฏิริยาถังที่ 3 (SBR 3) มีค่าซีไอดีเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 316.10 มก./ ล. จากการทดลองจะพบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ค่าซีไอดีน้ำออกจะมีค่าลดลงเท่ากับ 14.55., 29.10, 21.82, 21.82, 7.27, 7.27, 14.55, 7.27, 21.82, 7.27, 7.27 , 14.55 และ 29.10 มก./ ล.ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี (COD) เท่ากับ 95.4, 90.7, 92.7, 92.9, 97.7, 97.7.0, 95.4, 97.7, 93.2, 97.8 97.7, 95.6 และ 91.1 % ตามลำดับ



CODin 1 คือ ซีโอดีน้ำเข้าถัง SBR 1

CODout 1 คือ ซีโอดีน้ำออกถัง SBR 1

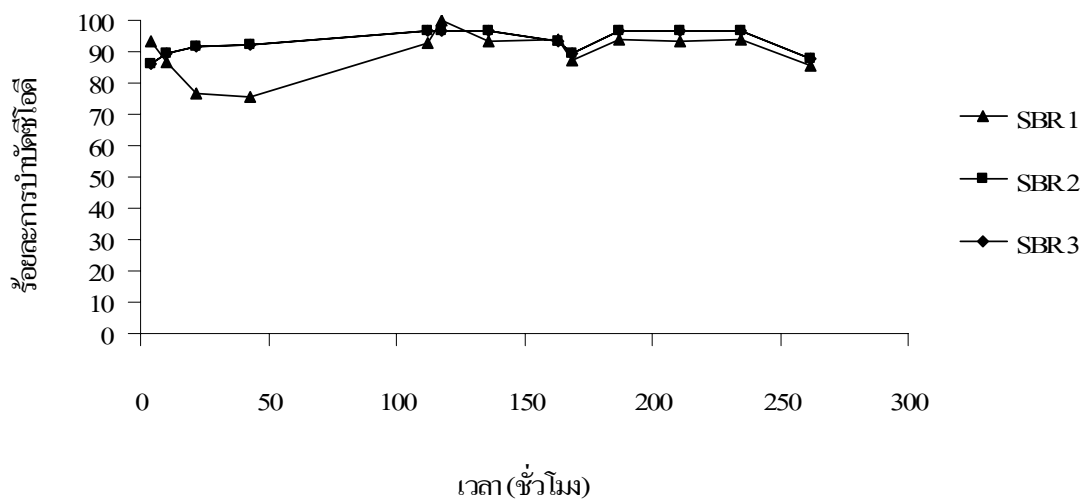
COD in 2 คือ ซีโอดีน้ำเข้าถัง SBR 2

CODout 2 คือ ซีโอดีน้ำออกถัง SBR 2

COD in 3 คือซีโอดีน้ำเข้าถัง SBR 3

CODout 3 คือ ซีโอดีน้ำออกถัง SBR 3

ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ค่าซีโอดีต่อเวลาของน้ำเข้าและน้ำออกจากถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ 1, 2 และ 3



SBR 1 คือ ถังเอสปีอาร์ 1 (F/M= 1.2)

SBR 3 คือ ถังเอสปีอาร์ 1 (F/M= 3.6)

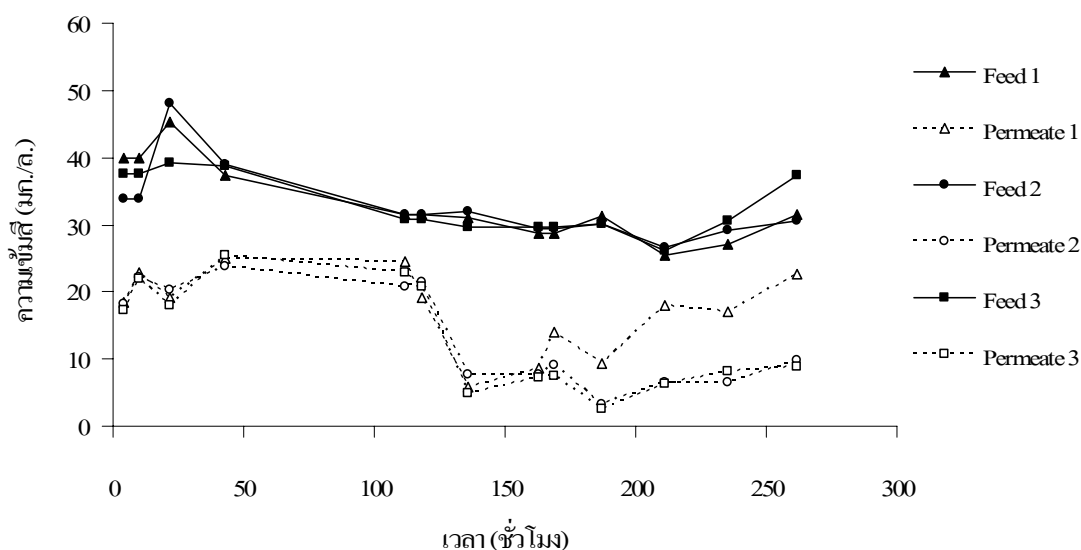
SBR 2 คือ ถังเอสปีอาร์ 2 (F/M= 2.4)

ภาพที่ 49 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีต่อเวลาของถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ 1, 2 และ 3

จากการทดลองถึงเอสปีอาร์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมงเกิดจากกลไกการบำบัดชีโอดีในถังที่มีเชื้อราเกิดจากกลไกการดูดซับ เข้าไปภายในเซลล์เนื่องมาจาก 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนการสร้างเอนไซม์ของเชื้อรา ซึ่งทั้ง 2 กลไกมีความสัมพันธ์กันเนื่องมาจากในน้ำเสียสังเคราะห์มีกลูโคสซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับเชื้อรา เชื้อราจะทำการดูดซับสารอินทรีย์ไว้ที่ผิวเซลล์และภายในเซลล์ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของเซลล์ (Metabolism) และนำไปใช้เป็นส่วนที่เข้าไปสะสมภายในเซลล์เพื่อตัวกระตุ้นในการสร้างเอนไซม์ที่ช่วยย่อยสลายสารประกอบเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก

3.2 การบำบัดความเข้มข้น

จากภาพที่ 50 ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถึงปฏิกรณ์กวนผสมแบบเอสปีอาร์ (SBR) โดยค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์เอสปีอาร์ที่ 1 (SBR 1), ถึงปฏิกรณ์ที่ 2 (SBR 2) และถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (SBR 3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.02, 32.73 และ 32.93 มก./ล. แต่แต่ละถังจะมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบใกล้เคียงกัน



