

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

5.1 การศึกษาสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียปราศจากตะกั่ว

เริ่มเดินระบบและเลี้ยงเชื้อ เมื่อวันที่ 1 เมษายน 2545 เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้ได้ นำตะกอนภายในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ของโรงบำบัดน้ำเสียที่ตั้งอยู่ในบริษัทบุญรอด บริวเวอรี่ จำกัด จังหวัดปทุมธานี โดยผลการทดลองต่อไปนี้จะอธิบายรายละเอียดเรียงไปตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

5.1.1 การทดลองป้อนน้ำเสียความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มก/ล

เริ่มเดินระบบโดยป้อนสารอาหารให้แก่ระบบด้วยสารละลายที่เตรียมจากน้ำตาลทรายเริ่มต้นที่ซีไอดี 500 มก/ล ด้วยอัตราการไหล 8.64 ลิตร/วัน ปรับความเข้มข้นซีไอดีสูงขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 2,000 มก/ล สำหรับในช่วงแรกนี้จะป้อนธาตุอาหารเสริม (Nutrient) ไปในน้ำเสียเข้า แต่ยังไม่เติมซัลเฟตให้กับระบบเนื่องจากต้องการให้ระบบปรับตัวที่ละชั้น หลังจากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำย่อยปราศจากตะกั่วที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตั้งแต่วันที่ 11 นับจากเริ่มเดินระบบโดยเจือจางให้ได้ความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มก/ล และพร้อมกันนั้นก็เริ่มป้อนซัลเฟตให้กับระบบในวันเดียวกันนี้ เนื่องจากเห็นว่าระบบได้ผ่านการปรับตัวให้เข้ากับความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มก/ล ตามแผนการทดลองแล้ว โดยสังเกตจากซีไอดีของน้ำออกที่ต่ำและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูง โดยเติมซัลเฟตในรูปของโซเดียมซัลเฟต 200 มก/ล ซึ่งเมื่อแปลงเป็นมวลซัลเฟตจะมีความเข้มข้น 135.2 มก/ล คิดเป็นอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 15:1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ยแต่ละพารามิเตอร์ของการทดลอง โดยเป็นค่าเฉลี่ยผลการทดลองที่ภาวะสมดุลภายหลังป้อนน้ำย่อยและเติมซัลเฟตให้กับระบบแล้ว โดยที่พารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบโดยรวมอยู่ในภาวะสมดุลตั้งแต่วันที่ 40 ถึง 89 ของการทดลอง ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่วินาทีที่ป้อนด้วยน้ำย่อยปราศจากตะกั่วแทนน้ำตาลทราย รวมเวลาเดินระบบทั้งสิ้น 79 วัน

ตารางที่ 5.1 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำออก	ร้อยละการกำจัด
พีเอช (pH)	-	7.61	-
อุณหภูมิ (Temp) (องศาเซลเซียส)	27.8	29.2	-
ซีไอดีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	2,043	26.14*	98.72**
ซัลเฟต (sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	135.2	31.8	76.48
ซัลไฟด์ละลาย (Diss.Sulfide) (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	34.33	-
ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	-	5.35	-
ก๊าซมีเทน*** (เปอร์เซ็นต์)	-	77.68	-
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์*** (เปอร์เซ็นต์)	-	20.37	-
สภาพด่างทั้งหมด (Alk) (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	-	1,034	-
ของแข็งแขวนลอย (SS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	18.73	-

*กำจัดซัลไฟด์ก่อนการวิเคราะห์ซีไอดี

**ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีไม่รวมซัลไฟด์

***สัดส่วนโดยพื้นที่ของกราฟการวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography

(ดูภาคผนวก ข.ประกอบ)

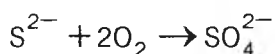
ผลการทดลองบ่อน้ำอ้อยปราศจากตะกั่วซัลไฟด์ 2,000 มก/ล จำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

1) อุณหภูมิ

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียเข้ามีค่า 27.8 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำออกมีค่า 29.2 องศาเซลเซียส โดยเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลอง

2) ซัลไฟด์และประสิทธิภาพการกำจัดซัลไฟด์

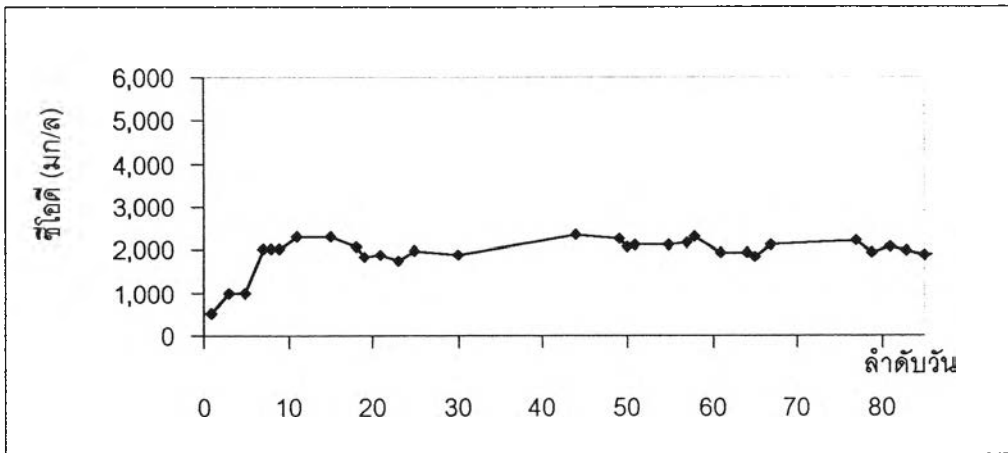
เนื่องจากงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายสร้างซัลไฟด์เพื่อใช้ในการตกผลึกสารตะกั่ว จึงเติมซัลเฟตลงในน้ำเสียเพื่อเป็นตัวรับอิเล็คตรอนให้กับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทำให้ค่าซัลไฟด์ในน้ำออกประกอบด้วยซัลไฟด์ในรูปสารอินทรีย์ละลายที่แบคทีเรียใช้ไม่หมด ซัลไฟด์ในรูปซัลไฟด์ที่รีดิวซ์มาจากซัลเฟตโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และซัลไฟด์ในรูปของแข็งแขวนลอย หากพิจารณาสมการเคมีต่อไปนี้



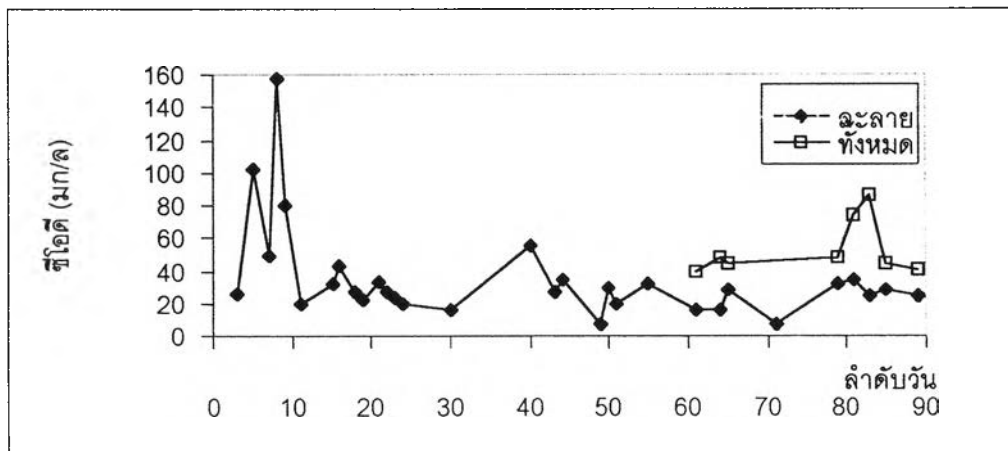
32มก 64มก 96มก

พบว่าเมื่อวิเคราะห์ค่าซัลไฟด์ในน้ำออก ซัลไฟด์ในน้ำออกจะก่อให้เกิดค่าซัลไฟด์ โดยที่ซัลไฟด์ 1 มก. ต้องการออกซิเจน 2 มก. จะเห็นได้ว่าปริมาณซัลเฟตที่เติมไม่ส่งผลต่อค่าซัลไฟด์ของน้ำเสียแต่กลับมีผลให้ค่าซัลไฟด์ของน้ำออกเพิ่มขึ้นหลังจากที่ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ในภายหลัง ดังนั้นเพื่อทำการทำสมดุลมวลซัลไฟด์ถูกต้อง จึงต้องใส่ซัลไฟด์ในน้ำออกให้หมดก่อนที่จะวิเคราะห์ค่าซัลไฟด์ละลายหรือซัลไฟด์ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าซัลไฟด์ที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายและจากของแข็งแขวนลอยเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าซัลไฟด์ทั้งหมดหมายถึงค่าซัลไฟด์ที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายรวมกับค่าซัลไฟด์ที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยเท่านั้น