Feed 1 คือ น้ำเข้าถัง SBR 1

Permeate 1 คือน้ำออกถัง SBR 2

Feed 2 คือ น้ำเข้าถัง SBR 2

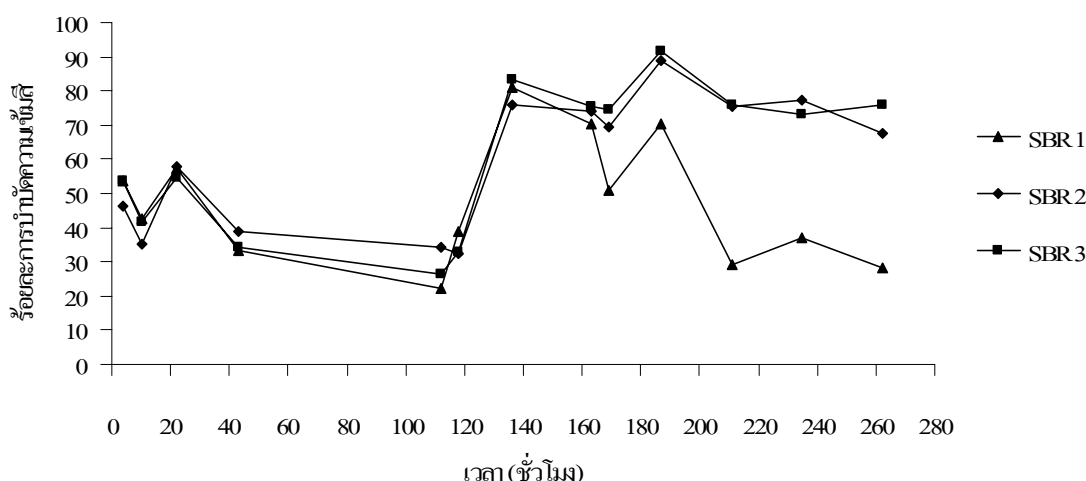
Permeate 2 คือน้ำออกถัง SBR 2

Feed 3 คือ น้ำเข้าถัง SBR 3

Permeate 3 คือน้ำออกถัง SBR 3

ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นต่อเวลาของถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ 1, 2 และ 3

ซึ่งการทดลองดังภาพที่ 51 และ 52 โดยทำการป้อนน้ำเสียเข้าระบบมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ที่ 1 (SBR 1) ทำการป้อนน้ำเสียเข้าถังแบบเอสปีอาร์ (SBR) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 33.02 มก./ล. ดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 62 โดยได้แสดงถึงค่าความเข้มข้นน้ำเข้า (Feed) ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองและแสดงค่าความเข้มข้นน้ำออกจากถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ (Permeate) พบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 53.8, 42.5, 57.4, 33.2, 22.4, 38.8, 81.2, 70.2, 51.1, 70.3, 29.3, 37.0, 28.4 % ตามลำดับ น้ำเสียเข้าระบบมีค่าความเข้มข้นที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ถึงที่ 2 (SBR 2) ทำการป้อนน้ำเสียเข้าถังแบบเอสปีอาร์ (SBR) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 32.73 มก./ล. โดยได้แสดงถึงค่าความเข้มข้นน้ำเข้า ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองและแสดงค่าความเข้มข้นน้ำออกจากถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ พบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 46.1, 35.0, 57.7, 39.0, 34.3, 32.2, 75.9, 74.0, 69.3, 89.0, 75.3, 77.5, 67.8% ตามลำดับถึงปฏิกรณ์ที่ 3 (SBR 3) ทำการป้อนน้ำเสียเข้าถังแบบเอสปีอาร์ (SBR) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 32.93 มก./ล. ดังแสดงไว้ในภาพที่ 66 โดยได้แสดงถึงค่าความเข้มข้นน้ำเข้าที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองและแสดงค่าความเข้มข้นน้ำออกจากถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ จะพบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 53.7, 41.7, 54.4, 34.1, 26.2, 33.0, 83.4, 75.5, 74.7, 91.7, 75.7, 73.2, 76.0 % ตามลำดับ

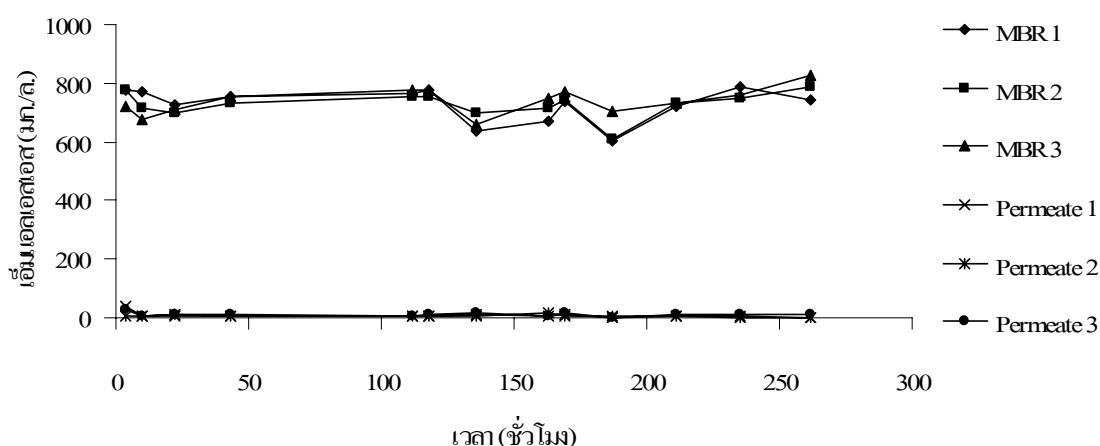


ภาพที่ 51 ประสิทธิภาพการบำบัดความเข้มข้นต่อเวลาของถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์

จากการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่มีเชื้อรามีประสิทธิภาพในการบำบัดความเข้มข้นสูง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดกลไกการบำบัดความเข้มข้นสูงโดยการที่เชื้อราชนิดเบสิดิโอมิไซต์ที่เลี้ยงในน้ำเสียตั้งคราห์เกิดกระบวนการในการย่อยสลายสียที่มีโครงสร้างซับซ้อน 2 กระบวนการ คือ กระบวนการดูดซับโดยตัวเชื้อรา และกระบวนการผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารประกอบสีย้อมที่มีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งกระบวนการในการย่อยสลายสียที่มีโครงสร้างซับซ้อนของเชื้อราเกิดจากการทำงานของเอนไซม์พวกฟีนอลออกซิเดส (Phenol Oxidase) ได้แก่ เอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส (Lignin Peroxidase, LiP), แมงกานีสเปอร์ออกซิเดส (Manganese Peroxidase, MnP) และแลคเคส (Laccase) ที่เชื้อราผลิตขึ้นในช่วงทุติยภูมิของชีวิต (เบญจพรหม, 2545)

3.3 ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน

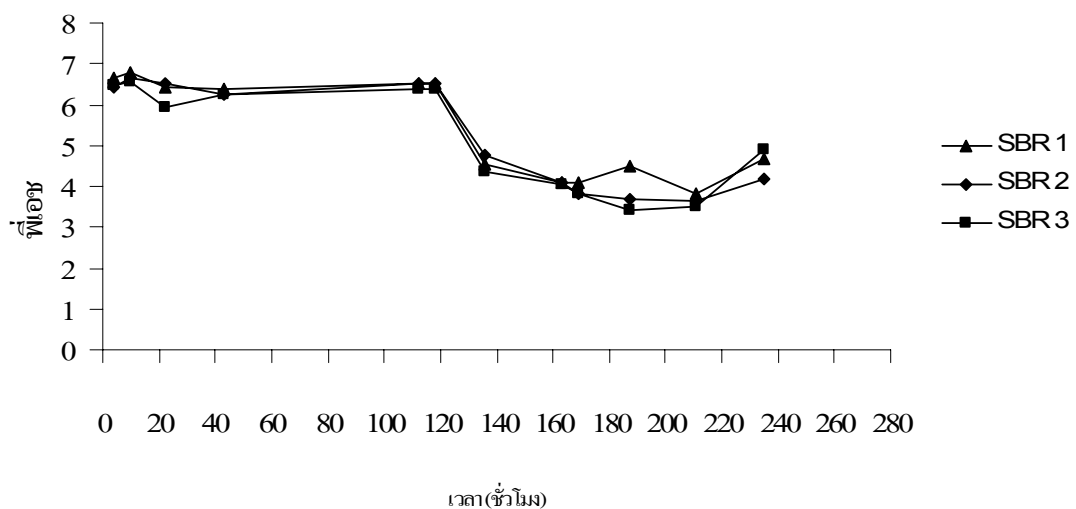
จากการทดลองหาค่า MLSS ในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ที่ 1, 2 และ 3 ได้ค่าดังภาพที่ 50 พบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211, 235 และ 80 ชั่วโมง MLSSเฉลี่ยของถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 729, 728, 740 มก./ล. ในการทดลองที่ 2 เริ่มมีการควบคุมค่า MLSS ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่า F/M ratio ของถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถังให้มีค่าแตกต่างกัน 3 ค่าคือ 1.2, 2.4, 3.6 กก.ชีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วัน ในถังปฏิกรณ์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 52 ความสัมพันธ์ค่าเอ็มแอลเอสเอสกับเวลาในถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ 1, 2 และ 3

3.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ภาพที่ 53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ 1, 2 และ 3 การทดลองที่ 3 ในการทดลองหาค่าพีเอชจากถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ที่มีการไหลถึงต่อเนื่อง โดยทำการวัดค่าพีเอช พบว่าที่เวลา 4, 10, 22, 43, 112, 118, 136, 163, 169, 187, 211 และ 235 ชั่วโมง ค่าพีเอชเฉลี่ยของทั้ง 3 ถังเท่ากับ 6.00, 5.77, และ 5.70 ซึ่งจะพบว่าตลอดการเดินระบบโดยรวมมีค่าพีเอช มีค่าสูงกว่าช่วงสภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการผลิตเอนไซม์ของเชื้อราแต่มีค่าสูงกว่าช่วงสภาวะที่เหมาะสมไม่มากนัก ดังนั้นจึงทำให้ค่าการบำบัดความเข้มข้นมีค่าสูง



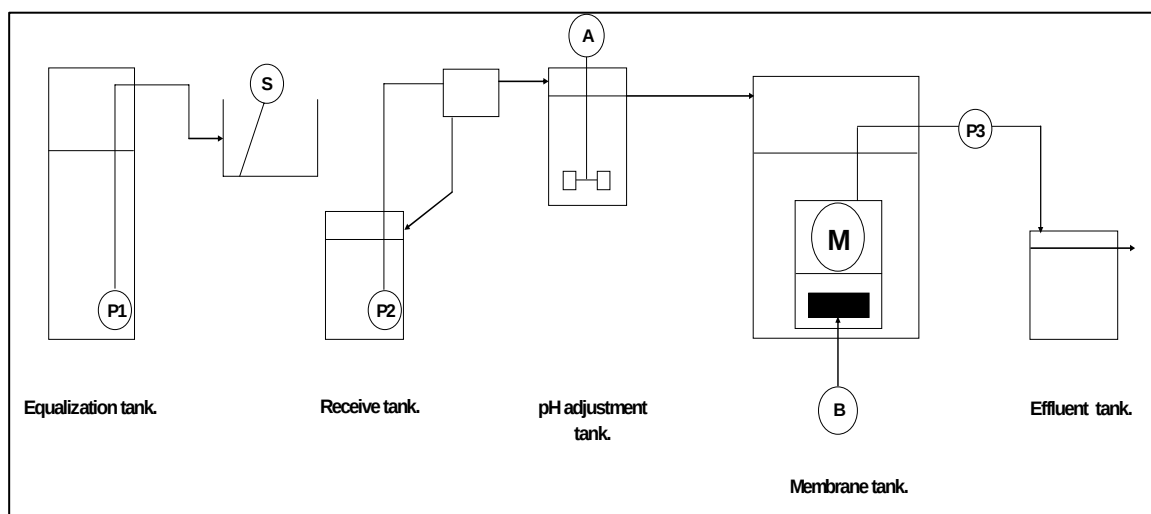
ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ค่าพีเอชกับเวลาของถังปฏิกรณ์เอสบีอาร์ 1, 2 และ 3

สรุปผลการทดลองระบบจากการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดของเชื้อราชนิดเบสิดิโอมิไซค์ ในการย่อยสลายสีย้อมรีแอคทีฟบลู เอ 13 แบบเอสบีอาร์ที่มีเชื้อรอลงละเอียดยกตัว แบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ทำการควบคุมค่าระยะเวลาเก็บกัก เท่ากับ 4 ชั่วโมง F/M ratio 1.2, 2.4, 3.6 กก.ซีโอดี/กก.ของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน-วันได้ทำการศึกษาค่าซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ทำการป้อนเข้าระบบถังปฏิกรณ์กวนผสมที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพดีในการบำบัดค่าซีโอดีและค่าความเข้มข้น และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยแต่ในการบำบัดค่าความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพไม่สูงเหมือนการทดลองแรกๆเนื่องมาจากใช้เชื้อราตัวเดิมที่ส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะที่มีการตายมากขึ้น ทำให้เชื้อราที่ดูดซับสีไว้คายสีออกมาบ้าง ส่วนตัวที่ยังมีชีวิตอยู่ก็เกิดกลไกในการบำบัดได้ แต่

ส่วนใหญ่เชื้อราที่อยู่ในถังปฏิกรณ์เริ่มไม่มีการเกิดใหม่อาจจะเนื่องมาจาก เชื้อราเป็นสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นได้เมื่อสภาวะสารอาหาร อุณหภูมิ พีเอชที่เหมาะสมในสภาวะปลอดเชื้อ ดังนั้นเมื่อมีเชื้อราเติบโตในอาหารเหลว (น้ำเสียสังเคราะห์) ซึ่งมีการปนเปื้อนสูง ดังนั้นเมื่อเซลล์ของเชื้อราในช่วงการทดลองแรกๆมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมเนื่องจากเชื้อราที่จะนำมาใช้ในการทำการทดลองต้องอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่เท่านั้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปเชื้อราที่จะเข้าสู่ช่วงที่มีการตาย ซึ่งเป็นปัญหาของการใช้เชื้อราในการบำบัดค่าความเข้มข้นสีต่อไปในการดำเนินระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการเลี้ยงเชื้อราโดยขยายเชื้อราที่สภาวะเจริญเติบโตเต็มที่ เพื่อทำการเปลี่ยนเชื้อราใหม่ใส่เข้าไปในถังปฏิกรณ์ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อม แต่การเลี้ยงเชื้อหรือการขยายเชื้อราจากอาหารแข็งมาอยู่ในอาหารเหลวจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่ต้องมีการระมัดระวังในการทำและยุ่งยากต่อการขยายเชื้อดังนั้นต้องมีการขยายเชื้อด้วยความระมัดระวังและต้องอยู่ในสภาวะที่ปลอดจากการปนเปื้อนของเชื้อตัวอื่นด้วย

4. การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียถึงปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนแบบจมตัว (Kubota, 2004)

จากภาพที่ 55 เป็นภาพแสดงระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวโรงงานสายวิวัฒน์ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ ขนาด Bench Scale ซึ่งเป็นโครงการของบริษัท WRPC และกรมโรงงานร่วมมือกันทำโครงการดังกล่าวขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีเมมเบรนมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่เข้าร่วมโครงการ มีเป้าหมายเพื่อนำน้ำเสียจากโรงงานมาผ่านระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับระบบ RO ซึ่งสามารถผลิตน้ำสะอาดเพื่อนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ (Reuse) ในกระบวนการผลิตอีกเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาน้ำใช้ในอนาคต



ภาพที่ 54 ระบบถังปฏิบัติการชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวโรงงานสายวิวัฒน์
ที่มา : Kubota, 2004

4.1 สภาวะที่ใช้ในการออกแบบ

แหล่งน้ำเสีย : จากกระบวนการขีอมสีย
 ปริมาณน้ำเสีย : 15 ลบ.ม.ต่อวัน (m^3 / d)
 เวลาในการเก็บกักน้ำ: 24 ชั่วโมง