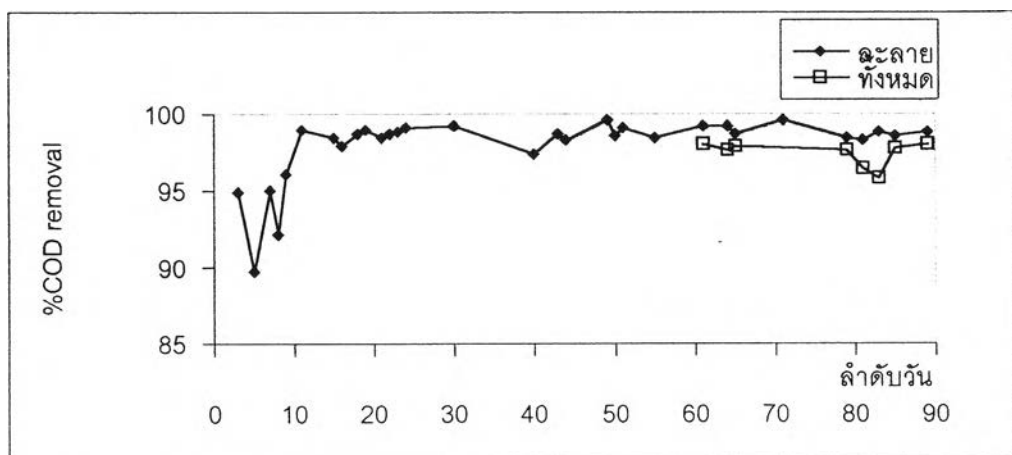
ภายหลังจากบ่อน้ำอ้อยและซัลเฟตให้กับระบบแล้ว ระบบมีค่าซัลไฟด์เริ่มคงที่ตั้งแต่วันที่ 11 ของการทดลองเป็นต้นไปซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดซัลไฟด์มีค่าระหว่างร้อยละ 97 ถึง 99 โดยค่าเฉลี่ยซัลไฟด์น้ำเสียเท่ากับ 2,043 มก/ล คิดเป็นภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 1.87 กก.ซัลไฟด์/ลบ.ม./วัน ส่วนค่าเฉลี่ยซัลไฟด์ในน้ำออกมีค่าระหว่าง 7.62 ถึง 55 มก/ล ในรูปซัลไฟด์ละลาย คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.14 มก/ล และมีค่าระหว่าง 40 ถึง 86.2 มก/ล ในรูปซัลไฟด์ทั้งหมด คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.06 มก/ล ประสิทธิภาพการกำจัดซัลไฟด์ เฉลี่ยร้อยละ 98.72 สำหรับค่าซัลไฟด์น้ำเสียและน้ำออกตลอดการทดลองแสดงรูปที่ 5.1



(ก) ซีไอดีน้ำเสีย



(ข) ซีไอดีน้ำออก



(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

รูปที่ 5.1 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในการทดลองบ่อบำบัดน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล

3) พีเอชและสภาพต่าง

พีเอชของน้ำออกตลอดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 7.31 ถึง 8.1 เฉลี่ย 7.61 สภาพต่างมีค่าระหว่าง 986 ถึง 1,200 มก/ล แคลเซียมคาร์บอเนต เฉลี่ย 1,035 มก/ล แคลเซียมคาร์บอเนต โดยพีเอชและสภาพต่างตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.2 (ค) และ 5.2 (ง)

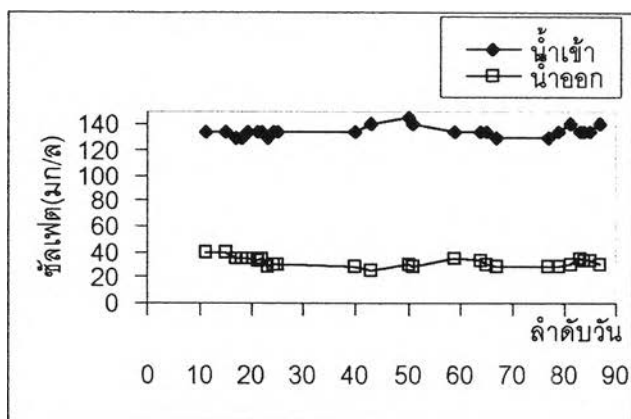
4) ซัลเฟตและประสิทธิภาพการใช้ซัลเฟต

เริ่มเติมซัลเฟตให้กับระบบในวันที่ 11 ของการทดลองพร้อมกับที่เปลี่ยนน้ำเสียเข้าจากน้ำตาลทรายเป็นน้ำอ้อย ซัลเฟตในน้ำเสียนับตั้งแต่วันที่ 11 จนถึงสิ้นสุดการทดลองเป็นเวลา 79 วัน มีค่าระหว่าง 130 ถึง 145 มก/ล เฉลี่ย 135.2 มก/ล และซัลเฟตในน้ำออกในช่วงเดียวกันมีค่าระหว่าง 28 ถึง 40 เฉลี่ย 31.8 มก/ล คิดเป็นประสิทธิภาพการใช้ซัลเฟตเฉลี่ยร้อยละ 76.48 ค่าความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเสียและน้ำออกตลอดการทดลองนี้แสดงดังรูปที่ 5.2 (ก)

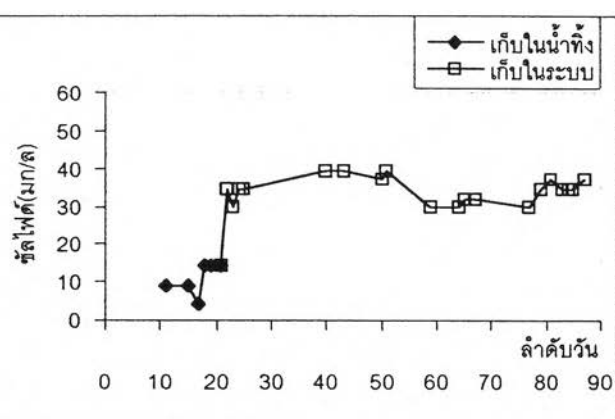
5) ซัลไฟด์

ช่วงวันที่ 3 ถึง 13 ของการทดลอง ความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4.3 ถึง 14.27 มก/ล มีค่าเฉลี่ย 10.83 มก/ล และไม่สอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์ในช่วงเวลาเดียวกัน (จากผลต่างของซัลเฟตเข้าและออกในรูปที่ 5.2 (ก)) ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างน้ำออกที่นำมาวิเคราะห์ซัลไฟด์ถูกเก็บจากปลายสายยางที่นำน้ำซึ่งผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบลงสู่ถังรวบรวมน้ำออกด้านล่าง คาดว่าเกิดการสูญหายของซัลไฟด์ในระหว่างที่น้ำออกไหลผ่านสายยางดังกล่าว ทำให้มีความเข้มข้นซัลไฟด์ต่ำ

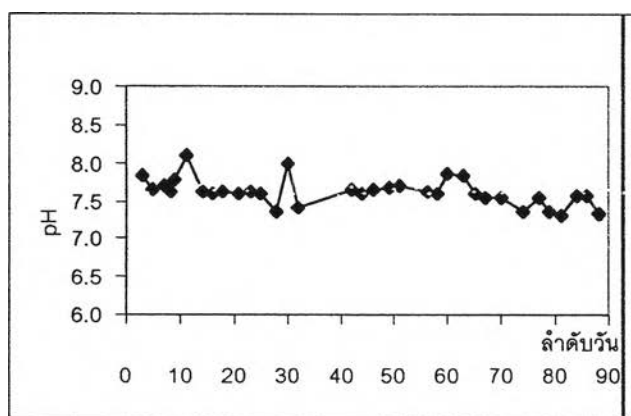
ดังกล่าวในตอนต้นว่ายังมีการทดลองที่ 2 ที่ระบบจะต้องรับภาระตะกั่วต่อไป และเพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของซัลไฟด์ในน้ำออกได้อย่างแท้จริง จึงต้องวิเคราะห์ซัลไฟด์ในน้ำออกโดยเก็บบริเวณผิวหน้าน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะออกมาแล้วแต่ยังไม่ไหลลงไปยังถังรวบรวมน้ำออกด้านล่าง โดยนับตั้งแต่วันที่ 14 ของการทดลองเป็นเวลา 66 วัน น้ำออกในส่วนนี้มีความเข้มข้นซัลไฟด์อยู่ระหว่าง 29.52 ถึง 39.41 มก/ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.33 มก/ล ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์ในช่วงเวลาเดียวกันและซัลไฟด์ตลอดการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.2 (ข)