คำอธิบาย		น้ำเข้า	น้ำออก	เปอร์เซ็นต์การบำบัด
	กก./วัน	มก./ล.	มก./ล.	(%)
บีโอดี (BOD)	4.50	300	10	96.7
ของแข็งแขวนลอย (SS)	1.50	100	5	95
pH		7-10	5-9	

4.2 ขนาดถัง

4.2.1 ถังรับน้ำเสีย

รับน้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดที่ค่าเฉลี่ยน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบ

$$0.63 \text{ ลบ.ม.ต่อชั่วโมง (m}^3/\text{hr)} \times 5 \text{ ชั่วโมง (hr)} = 3.15 \text{ ลบ.ม. (m}^3\text{)}$$

ดังนั้น ออกแบบถังที่ค่าเท่ากับ 4.00 ลบ.ม. (m³)

4.2.2 ถังปรับพีเอช

ขนาดถังต้องสามารถเก็บสารเคมีได้นานมากกว่า 15 นาที

$$0.02 \text{ ลบ.ม.ต่อนาที (m}^3/\text{min)} \times 15 \text{ นาที (min)} = 0.30 \text{ ลบ.ม. (m}^3\text{)} \text{ หรือขนาดใหญ่กว่า}$$

ดังนั้น ขนาดถังที่เลือกใช้ในการออกแบบถังปรับพีเอช

$$0.70\text{เมตร} \times 0.70\text{เมตร} \times 0.70\text{เมตร} = 0.340 \text{ ลบ.ม. (m}^3\text{)}$$

4.2.3 ถังปฏิกรณ์เมมเบรน

การบรรทุกสารอินทรีย์น้ำเสียเข้า (BOD Loading)

$$15.00 \text{ ลบ.ม.ต่อวัน (m}^3/\text{d)} \times 300 \text{ กรัม/ลบ.ม./1000} = 4.50 \text{ กก./วัน (kg/d)}$$

กำหนดให้

ความเข้มข้น MLSS (เชื้อรา) 6000 มก. ของแข็งแขวนลอย/ลิตร (mg-SS/ l)

BOD volumetric loading 1.5 กก.-บีโอดี /ลบ.ม./วัน (kg-BOD/ m³/d)

ขนาดถัง

$$4.50 \text{ กก./วัน} \div 1.5 \text{ กก.-บีโอดี /ลบ.ม./วัน} = 3.00 \text{ ลบ.ม.หรือมากกว่า}$$

ดังนั้นขนาดถังจริงที่ใช้

$$1.30\text{เมตร} \times 1.20\text{เมตร} \times 2.15\text{เมตร} = 3.354 \text{ ลบ.ม. (m}^3\text{)}$$

4.2.4 ปริมาณสลักจ์ส่วนเกิน

กำหนดให้ ปริมาณสลักจ์ต่อปีโอดีน้ำเข้า

0.4 กก.

$$15.0 \text{ ลบ.ม./วัน} \times 300 \text{ มก./ล.} \times 0.4 \text{ กก./กก.} = 1.80 \text{ กก./วัน}$$

$$1.8 \text{ กก./วัน} \div 6000 \text{ มก./ล.} \times 1,000 = 0.15 \text{ ลบ.ม./วัน}$$

4.3 ส่วนของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.3.1 ถังปรับเสถียร

4.3.1.1 ปุ่มสูบน้ำเสียเข้า

$$0.02 \text{ ลบ.ม./นาที่} \times 1.5 = 0.030 \text{ ลบ.ม./นาที่}$$

ดังนั้น ขนาดปุ่มเลือกที่ 0.030 ลบ.ม./นาที่หรือมากกว่า

50แอมป์ (A) $\times$ 0.05 ลบ.ม./นาที่ $\times$ 8เมตร $\times$ 0.4 กิโลวัตต์ (KW) $\times$ 380 โวลต์ $\times$ 50เฮิร์ต (Hz) ปุ่มชนิด CRS50T-F

4.3.1.2 ตะแกรงละเอียด

$$0.05 \text{ ลบ.ม./นาที่} \times 60 \text{ นาที่ (min)} = 3.00 \text{ ลบ.ม./ชั่วโมง} \geq 3.00$$

$$6 \text{ ลบ.ม./ชั่วโมง} \times 0.1 \text{ KW} \times 380\text{V} \times 50 \text{ Hz} \quad \text{เลือกชนิด ST-3}$$

4.3.2 ถังรับน้ำ (Receive Tank)

4.3.2.1 ป้อนน้ำ

$$0.02 \text{ ลบ.ม./นาที่} \times 1.2 = 0.024 \text{ ลบ.ม./นาที่} \geq 0.024$$

$$50A \times 0.05 \text{ m}^3/\text{min} \times 8m \times 0.4 \text{ KW} \times 380V \times 50Hz \quad \text{เลือกชนิด CRS50T-F}$$

4.3.3 ถังปรับพีเอช

4.3.3.1 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) เซ็นเซอร์และคอนเวอร์เตอร์

4.3.3.2 ใบกวนในถัง ขนาด $\varnothing 200 \times 300L \times 360 \text{ rpm} \times 0.1KW \times 380V \times 50Hz$
เลือกชนิด NKA4-001

4.3.3.3 ถังบรรจุกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เลือกใช้ถังขนาด 50 ลิตร (ถังโพลีเอทิลีน, PE)

4.4 ถังเมมเบรน (Membrane Tank)

4.4.1 หน่วยของเมมเบรน (Membrane Unit)

อัตราการกรอง (Flux rate)	$0.50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$	
พื้นที่ (Effective Area)	$0.8 \text{ m}^2/\text{cartridge}$	
เวลาในการใช้ปั๊มคูดน้ำออก (Operative time of permeate pump)	21.6 ชั่วโมง	
(หยุด : 1 นาที, เดินระบบ : 9 นาที ตลอดการดำเนินระบบ)		
จำนวนแผ่นเมมเบรน (Nos. of membrane cartridges required)	42	
$15.0 \text{ m}^3\text{-d} \times (10/9) \times 0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d} \times 0.8 \text{ m}^2/\text{cartridge} = 42$		
จำนวนแผ่นเมมเบรนที่ใช้จริง เท่ากับ 50 แผ่น		
ชนิดเมมเบรนที่ใช้ FS – 50		

4.4.2 เครื่องเป่าอากาศของเมมเบรน (Membrane Blower)

รักษาอัตราการเติมอากาศให้มีค่าสูง

$$50 \times 15\text{L/min} \times 1000 = 0.75 \text{ m}^3/\text{min} \text{ or more than}$$

$$40\text{A} \times 0.87 \text{ m}^3/\text{min} \times 30\text{kPa} \times 1.5\text{KW} \times 380\text{V} \times 50\text{Hz} \quad \text{Type ARH40F}$$

4.4.3 ออกซิเจนที่ต้องให้เมมเบรน (Oxygen Supplied by Membrane Unit)

O₂ dissolving efficiency 3.5 % (in clean water)

Alpha factor 0.6

Capacity of membrane blower 0.75 m³/min

O₂ in air 0.277 kg-O₂/m³

O₂ supplied by membrane unit 6.282 kg-O₂/d

$$= 0.75 \text{ m}^3/\text{min} \times 1440 \times 3.5\% \times 0.6 \times 0.277 \text{ kg-O}_2/\text{m}^3$$

4.4.4 ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ (Oxygen Demanded)

4.4.4.1 O₂ Demanded by BOD oxidation

กำหนดให้ออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (O₂ demanded by BOD oxidation) แทนค่าเป็น a เท่ากับ 0.5 kg-O₂/kg-BOD) ดังนั้น ค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์

$$\begin{aligned} & a \times (Q \times 300 \text{ mg/l}) / 1000 \\ &= 0.5 \text{ kg-O}_2/\text{kg-BOD} \times 15.0 \text{ m}^3/\text{d} \times 300 \text{ mg/L} \\ &= 2.250 \text{ kg-O}_2/\text{d} \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

4.4.4.2 กำหนดให้ค่าออกซิเจนที่ใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อ (O₂ demanded by endogeneous respiration)

กำหนดให้ค่าออกซิเจนที่ใช้ในการเจริญเติบโตของเชื้อแทนค่าเป็น c เท่ากับ 0.07 g-O₂/g-VSS และอัตราส่วนระหว่าง MLVSS และ MLSS เท่ากับ 0.9 ค่า V คือค่าปริมาตรถังเมมเบรน

$$\begin{aligned} & V \times 6,000 \text{ mg-SS(Fungi)/m}^3 \div 1,000 \times c \times 0.9 \\ & = 3.354 \text{ m}^3 \times 6,000 \text{ mg-SS(Fungi)/m}^3 \div 1,000 \times 0.07 \times 0.9 \\ & = 2.536 \text{ kg-O}_2\text{/d} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2)$$

4.4.4.3 ออกซิเจนทั้งหมดในถังปฏิกรณ์เมมเบรน(O₂ Demanded in Membrane Tank)

$$2.250 \text{ kg-O}_2\text{/d} + 2.536 \text{ kg-O}_2\text{/d} = 4.786 \text{ kg-O}_2\text{/d}$$

4.4.5 ปั๊มสูบน้ำออกจากถังเมมเบรน(Permeate Pump)

Capacity is as much as withdraw excess sludge in 15 min

$$0.15 \text{ m}^3\text{/d} \times 15/10 \div 1440 = 0.002 \text{ m}^3\text{/min or more than}$$

$$40\text{A} \times 0.05 \text{ m}^3\text{/min} \times 6\text{m} \times 0.25 \text{ KW} \times 380\text{V} \times 50\text{Hz} \quad \text{Type CRS40T-F}$$

4.4.6 แมกเนติกส์วาล์ว (Magnetic Valve)

$$\text{Ø 40A (Open during power supplied)} \quad \text{Type EA200-TE}$$

5. การออกแบบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองละเอียดจมน้ำ

โรงงานฟอกย้อมสายวิวัฒน์ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ จะทำการออกแบบโดยที่คิดค่าน้ำเสียจากกระบวนการย้อมและการล้างอุปกรณ์อื่นๆ ในโรงงานประมาณ 15 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งนำค่าบีโอดีของน้ำเสียนำมาเป็นตัวกำหนดค่าภาระอินทรีย์ในการออกแบบระบบถังปฏิกรณ์

ชีวภาพแบบมีเชื้อกรองละเอียดจุ่มตัวร่วมกับเชื้อราชนิดเบสิดิโอไมไซค์ ทั้งนี้ในการออกแบบระบบ
ต้องนำค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของเชื้อราเบสิดิโอไมไซค์ มาใช้ในการคำนวณการออกแบบ โดย
ทำการออกแบบเป็นระบบ กำหนดให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีเท่ากับ 10 มก.ต่อลิตร

จากการทดลองพบว่า เชื้อราเบสิดิโอไมไซค์ที่มีสารอาหารเป็นน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรี
แอกทีฟ บลู เอ 13 มีค่า k เท่ากับ 4.61 มิลลิกรัมชีโอดีต่อตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน, K_s เท่ากับ 40.49
มิลลิกรัมชีโอดีต่อลิตร, Y เท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมตะกอนจุลินทรีย์ต่อมิลลิกรัมชีโอดี, k_d เท่ากับ 1.08
ต่อวัน และ μ_m เท่ากับ 4.97 ต่อวัน และจากการศึกษาประสิทธิภาพการกรองของเชื้อกรองละเอียด
ขนาด 20 ไมครอน เลือกความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเท่ากับ 3000 มก.ต่อลิตร

Saiviwat Industries data (Bench Scale)

- $Q = 15 \text{ (m}^3/\text{d)}$
- BOD Influent = (300 mg/l)

Experimental data

- $k = 4.61 \text{ (mg-COD/mg-MLSS/d)}$
- $K_s = 40.49 \text{ (mg-COD/l)}$
- $Y = 1.08 \text{ (mg-MLSS/mg-COD)}$
- $k_d = 1.08 \text{ (day}^{-1}\text{)}$
- $\mu_m = 4.97 \text{ (day}^{-1}\text{)}$
- MLSS in reactor = 6000 (mg/l) (Stationary Phase)

5.1 ระยะเวลาที่เก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ

$$\text{จากสมการ} \quad 1/\theta_c = \mu - k_d$$

$$1/\theta_c = [\mu_m S/(K_s + S)] - k_d$$

$$1/\theta_c = \{[(4.97)(20)]/(40.49 + 20)\} - 1.08$$

$$1/\theta_c = 0.56$$

$$\theta_c = 1.78 \text{ (วัน) หรือ } 42.72 \text{ ชั่วโมง}$$

5.2 ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสีย

$$\text{จากสมการ} \quad \text{HRT} = (\theta_c/X)[Y(S_0 - S)/(1 + k_d \theta_c)]$$

ค่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเดินระบบ MLVSS : MLSS = 0.9

$$\text{MLVSS} = (0.9)(3000) = 2700 \text{ mg/l}$$

$$\text{HRT} = (1.78/2700)\{[1.08(300 - 20)]/[1 + 1.08(1.78)]\}$$

$$\text{HRT} = 0.068 \text{ (วัน)}$$

5.3 ปริมาตรถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

$$\text{จากสมการ} \quad V = (Q)(\text{HRT})$$

$$= (15 \text{ ลบ.ม./วัน})(0.068 \text{ วัน})$$

$$= 1.02 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$F/M = (Q \times S_0)/(V \times X \times \text{HRT})$$

$$= (15 \times 300)/(1.02 \times 3000 \times 0.068)$$

$$= 21.63 \text{ (kg-BOD/kg-MLVSS/d)}$$

กำหนดความลึกของถังปฏิกรณ์ชีวภาพเท่ากับ 1.0 เมตร

ความกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 0.5 เมตร x 1.0 เมตร x 2.0 เมตร

5.4 พื้นที่ผิวเมมเบรน

จากการทดลองค่าอัตราการกรองพบว่าอัตราการกรองของตะกอนเชื้อราจากการทดลองแบบที่มีการเติมน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง (CSTR) มีความเข้มข้นตะกอนของแข็งในน้ำตะกอนเท่ากับ 500 มก.ต่อลิตร เท่ากับ 1.20 ลบ.ม.ต่อวันต่อตร.เมตร ถ้ากำหนดให้ความเข้มข้นของตะกอนเชื้อเท่ากับ 3000 มก.ต่อลิตร ระบบมีอัตราการกรอง 1.02 ลูกบาศก์เมตรต่อ 0.068 วัน

$$\begin{aligned}\text{Microfilter Area} &= 1.02 / (0.068 \times 1.20) \\ &= 10.63\end{aligned}$$

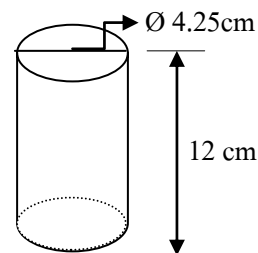
ดังนั้นพื้นที่ผิวเมมเบรนที่ต้องใช้เท่ากับ 10.63 ตารางเมตร