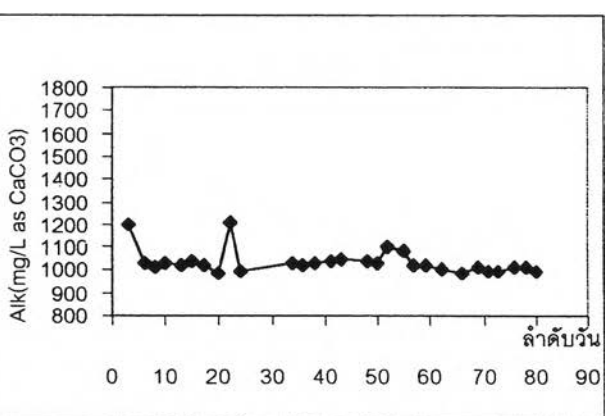
(ก) ซัลเฟต



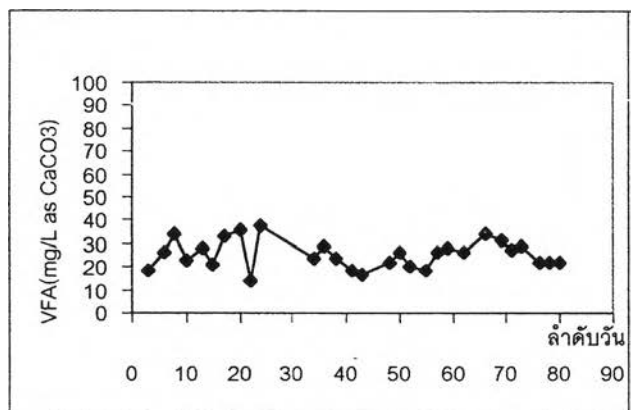
(ข) ซัลไฟด์น้ำออก



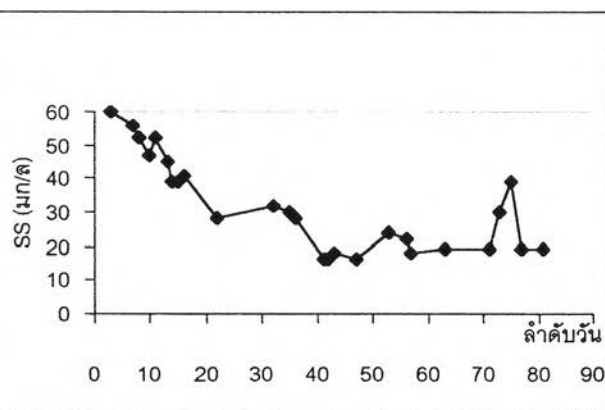
(ค) พีเอช



(ง) สภาพต่าง



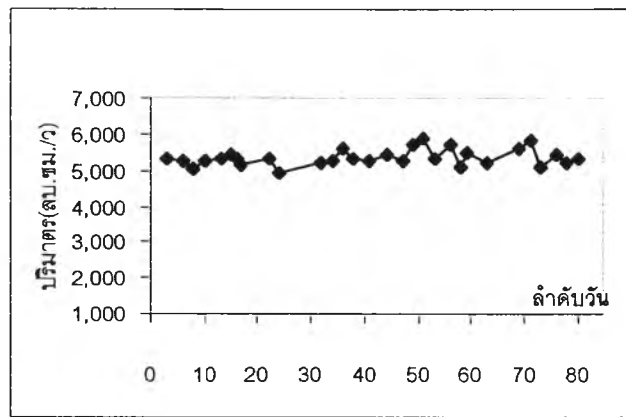
(จ) กรดไขมันระเหย



(ฉ) ของแข็งแขวนลอย

รูปที่ 5.2 ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ พีเอช สภาพต่าง กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอย

การทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล



(ข) ปริมาณก๊าซ

รูปที่ 5.2 ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ พีเอช สภาพต่าง กรดไขมันระเหย ของแข็งแขวนลอย การทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล (ต่อ)

6) ของแข็งแขวนลอย

พิจารณารูปที่ 5.2 (ฉ) พบว่าในช่วงแรกของการเริ่มเดินระบบ มีของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมากทั้งนี้เพราะเชื้อแบคทีเรียที่เติมลงในถังปฏิกรณ์บางส่วนหลุดออกไปกับน้ำออกซึ่งเป็นปกติในการปรับตัวในช่วงเริ่มเดินระบบ ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกเริ่มคงที่ในวันที่ 40 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลโดยของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าระหว่าง 16 ถึง 39 มก/ล เฉลี่ย 18.73 มก/ล

7) ปริมาณก๊าซทั้งหมดและสัดส่วนก๊าซ

พิจารณารูปที่ 5.2 (ช) ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันตั้งแต่วันที่ 3 ของการทดลอง เป็นต้นไปมีค่าระหว่าง 4.9 ถึง 5.89 ลิตร/วัน เฉลี่ย 5.35 ลิตร/วัน สัดส่วนก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 77.68:20.37 มีอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมด 0.31 ลบ.ชม./มก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด และเนื่องจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซตัวอย่างด้วยวิธี Gas chromatography จะได้สัดส่วนก๊าซเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ (พิจารณาภาคผนวก ข ประกอบ) ดังนั้นเพื่อให้ได้สัดส่วนก๊าซเป็นร้อยละโดยโมล หรือโดยปริมาตร จะต้องนำก๊าซมีเทนมาตรฐานที่ทราบร้อยละของก๊าซมีเทนที่แน่นอนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เดียวกันแล้วนำผลที่ได้ไปจัดเตรียมเป็นกราฟเทียบ (Calibration curve) แต่ด้วยข้อจำกัดต่างๆ ผู้วิจัยจึงไม่ได้เตรียมกราฟดังกล่าวไว้ สัดส่วนก๊าซที่ปรากฏในงานวิจัยนี้จึงเป็นสัดส่วนโดยพื้นที่ใต้กราฟ โดยใช้พื้นที่รวมซึ่งต้องหักพื้นที่ของอากาศที่ปรากฏในผลวิเคราะห์ซึ่งแท้จริงแล้วเป็นก๊าซพาหะที่นำก๊าซตัวอย่างเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ออกก่อน ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการคำนวณในการนำค่าสัดส่วนก๊าซนี้ไปใช้ในการอ้างอิงสำหรับงานวิจัยอื่นๆ

5.1.2 การทดลองป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่วซีไอดี 4,000 มก/ล

เริ่มเดินระบบโดยใช้เชื้อแบคทีเรียจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ป้อนสารอาหารให้แก่ระบบด้วยสารละลายที่เตรียมจากน้ำตาลทรายโดยเริ่มต้นที่ซีไอดี 500 มก/ล ด้วยอัตราการไหล 8.64 ลิตร/วัน ปรับความเข้มข้นซีไอดีสูงขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 2,000 มก/ล สำหรับในช่วงแรกนี้จะป้อนสารอาหารเสริม (Nutrient) ไปในน้ำเสียเข้า แต่ยังไม่เติมซัลเฟตให้กับระบบเนื่องจากต้องการให้ระบบปรับตัวที่ละชั้น หลังจากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำอ้อยปราศจากตะกั่วที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปแทนน้ำตาลทราย โดยเริ่มที่ความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มก/ล ตั้งแต่วันที่ 8 นับจากเริ่มเดินระบบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 วันที่ 1 ถึง 125 ของการทดลอง ป้อนน้ำอ้อยซีไอดี 2,000 มก/ล นานถึง 125 วัน เนื่องจากการทดลองนี้เริ่มเดินระบบในช่วงใกล้เคียงกับการทดลองป้อนน้ำอ้อยซีไอดี 5,000 มก/ล (ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป) จึงรอให้ถังกรองไร้อากาศจากทั้งสองการทดลองเข้าสู่ภาวะสมดุลจนครบ แล้วจึงจะป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วภายหลัง โดยเริ่มป้อนซัลเฟตให้กับระบบในวันที่ 112 ของการทดลอง

ช่วงที่ 2 วันที่ 126 ถึง 162 ของการทดลอง (รวม 37 วัน) เนื่องจากพิจารณาแล้วว่าถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่วซีไอดี 5,000 มก/ล มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีต่ำไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วในการทดลองถัดไป (รายละเอียดจะได้กล่าวในลำดับถัดไป) จึงพิจารณาใช้ภาชนะสารอินทรีย์ต่ำกว่า 4.67 กก./ลบ.ม./วัน ด้วยการป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่วซีไอดี 4,000 มก/ล โดยก่อนหน้านี้ได้ป้อนซัลเฟตให้กับระบบในวันที่ 112 ของการทดลอง ดังกล่าวไปแล้วข้างต้น

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ยแต่ละพารามิเตอร์ในช่วงที่ 2 ของการทดลองซึ่งระบบถูกปรับแผนให้รับน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล โดยเป็นค่าเฉลี่ยผลการทดลองที่ภาวะสมดุลตั้งแต่วันที่ 146 ถึง 162 ของการทดลองรวม 17 วัน