6. การดำเนินระบบส่วนเยื่อกรองละเอียดในถังปฏิกรณ์

6.1 ข้อมูลเยื่อกรองละเอียดที่ใช้ในการทดลอง

พื้นที่ผิวเยื่อกรอง

$$A = 0.02 \text{ ตร.ม (m}^2\text{)}$$

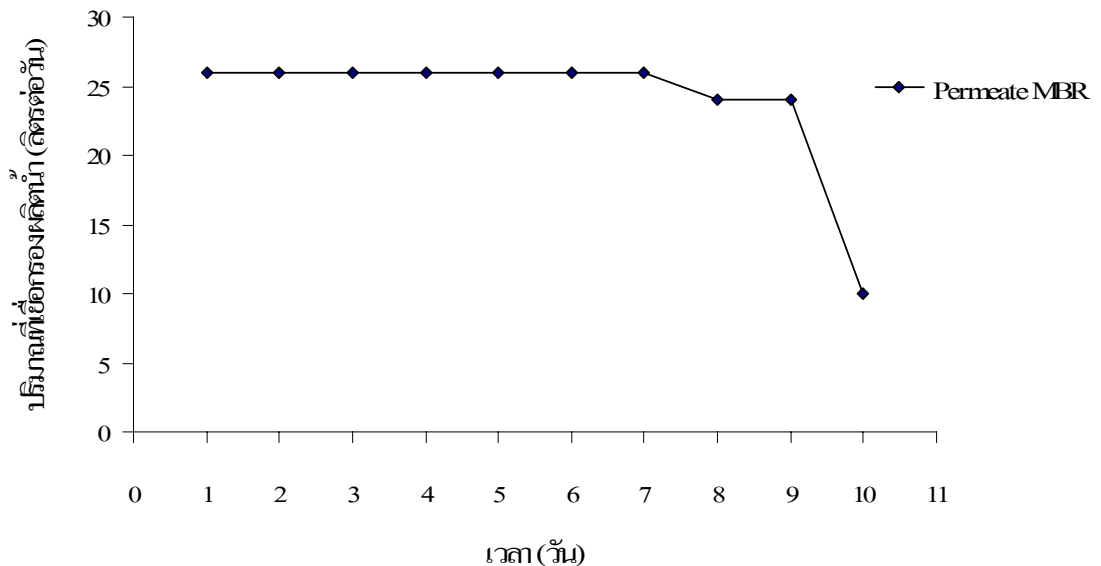


อัตราการกรองที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง (Flux Rate)

$$\begin{aligned}\text{Flux} &= Q/A \\ &= [24 \text{ L/d} \times (\text{m}^3/1000)] / (0.02 \text{ m}^2) \\ &= 1.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2\text{-d}\end{aligned}$$

เยื่อกรองละเอียดจมตัวที่ใช้ในการทดลองทำจากวัสดุในลอนผสมโพลีเอทิลีนมีขนาดรูพรุน 20 ไมครอน สามารถกรองเชื้อราเบสิดิโอะไมไซค์ภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีอัตราการผลิตน้ำได้ 26 ลิตรต่อวัน ดังในภาพที่ 55 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เยื่อกรองละเอียดผลิตได้ต่อเวลา พบว่าต้องทำการ

เปลี่ยนเยื่อกรองละเอียดขนาด 20 ไมครอนทุกๆ 10 วัน เนื่องจากที่ระยะเวลาดังกล่าวเยื่อกรองละเอียดในถังปฏิกรณ์เกิดการอุดตันโดยไม่สามารถได้แล้ว



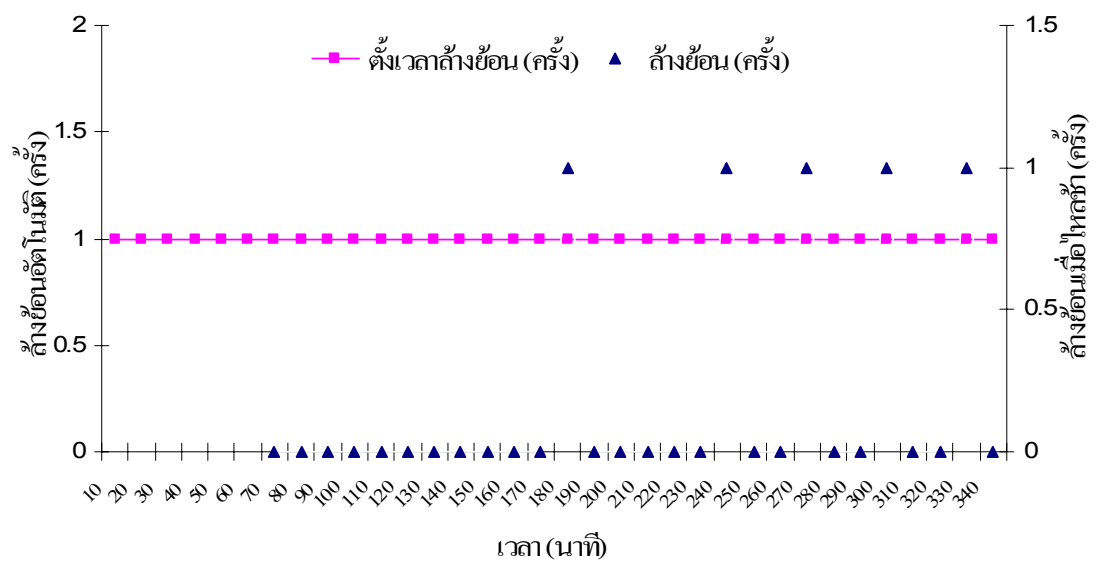
ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เยื่อกรองผลิตน้ำได้ต่อเวลา

พบว่าในการวิธีการดำเนินระบบถังปฏิกรณ์ที่มีเยื่อกรองจมตัวที่ระยะเวลาผ่านไป 7 วัน แบ่งการทำความสะอาดเยื่อกรองละเอียดได้ 2 ชนิด คือ 1. การทำความสะอาดเยื่อกรองภายในถังปฏิกรณ์ (In-Line Cleaning) ประกอบด้วย การล้างย้อน (Back Wash) อัตโนมัติโดยตั้งเวลาไว้ทุกๆ 10 นาทีและ ล้างย้อนเมื่อเยื่อกรองผลิตน้ำได้น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ 2. การทำความสะอาดเยื่อกรองโดยนำเยื่อกรองออกภายนอกถังปฏิกรณ์ (Off-Line Cleaning) ซึ่งการทำความสะอาดเยื่อกรองวิธีนี้จะทำในกรณีที่เยื่อกรองเกิดการอุดตันหรือในกรณีที่เยื่อกรองไม่สามารถทำความสะอาดได้โดยวิธีการล้างย้อนแล้วหรือการล้างย้อนไม่สามารถควบคุมอัตราการผลิตน้ำได้ตามที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำเยื่อกรองออกมาทำความสะอาดภายนอกถัง ประกอบด้วย นำเยื่อกรองมาแช่กรด ซักเยื่อกรอง เมื่อทำความสะอาดทั้ง 2 วิธีแล้วสามารถนำเยื่อกรองกลับมาใช้ใหม่ได้ภายในถังปฏิกรณ์ได้ ดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 56 เป็นภาพที่แสดงถึงจำนวนครั้งในการล้างย้อนถึงปฏิกรณ์ต่อเวลา

ล้างย้อนเมื่อน้ำออกไหลไม่ได้ตามค่าที่กำหนดไว้

ล้างย้อนโดยการกดโดยผู้ทำการทดลองเมื่อต้องการ (Manual)

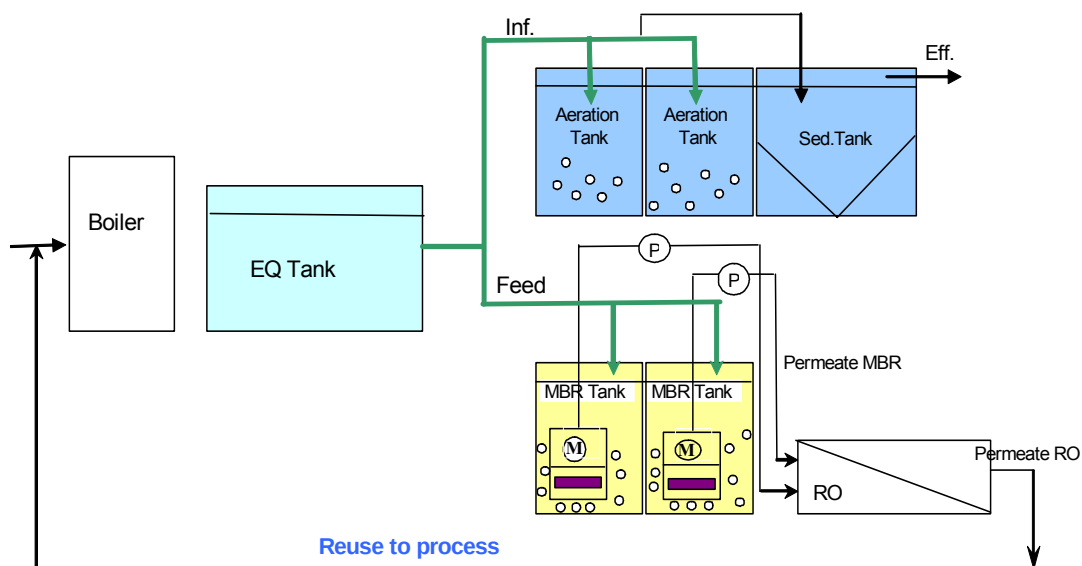
ล้างย้อนจากการตั้งเวลาจากเครื่องควบคุมไฟฟ้า โดยกำหนดเวลาว่าใน 1 ชั่วโมงจะให้ล้างย้อนทุกๆ 10 นาที ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการใช้งานเยื่อกรอง



ภาพที่ 56 ความสัมพันธ์จำนวนครั้งในการล้างย้อนต่อเวลา

สรุปการทดลองในส่วนของเยื่อกรองและการดำเนินระบบถึงปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเยื่อกรองละเอียดจมตัว พบว่า การทำความสะอาดเยื่อกรองละเอียดได้ 2 ชนิด คือ 1.การทำความสะอาดเยื่อกรองภายในถังปฏิกรณ์ (In-Line Cleaning) 2. การทำความสะอาดเยื่อกรองโดยนำเยื่อกรองออกไปภายนอกถังปฏิกรณ์ (Off-Line Cleaning) ซึ่งการทำความสะอาดเยื่อกรองทั้งวิธีนี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานเยื่อกรองได้เป็นอย่างดีอีกทั้งยังสามารถนำเยื่อกรองกลับมาใช้ในถังปฏิกรณ์ได้ใหม่อีกด้วย จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ

7. การเปรียบเทียบการทดลองแบบ Batch CSTR และ SBR



ภาพที่ 57 แผนภาพการเปรียบเทียบระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัว

จากภาพที่ 57 แสดงแผนภาพการเปรียบเทียบระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัว จากภาพพบว่า ระบบบำบัดแอคติเวตเต็ดสลัดจ์เป็นระบบที่ใช้ในโรงงาน เปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัว และยังพบว่าระบบแอคติเวตเต็ดสลัดจ์ใช้พื้นที่มากกว่าระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ เนื่องจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพมีเมมเบรนจมตัวภายในถังจะช่วยลดพื้นที่ส่วนของถังตกตะกอน เพราะเมมเบรนทำหน้าที่ในการกักตะกอนของแข็งแขวนลอยภายในถัง แทนถังตกตะกอน อีกทั้งยังช่วยให้ถังปฏิกรณ์สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้สูงและยังใช้เวลาในการบำบัดรวมของทั้งระบบน้อยกว่า ซึ่งการเปรียบเทียบระบบบำบัดแอคติเวตเต็ดสลัดจ์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัวได้แสดงไว้ดังตารางที่ 11 ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ ซึ่งตารางที่ 11 เป็นตารางที่แสดงการเปรียบเทียบระบบบำบัดแอคติเวตเต็ดสลัดจ์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัว

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบระบบบำบัดแอกติเวตเต็ดสลัดจ์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมน้ำ

รายการ	ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์	ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมน้ำ
1.ระยะเวลาในการบำบัด (ชม.)	12	5
2.ประสิทธิภาพของระบบบำบัดชีโอดี	ปานกลาง	ดีมาก
3.ประสิทธิภาพของระบบบำบัดสี	ไม่ดี	ปานกลาง
4.ประสิทธิภาพของระบบบำบัดของแข็งแขวนลอย	ไม่ดี	ดีมาก
5.ปริมาณของเสียในส่วนที่เป็นสลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัด	มาก	น้อย
7.ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	มาก	น้อย

ที่มา : เอกสารประกอบการสัมมนา WRPC (Water Reuse Promotion Center)

การเลือกระบบบำบัดมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อดีข้อเสียของระบบที่จะนำมาใช้เพื่อประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดของผู้ใช้งาน ตารางที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเชื้อกรองละเอียดจมน้ำร่วมกับเชื้อราเบสิดิโอมไฮค์และถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมน้ำร่วมกับแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมต่อไป

จากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่า ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเชื้อกรองละเอียดจมน้ำร่วมกับเชื้อราเบสิดิโอมไฮค์เหมาะสมที่จะนำไปบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น สี ย้อมจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมหรือน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เนื่องจากถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมน้ำร่วมกับแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปแต่อย่างไรก็ดีเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปไม่สามารถย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนได้และย่อยสลายได้ยากโดยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ การใช้เมมเบรน จะช่วยให้ตะกอนจุลินทรีย์ถูกกักอยู่ในถังส่งผลให้ระบบมีเสถียรภาพดีขึ้นและเกิดการอุดตันของเมมเบรนๆ ได้ยาก เนื่องจากมีความดันป้อนภายในถัง

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียระหว่างระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพ

ระบบ	ข้อดี	ข้อเสีย
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองจมตัวร่วมกับเชื้อราบนสลิโอไมโซล	- ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสั้นลงจากระบบเดิม (ไม่ต้องมีถังตกตะกอน) - กักตะกอนเชื้อไว้ในระบบได้ - ประสิทธิภาพในการกรองเชื้อราของเยื่อกรองละเอียดดี - ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น - ไม่เปลืองพลังงานในการใช้เครื่องสูบน้ำ เนื่องจากทางน้ำเข้าและออกไหลแบบGravity Flow - ลงทุนต่ำ - ควบคุมระบบง่าย - ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมสูง	- เกิดการอุดตันของเยื่อกรองได้ง่าย - การเลี้ยงตะกอนเชื้อรามีข้อจำกัดเรื่องการเจริญเติบโตเชื้อราต้องอยู่ในช่วง Log Phase - ต้องเลี้ยงเชื้อราไว้สำรองในอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ ขยายเชื้อราภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ - ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชปริมาณมาก
ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับแบคทีเรียใช้อากาศ	- ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียสั้นลงจากระบบเดิม - ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมาก - รับภาระสารอินทรีย์ได้มาก - ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างน้อย - ไม่มีกลิ่น - กักตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ - ประสิทธิภาพในการกรองตะกอนจุลินทรีย์ได้ดีมาก (ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน) - เมมเบรนอุดตันยาก - ประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูง เช่น บีโอดี ซีโอดี	- เกิดการอุดตันของเมมเบรนได้ง่าย - ระยะเวลาการเก็บกักน้ำเสียยาวนานกว่าระบบแบบใช้อากาศ - ค่าลงทุนสูง - ประสิทธิภาพในการบำบัดสีต่ำ - เปลืองพลังงานในการเติมอากาศ - ย่อยสลายสารที่ย่อยสลายยากไม่ได้ เช่น สีย้อม โลหะหนัก