ตารางที่ 5.2 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองบ่อน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้า	น้ำออก	ร้อยละการกำจัด
พีเอช (pH)	-	7.52	-
อุณหภูมิ (Temp) (องศาเซลเซียส)	27.8	29.1	-
ซีไอดีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	3,814	611.71*	83.96**
ซัลเฟต (sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	134.2	7.15	94.67
ซัลไฟด์ละลาย (Diss.Sulfide) (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	42.37	-
ปริมาตรก๊าซทั้งหมดต่อวัน (ลิตร)	-	8.83	
ก๊าซมีเทน*** (เปอร์เซ็นต์)	-	77.86	-
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์*** (เปอร์เซ็นต์)	-	20.20	-
สภาพด่างทั้งหมด (Alk) (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	-	1,417	-
ของแข็งแขวนลอย(SS) (มิลลิกรัม/ลิตร)	-	46.5	-

*กำจัดซัลไฟด์ก่อนการวิเคราะห์ซีไอดี

**ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีไม่รวมซัลไฟด์

***สัดส่วนโดยพื้นที่ของกราฟการวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography

(ดูภาคผนวก ข.ประกอบ)

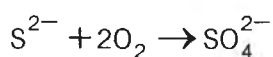
ในที่นี้จะนำเสนอผลการทดลองเฉพาะช่วงที่ 2 ของการทดลองนี้ซึ่งระบบถูกป้อนน้ำเสีย ซีไอดี 4,000 มก/ล จำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1) อุณหภูมิ

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียเข้ามีค่า 27.8 องศาเซลเซียส และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำออกมีค่า 29.1 องศาเซลเซียส

2) ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

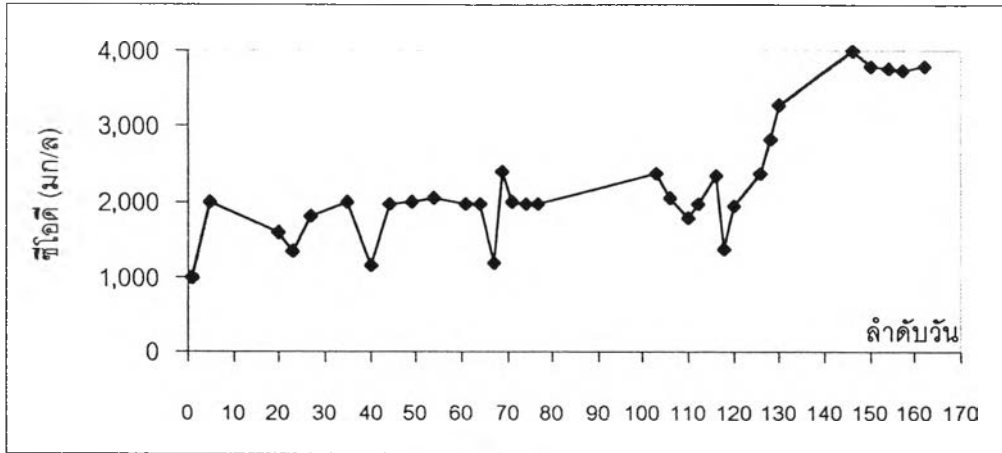
เนื่องจากการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายสร้างซัลไฟด์เพื่อใช้ในการตกผลึกสารตะกั่ว จึงเติมซัลเฟตลงในน้ำเสียเพื่อเป็นตัวรับอิเล็กทรอนิกส์ให้กับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ทำให้ค่าซีไอดีในน้ำออกประกอบด้วยซีไอดีในรูปสารอินทรีย์ละลายที่แบคทีเรียใช้ไม่หมด ซีไอดีในรูปซัลไฟด์ที่รีดิวซ์มาจากซัลเฟตโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และซีไอดีในรูปของแข็งแขวนลอย หากพิจารณาสมการเคมีต่อไปนี้



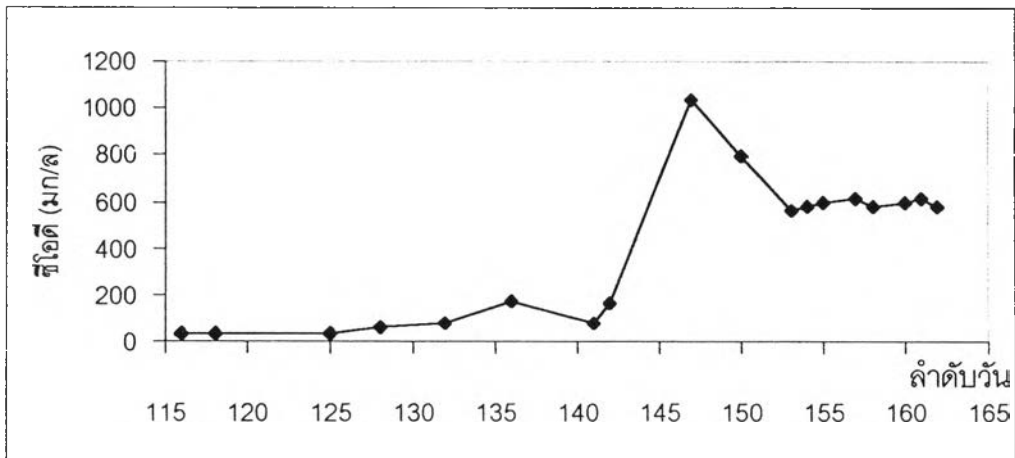
32มก 64มก 96มก

พบว่าเมื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดีในน้ำออก ซัลไฟด์ในน้ำออกจะก่อให้เกิดค่าซีไอดี โดยที่ซัลไฟด์ 1 มก. ต้องการออกซิเจน 2 มก. จะเห็นได้ว่าปริมาณซัลเฟตที่เติมไม่ส่งผลต่อค่าซีไอดีของน้ำเสียแต่กลับมีผลให้ค่าซีไอดีของน้ำออกเพิ่มขึ้นหลังจากที่ซัลเฟตถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์ในภายหลัง ดังนั้นเพื่อให้การทำสมดุลมวลซีไอดีถูกต้อง จึงต้องใส่ซัลไฟด์ในน้ำออกให้หมดก่อนที่จะวิเคราะห์ค่าซีไอดีละลายหรือซีไอดีทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าซีไอดีที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายและจากของแข็งแขวนลอยเท่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่าซีไอดีทั้งหมดหมายถึงค่าซีไอดีที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายรวมกับค่าซีไอดีที่เกิดจากของแข็งแขวนลอยเท่านั้น

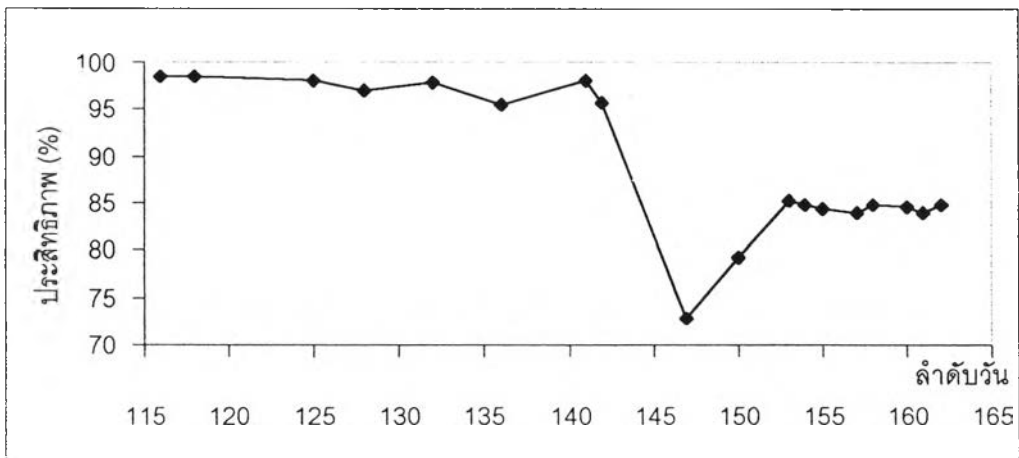
ในช่วงที่ 2 ของการทดลองระบบเริ่มเข้าสู่สมดุลในวันที่ 146 ของการทดลองจากการที่ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีคงที่ดังรูปที่ 5.3 โดยมีค่าซีไอดีเฉลี่ยในน้ำเข้าเท่ากับ 3,814 มก/ล คิดเป็นภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.50 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ส่วนค่าเฉลี่ยซีไอดีละลายในน้ำออกมีค่าระหว่าง 578 ถึง 793 มก/ล เฉลี่ย 611.71 มก/ล คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยร้อยละ 83.96



(ก) ซีไอดีน้ำเสีย



(ข) ซีไอดีน้ำออก



(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

รูปที่ 5.3 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของการทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล

3) พีเอชและสภาพต่าง

พีเอชของน้ำออกมีค่าอยู่ระหว่าง 7.02 ถึง 7.76 เฉลี่ย 7.53 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองแม้ว่าทำการทดลองระบบจะถูกปรับแผนให้รับน้ำเสียเข้าซีไอดี 4,000 มก/ล แต่พีเอชมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจากการที่มีสภาพต่างอย่างเพียงพอ ส่วนสภาพต่างมีค่าระหว่าง 1,108 ถึง 1,673 มก/ล ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต เฉลี่ย 1,418 มก/ล ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต โดยเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ 2 ของการทดลองที่ระบบถูกปรับแผนให้รับน้ำเสียเข้าซีไอดี 4,000 มก/ล แต่ก็ได้แสดงค่าสภาพต่างตั้งแต่เริ่มการทดลองให้ดังรูปที่ 5.4 (ง)

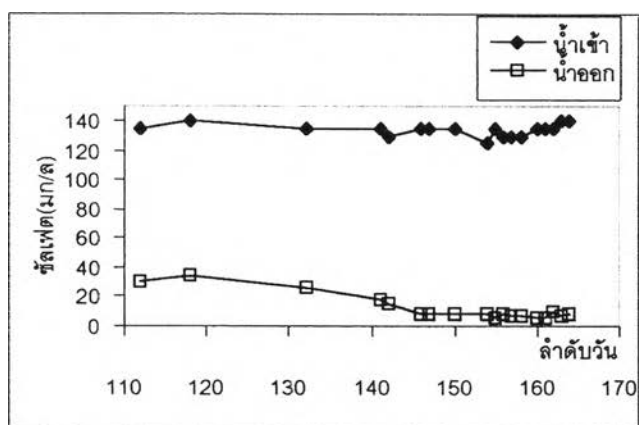
4) ชัลเฟต และประสิทธิภาพการใช้ชัลเฟต

ชัลเฟตในน้ำเสียเข้ามีค่าระหว่าง 125 ถึง 140 มก/ล เฉลี่ย 134.2 มก/ล และชัลเฟตในน้ำออกมีค่าระหว่าง 5 ถึง 14 เฉลี่ย 7.15 มก/ล มีเปอร์เซ็นต์ชัลเฟตรีดักชันเฉลี่ยร้อยละ 94.67 โดยที่ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ 2 ของการทดลอง ค่าความเข้มข้นชัลเฟตน้ำเสียและน้ำออกแสดงดังรูปที่ 5.4 (ก)

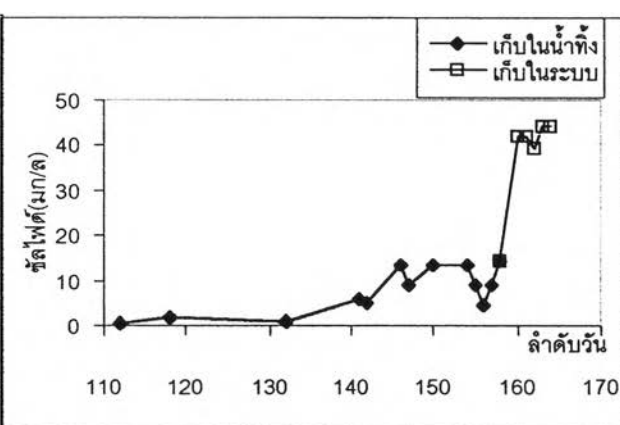
5) ชัลไฟด์

การทดลองตั้งแต่วันที่ 112 ถึง 158 ชัลไฟด์ในน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.6 ถึง 14.27 มก/ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 มก/ล และไม่สอดคล้องกับปริมาณชัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์ในช่วงเวลาเดียวกัน (จากผลต่างของชัลเฟตเข้าและออกในรูปที่ 5.4 (ก)) ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างน้ำออกที่นำมาวิเคราะห์ชัลไฟด์ถูกเก็บจากปลายสายยางที่นำน้ำซึ่งผ่านการบำบัดแล้วออกจากระบบลงสู่ถังรวบรวมน้ำออกด้านล่าง คาดว่าเกิดการสูญหายของชัลไฟด์ในระหว่างที่น้ำออกไหลผ่านสายยางดังกล่าว ทำให้มีความเข้มข้นชัลไฟด์ต่ำ

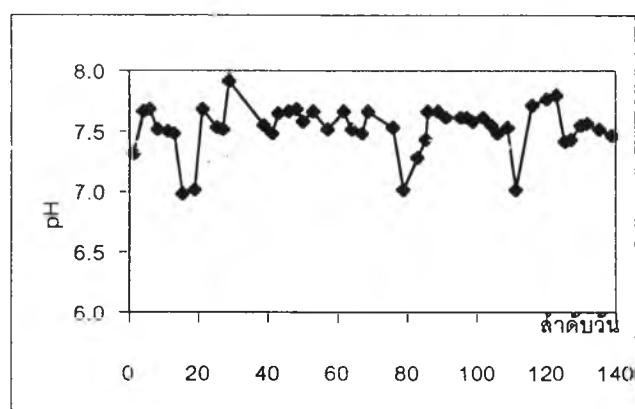
ดังได้กล่าวในตอนต้นว่ายังคงมีการทดลองที่ 2 ที่ระบบจะต้องรับภาระตะกั่วต่อไป และเพื่อให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของชัลไฟด์ในน้ำออกได้อย่างแท้จริง จึงต้องวิเคราะห์ชัลไฟด์ในน้ำออกโดยเก็บบริเวณผิวหน้าน้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์แยกสามสถานะออกมาแล้วแต่ยังไม่ไหลลงไปยังถังรวบรวมน้ำออกด้านล่าง นับตั้งแต่วันที่ 160 ถึง 164 โดยน้ำออกในส่วนนี้มีความเข้มข้นชัลไฟด์อยู่ระหว่าง 39.41 ถึง 44.35 มก/ล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 42.37 มก/ล ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับปริมาณชัลเฟตที่ถูกรีดิวซ์ ความเข้มข้นชัลไฟด์เริ่มตั้งแต่เติมชัลเฟตในวันที่ 112 จนถึงสิ้นสุดการทดลองรวม 50 วันแสดงดังรูปที่ 5.4 (ข)



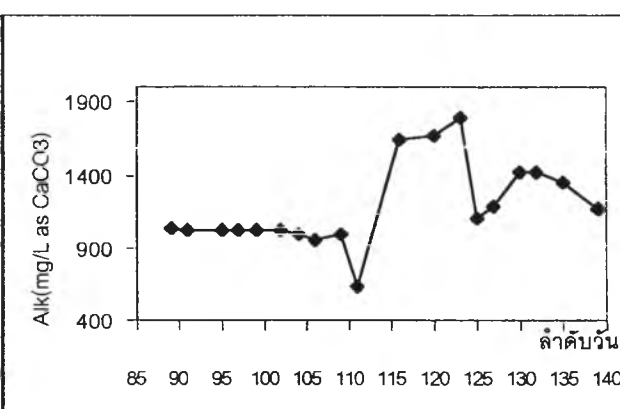
(ก) ซัลเฟต



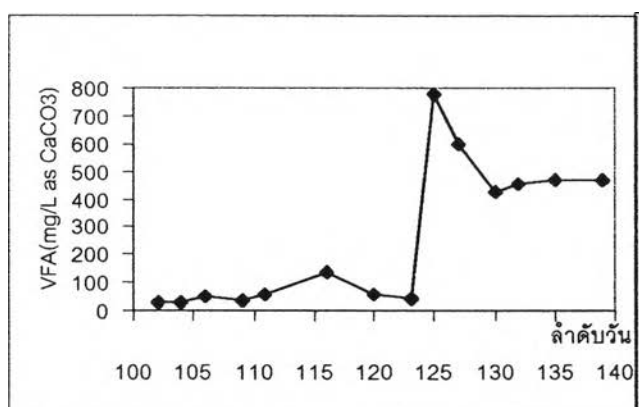
(ข) ซัลไฟด์



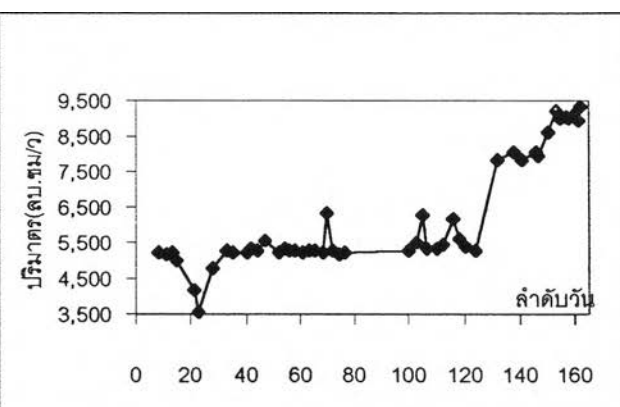
(ค) พีเอช



(ง) สภาพด่าง

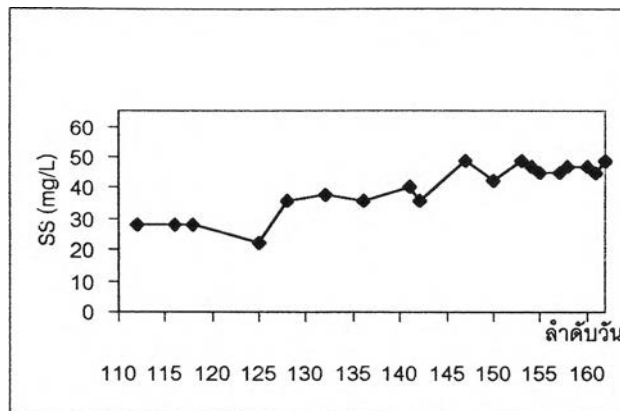


(จ) กรดไขมันระเหย



(ฉ) ปริมาณก๊าซ

รูปที่ 5.4 ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ พีเอช สภาพด่าง กรดไขมันระเหย ปริมาณก๊าซ ของถังแขวนลอย การทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล



(ข) ของแข็งแขวนลอย

รูปที่ 5.4 ค่าซัลเฟต ซัลไฟด์ ฟิเอซ สภาพต่าง กรดไขมันระเหย ปริมาณก๊าซ ของแข็งแขวนลอย การทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล (ต่อ)

6) ของแข็งแขวนลอย

การทดลองนี้ได้วิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกตั้งแต่วันที่ 126 ถึง 162 ในช่วงที่ 2 ของการทดลองรวม 36 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบอยู่ในภาวะสมดุลหลังจากถูกปรับแผนให้รับน้ำเสีย ซีไอดี 4,000 มก/ล แล้ว โดยค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าระหว่าง 22 ถึง 49 มก/ล เฉลี่ย 46.5 มก/ล และของแข็งแขวนลอยในน้ำออกตั้งแต่วันที่ 112 จนถึงสิ้นสุดการทดลองรวม 50 วันแสดง ดังรูปที่ 5.4 (ข)

7) ปริมาณก๊าซทั้งหมดและสัดส่วนก๊าซ

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันมีค่าอยู่ระหว่าง 7.94 ถึง 9.31 ลิตร/วัน เฉลี่ย 8.83 ลบ.ซม./วัน สัดส่วนก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 77.86:20.20 มีอัตราผลิต ก๊าซทั้งหมดเฉลี่ย 0.319 ลบ.ซม./มก.ซีไอดีที่ถูกกำจัด โดยทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงที่ 2 ของการ ทดลอง แต่ได้แสดงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันตั้งแต่เริ่มการทดลองไว้ดังรูปที่ 5.4 (ค) และ เนื่องจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซตัวอย่างด้วยวิธี Gas chromatography จะได้สัดส่วนก๊าซเป็นร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ (พิจารณาภาคผนวก ข ประกอบ) ดังนั้นเพื่อให้ได้สัดส่วนก๊าซ เป็นร้อยละโดยโมล หรือโดยปริมาตร จะต้องนำก๊าซมีเทนมาตรฐานที่ทราบร้อยละของก๊าซมีเทนที่ แน่นอนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เดียวกันแล้วนำผลที่ได้ไปจัดเตรียมเป็นกราฟเทียบ (Calibration curve) แต่ด้วยข้อจำกัดต่างๆ ผู้วิจัยจึงไม่ได้เตรียมกราฟดังกล่าวไว้ สัดส่วนก๊าซที่ ปรากฏในงานวิจัยนี้จึงเป็นสัดส่วนโดยพื้นที่ใต้กราฟ โดยใช้พื้นที่รวมซึ่งต้องหักพื้นที่ของอากาศที่ ปรากฏในผลวิเคราะห์ซึ่งแท้จริงแล้วเป็นก๊าซพาหะที่นำก๊าซตัวอย่างเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ออกก่อน ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการณในการนำค่าสัดส่วนก๊าซนี้ไปใช้ในการอ้างอิงสำหรับงานวิจัยอื่นๆ

5.1.3 การทดลองป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่วซีไอดี 5,000 มก/ล

เริ่มเดินระบบโดยใช้เชื้อแบคทีเรียจากถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ป้อนสารอาหารให้แก่ระบบด้วยสารละลายที่เตรียมจากน้ำตาลทรายโดยเริ่มต้นที่ซีไอดี 500 มก/ล ด้วยอัตราการไหล 8.64 ลิตร/วัน ปรับความเข้มข้นซีไอดีสูงขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 2,000 มก/ล สำหรับในช่วงแรกนี้จะป้อนอาหารเสริม (Nutrient) ไปในน้ำเสียเข้า แต่ยังไม่เติมซัลเฟตให้กับระบบเนื่องจากต้องการให้ระบบปรับตัวที่ละขั้น หลังจากนั้นจึงเริ่มเปลี่ยนน้ำเสียเข้าระบบเป็นน้ำอ้อยปราศจากตะกั่วที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป โดยเริ่มต้นที่ความเข้มข้นซีไอดี 2,000 มก/ล ตั้งแต่วันที่ 8 นับจากเริ่มเดินระบบ

เนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี(กำจัดซัลไฟด์แล้ว)ต่ำมาก ประเมินว่าไม่ควรใช้ในการทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วในการทดลองถัดไป จึงไม่ได้เติมซัลเฟตเพื่อให้ระบบเปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ดังเช่นการทดลองที่ผ่านมา

ตารางที่ 5.3 สรุปข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 5,000 มก/ล

พารามิเตอร์	ซีไอดีน้ำเข้า 5,000 มก/ล		
	น้ำเสีย	น้ำออก	%กำจัด
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.6	29.4	-
พีเอช (pH)	-	7.26	-
ซีไอดีละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)	5,089	1,651	67.6
ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)	-	9.48	-
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	-	1,251	-
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	-	2,719	-

ผลการทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 5,000 มก/ล จำแนกตามพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

1) อุณหภูมิ

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำเสียและน้ำออกเท่ากับ 27.6 และ 26.9 องศาเซลเซียสตามลำดับ

2) ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

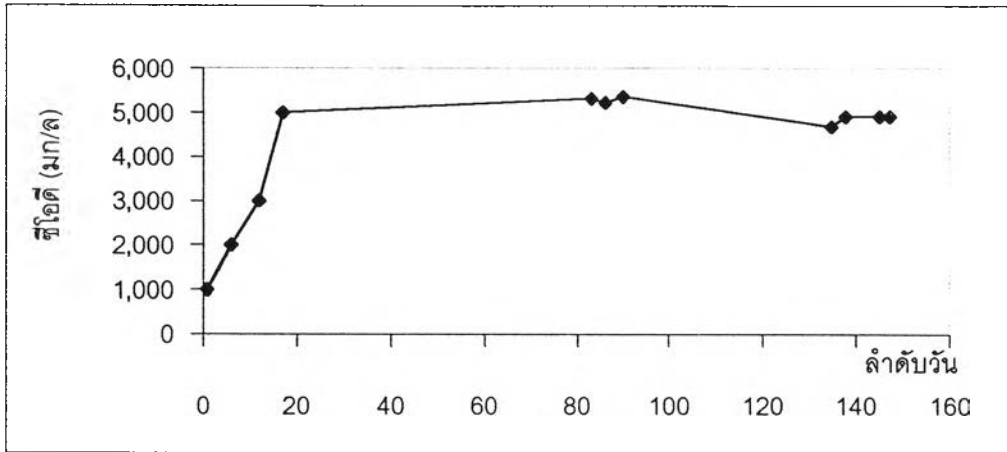
ตั้งแต่วันที่ 74 ถึง 138 ของการทดลองรวม 65 วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าระหว่างร้อยละ 60.4 ถึง 61.3 โดยค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำเสียเท่ากับ 5,089 มก/ล คิดเป็นภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 4.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ส่วนค่าเฉลี่ยซีโอดีในน้ำออกมีค่าระหว่าง 1,790 ถึง 1,997 มก/ล ในรูปซีโอดีละลาย คิดเป็นค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1,651 มก/ล ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เฉลี่ยร้อยละ 67.6 สำหรับค่าซีโอดีน้ำเสียและน้ำออกตลอดการทดลองแสดงรูปที่ 5.5

3) พีเอชและสภาพต่าง

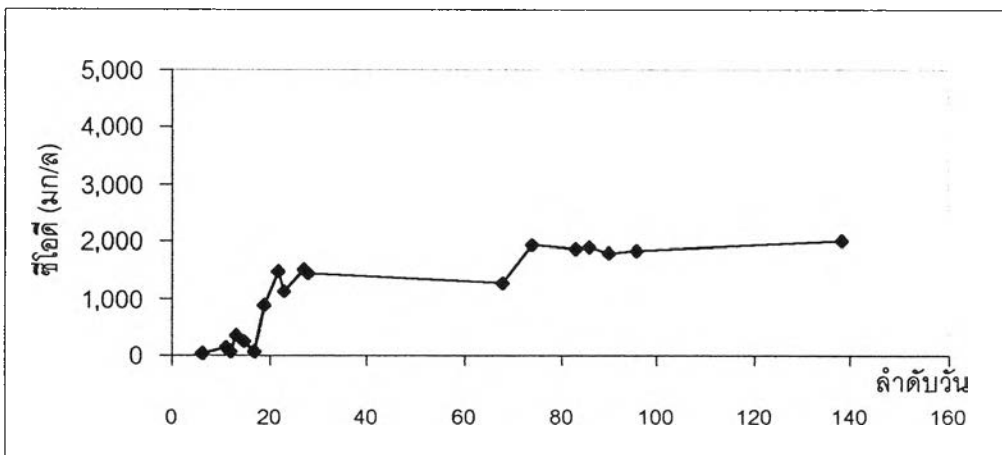
พีเอชของน้ำออกมีค่าอยู่ระหว่าง 6.85 ถึง 7.98 เฉลี่ย 7.26 สภาพต่างมีค่าระหว่าง 2,650 ถึง 2,750 มก/ล ในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต เฉลี่ย 2,719 มก/ล

4) ปริมาณก๊าซทั้งหมด

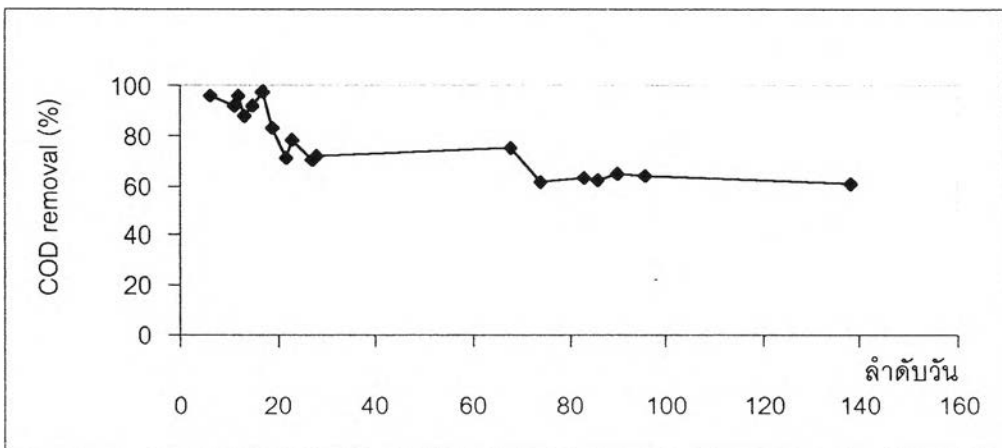
ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันมีค่าอยู่ระหว่าง 8.04 ถึง 9.13 ลิตร/วัน. เฉลี่ย 8.6 ลิตร./วัน มีอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดเฉลี่ย 0.289 ลบ.ซม./มก.ซีโอดีกำจัด แสดงปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันตั้งแต่เริ่มการทดลองไว้ดังรูปที่ 5.6



(ก) ซีไอดีน้ำเสีย

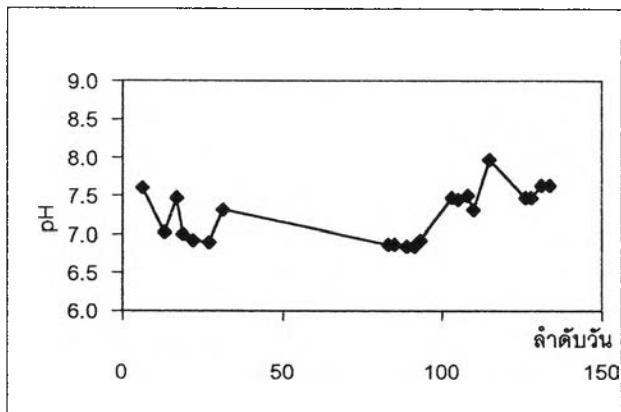


(ข) ซีไอดีน้ำออก

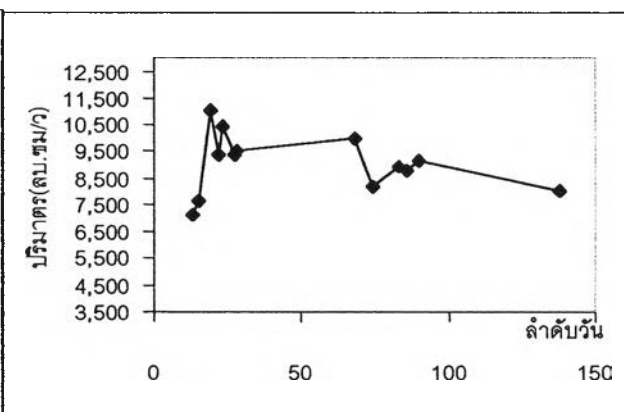


(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

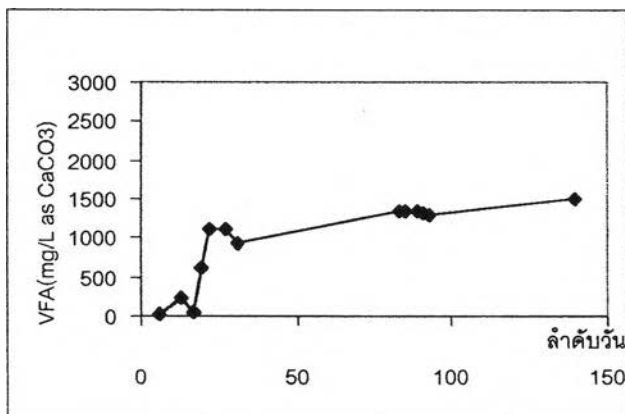
รูปที่ 5.5 ซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีการทดลองบ่อบำบัดน้ำเสียซีไอดี 5,000 มก/ล



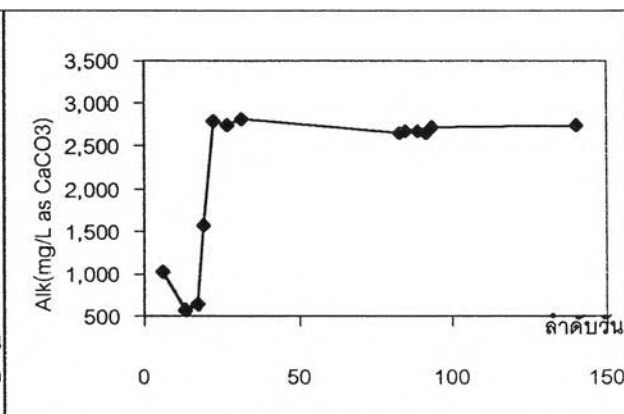
(ก) พีเอช



(ข) ปริมาณก๊าซ



(ค) กรดไขมันระเหย



(ง) สภาพต่าง

รูปที่ 5.6 พีเอช ปริมาณก๊าซ กรดไขมันระเหย สภาพต่าง
การทดลองป้อนน้ำเสียซีไอดี 5,000 มก/ล (ต่อ)

5.1.4 สมดุลมวลของซีไอดี

พิจารณาสมดุลมวลซีไอดีก่อนและหลังผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนดังนี้

$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{soluble COD}_{\text{eff}} + \text{CH}_{4\text{gas}} \text{COD} + \text{COD}_{\text{acc}}$$

เมื่อ	COD_{in}	=ซีไอดีทั้งหมดก่อนเข้าระบบ
	$\text{soluble COD}_{\text{eff}}$	=ซีไอดีละลายหลังผ่านระบบ
	$\text{CH}_{4\text{gas}} \text{COD}$	=ซีไอดีในรูปก๊าซมีเทน
	COD_{acc}	=ซีไอดีที่ถูกสะสมในเซลล์แบคทีเรีย

โดย $\text{soluble COD}_{\text{eff}} = \Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD} + \text{soluble CH}_4\text{COD} + \text{soluble organic COD}$

เมื่อ	$\Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD}$	=ซีไอดีที่ถูกใช้สำหรับรีดิวซ์ซัลเฟตให้เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์
	$\text{soluble CH}_4\text{COD}$	=ซีไอดีที่กลายเป็นมีเทนละลายน้ำ
	$\text{soluble organic COD}$	=ซีไอดีในรูปกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์อื่นๆที่ไม่ถูกย่อยสลาย

และ

$$\text{COD}_{\text{acc}} = \text{COD}_{\text{in}} - (\Delta\text{SO}_4\text{COD}) - (\text{soluble organic COD}) - (\text{soluble CH}_4\text{COD}) - \text{CH}_{4\text{gas}}\text{COD}$$