ปฏิกรณ์มาก(อากาศส่วนที่ให้เชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์และส่วนให้เมมเบรนเพื่อป้องกันการอุดตันของเมมเบรน) ยังเหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายได้ง่ายและโรงงานที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียต่อวันมาก อีกทั้งการควบคุมระบบก็ไม่ยุ่งยาก แต่ข้อจำกัดของถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเชื้อแบคทีเรียใช้อากาศคือ ไม่สามารถบำบัดสีย้อมได้ซึ่งปัญหาสีย้อมเป็นปัญหาที่มีความสำคัญในโรงงานฟอกย้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีในการนำเทคโนโลยีอื่นมาใช้ในการเพิ่มความสามารถของถังปฏิกรณ์ดังกล่าว ส่วนระบบที่ทำการศึกษาคทดลองในครั้งนี้คือระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเยื่อกรองละเอียดจมตัว ร่วมกับเชื้อราเบสิดิโอมไฮไซด์จากการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียเปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปข้างต้นพบว่าระบบนี้มีจุดเด่นคือ เกิดการอุดตันของเยื่อกรองได้ง่ายไม่เปลืองพลังงานในการใช้เครื่องสูบน้ำ เนื่องจากทางน้ำเข้าและออกไหลแบบGravity Flow, ลงทุนต่ำ เนื่องจาก เยื่อกรองละเอียดหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าเมมเบรน, ควบคุมระบบง่าย, ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมและชีโอดีสูงเนื่องจากเชื้อราขาวในถังปฏิกรณ์มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนยากต่อการย่อยสลายโดยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ทั่วไป ดังนั้นจึงมีการนำเชื้อราขาว ซึ่งเป็นเชื้อราในสกุลเบสิดิโอมไฮไซด์ แต่ระบบนี้มีข้อจำกัดคือ เกิดการอุดตันของเยื่อกรองได้ง่าย ขึ้นอยู่กับขนาดเชื้อราในเวลานั้นๆและเกิด Biofouling บนผิวเยื่อกรองได้ง่าย, การเลี้ยงตะกอนเชื้อรามีข้อจำกัดคือ เชื้อราต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่จะเกิดกิจกรรมในการย่อยสลายสีย้อม ต้องทำการเลี้ยงเชื้อราไว้สำรองในอาหารเลี้ยงเชื้อเฉพาะ ขยายเชื้อรารายได้สภาวะปลอดเชื้อ จำเป็นต้องระมัดระวังในการขยายเชื้อราเพื่อให้ได้เชื้อราชนิดที่ต้องการและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมได้, ใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้ำเสียที่เข้าระบบปริมาณมาก เนื่องจาก น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมมีพีเอชสูง 8.0-12.0 แต่น้ำเสียที่จะเข้าถังปฏิกรณ์เชื้อราต้องมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-5.0 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้กรดในการปรับพีเอชก่อนเข้าระบบปริมาณมาก

สรุปการเปรียบเทียบระบบทั้ง 2 ระบบข้างต้น พบว่า หากต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีเมมเบรนจมตัวร่วมกับแบคทีเรียใช้อากาศทั่วไปซึ่งทำการวิจัยในโรงงานฟอกย้อมจริงมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อม จำเป็นต้องนำทางเลือกในการเชื้อราขาวมาใช้ในการเพิ่มความสามารถของระบบ หรือไม่ต้องมีการเพิ่มถังปฏิกรณ์ที่มีเชื้อราขาวที่มีการทำให้เอนไซม์ปริมาณมากเพื่อให้มีความสามารถในการย่อยสลายสีย้อมอย่างเดียว โดยควบคุมสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อรา เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบทางชีวภาพที่มีอยู่ให้มีความสามารถมากขึ้น

จากตารางที่ 13 เป็นตารางที่ทำการเปรียบเทียบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพโดยใช้เชื้อราเบสิดิ โอไมไซค์จากการทดลองซึ่งมีการเติมน้ำเข้าถังปฏิกรณ์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเมมเบรนจมตัวและถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีเชือกกรองละเอียดจมตัว

รายการ	ถังปฏิกรณ์มีเมมเบรนจมตัว (MBR)	ถังปฏิกรณ์มีเชือกกรอง จมตัว (FMBR) ^A
1.ระยะเวลาในการบำบัด (ชม.)	5	8
2.ประสิทธิภาพระบบบำบัดชีโอดี	ดีมาก	ดีมาก
3.ประสิทธิภาพระบบบำบัดสี	ปานกลาง	ดี
4.ประสิทธิภาพของระบบบำบัด ของแข็งแขวนลอย	ดีมาก	ดี
4.ปริมาณของเสียในส่วนที่เป็น สลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัด	น้อย	น้อย
5.การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	ต้องต่อด้วยระบบ RO	ต้องต่อด้วยระบบ RO
6.ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	มีปัญหาสีขุ่นปนเปื้อน	น้อย

หมายเหตุ A คือ Fungi Microfilter Bioreactor (FMBR)

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพโดยใช้เชื้อราเบสิดิโอะไมไซด์จากการทดลอง

รายการ	Batch	MBR	SBR
1.พื้นที่	น้อย	มาก (ส่วนถังน้ำ เข้า-ออกและตัว ควบคุมไฟฟ้า)	(ส่วนถังน้ำเข้า- ออกและตัว ควบคุมไฟฟ้า)
2.ราคถังปฏิกรณ์	น้อย	มาก	มาก
3.ปริมาณน้ำเข้า	น้อย	มาก	มาก
4.การดำเนินระบบ	ง่ายมาก	ง่าย	ง่าย
5.รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์	มาก	มาก	มาก
6.ประสิทธิภาพบำบัดชีโอดี	มาก	มาก	มาก
7.ประสิทธิภาพบำบัดสี	มาก	มาก	มาก
8.ความเหมาะสมในการนำไปใช้ ในโรงงานจริง	น้อย	มาก	ปานกลาง
9.ระยะเวลาในการบำบัด	มาก	ปานกลาง	น้อย
10.พลังงานไฟฟ้า	น้อย	มาก	ปานกลาง

สรุปการเปรียบเทียบระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพโดยใช้เชื้อราเบสิดิโอะไมไซด์จากการทดลอง คือ Batch CSTR และ SBR พบว่า ระบบแบบ CSTR มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในโรงงาน มากกว่าระบบอื่น ทั้งนี้เนื่องจาก โรงงานฟอกย้อมมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียมาก ดังนั้นระบบแบบที่มีการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องจึงเป็นระบบที่เหมาะสม ในการใช้งานจริงเนื่องจากสามารถรับภาระสารอินทรีย์อีกทั้งในการป้อนน้ำเสียเข้าไปได้ปริมาณ มากและต่อเนื่องไม่มีหยุดระบบ หากเลือกใช้แบบ SBR เหมาะที่จะใช้ในโรงงานที่มีปริมาณน้ำไม่ มากนัก ไม่เช่นนั้นจะต้องมีการสร้างถัง SBR หลายถังก็จะส่งผลให้ใช้พื้นที่มาก