ความน่าเชื่อถือของข้อมูลจะดูจากร้อยละของมวลซีไอดีที่ออกจากระบบต่อร้อยละของมวลซีไอดีที่เข้าระบบเรียกว่า %COD Recovery โดยหากใกล้เคียง 100% ก็แสดงว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมาก ค่า%COD recoveryสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\% \text{COD recovery} = \frac{\Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD} + \text{soluble organic COD} + \text{soluble CH}_4\text{COD} + \text{CH}_{4\text{gas}}\text{COD}}{\text{COD}_{\text{in}}}$$

นอกจากนั้น จากสมดุลมวลของซีไอดีที่สร้างขึ้นยังทำให้หาสัดส่วนซีไอดีที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนได้ โดยเรียกว่า เปอร์เซ็นต์การไหลของอิเล็กตรอน ซึ่งหาได้

$$\% \text{electron flow to MPB} = (\text{CH}_4\text{COD}) / (\text{CH}_4\text{COD} + \Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD})$$

$$\% \text{electron flow to SRB} = (\Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD}) / (\text{CH}_4\text{COD} + \Delta\text{SO}_4^{2-}\text{COD})$$

ค่า %COD recovery และ %Electron Flow ของการทดลองในถังปฏิกรณ์ต่างๆแสดงไว้ดังตาราง

ที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าร้อยละของ COD recovery ในการทดลองที่ 1

การทดลอง**	ซีโอดี (มก/ล)		ซัลเฟต (มก/ล)		ก๊าซทั้งหมดต่อวัน (มล)	มีเทน* (%)	ซีโอดีจากซัลเฟต (มก/ล)	ซีโอดีจากมีเทนละลาย (มก/ล)	ซีโอดีจากก๊าซมีเทน (มก/ล)	COD recovery (%)	Electron Flow (%)	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก							MPB	SRB
	1	2043	26	135	32	5351	77.68	69	54	1233	67.65	94.91
2	3814	612	134	7	8826	77.86	85	52	2061	73.68	91.40	8.6

พิจารณาขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนในขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายมีลักษณะดังนี้

กรดอะซิติก หรือ (H_2+CO_2) $\xrightarrow{\text{แบคทีเรียผลิตมีเทน}}$ มีเทน+คาร์บอนไดออกไซด์

กรดอะซิติก หรือ (H_2+CO_2) $\xrightarrow{\text{แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต}}$ ซัลไฟด์+คาร์บอนไดออกไซด์

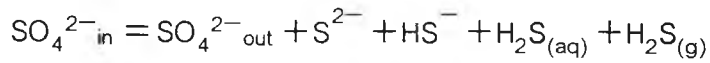
จะเห็นว่ากรดอะซิติกหรือไฮโดรเจนสามารถใช้โดยแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มได้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างกัน ตามกลุ่มแบคทีเรียที่นำไปใช้ แต่จากค่า %Electron Flow และปริมาณก๊าซมีเทนในตารางที่ 5.5 พบว่าในการทดลองนี้ แบคทีเรียผลิตมีเทนมีบทบาทมากที่สุดในขั้นตอนนี้ และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีส่วนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพียงร้อยละ 5 ถึง 8 เท่านั้น สอดคล้องกับปริมาณซัลเฟตที่ป้อนให้ระบบซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับซีโอดีในน้ำเสีย

5.1.5 สมดุลมวลซัลเฟอร์

เมื่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนไปอยู่ในรูปซัลไฟด์ โดยซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในวัฏภาคก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว HS^- และ S^{2-} ในวัฏภาคของเหลว สมดุลมวลของซัลเฟอร์ในระบบหาได้จาก

* สัดส่วนเทียบเป็นร้อยละของพื้นที่จากผลวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas chromatography (ดูภาคผนวก ข)

** การทดลองป้อนน้ำเสีย 5,000 มก/ล ไม่มีผลวิเคราะห์ก๊าซจึงไม่นำมาคำนวณสมดุลซีโอดี



โดย	$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}}$	=ซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตในน้ำเข้า
	$\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{out}}$	=ซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตในน้ำออก
	S^{2-}	=ซัลเฟอร์ในรูปซัลไฟด์อิออน
	HS^-	=ซัลเฟอร์ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายน้ำที่แตกตัว
	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})}$	=ซัลเฟอร์ในรูปซัลไฟด์ละลายน้ำที่ไม่แตกตัว
	$\text{H}_2\text{S}_{(\text{g})}$	=ซัลเฟอร์ในรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสถานะก๊าซ

$$\text{และ \%sulfur recovery} = \frac{\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{out}} + \text{S}^{2-} + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{S}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{S}_{(\text{g})}}{\text{SO}_4^{2-}{}_{\text{in}}}$$

โดย % sulfur recovery ของแต่ละการทดลองแสดงไว้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ร้อยละของ Sulfur Recovery ในการทดลองที่ 1

ค่าเฉลี่ย ซีโอดีน้ำเสีย* (มก/ล)	ซัลเฟต (มก/ล)		ซัลไฟด์ละลาย (มก/ล)		sulfur recovery (%)
	เข้า	ออก	ในรูปซัลไฟด์	ในรูปซัลเฟต	
2,043 มก/ล	135.2	31.8	34.33	102.99	99.70
3,814 มก/ล	134.2	7.15	42.37	127.11	100.05

* การทดลอง ณ ซีโอดี 5,000 มก/ล ไม่มีการเติมซัลเฟต จึงไม่นำมาคำนวณสมมูลซัลเฟอร์

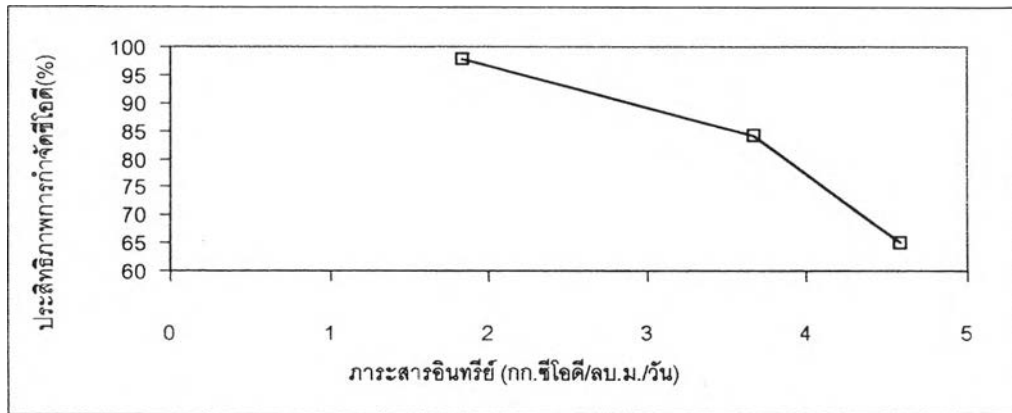
5.1.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบถังกรองไร้อากาศในการทดลองที่ 1

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของถังกรองไร้อากาศในการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	น้ำอ้อยซีไอดี 2,000 มก/ล	น้ำอ้อยซีไอดี 4,000 มก/ล	น้ำอ้อยซีไอดี 5,000 มก/ล
ซีไอดีน้ำเสียเข้า (มก/ล)	2,043	3,814	5,089
ภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน)	1.873	3.50	
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีละลาย (%)	98.72	83.96	67.6
ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมด (%)	97.40	-	-
อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต	15 : 1	30 : 1	-
เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชัน	76.48	94.67	-
ซัลไฟด์ละลายในน้ำออก (มก/ล)	34.33	42.37	-
ของแข็งแขวนลอยในน้ำออก (มก/ล)	22.65	46.5	-
ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	5.35	8.83	9.48
สภาพด่าง (มก/ล as CaCO ₃)	1,034	1,417	2,719

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของทุกถังปฏิกรณ์รวมกันตามตารางที่ 5.6 แล้วเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบดังนี้

1) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและภาวะสารอินทรีย์ที่ระบบรับได้



รูปที่ 5.7 เปรียบเทียบภาวะสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้

พิจารณารูปที่ 5.7 ร่วมกับตารางที่ 5.6 เมื่อระบบรับน้ำเสียเข้าซีโอดี 2,000 มก/ล ในอัตรา 8.64 ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บกัก 26 ชั่วโมง ภาวะสารอินทรีย์ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน พบว่าสามารถคุมระบบให้น้ำบัดน้ำเสียกระทั่งมีความเข้มข้นซีโอดีในน้ำออกผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งไม่เกิน 120 มก/ล มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงถึงร้อยละ 98 ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่ระบบถังกรองไร้อากาศสามารถเก็บกักเซลล์ของแบคทีเรียที่มีอยู่ในระบบได้เป็นจำนวนมาก ระบบมียิลด์หรืออัตราการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียต่ำ จึงไม่ทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำออก ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเข้าเมื่อเทียบกับจำนวนเซลล์แบคทีเรียที่มีอยู่จึงยังมีค่าต่ำ อีกทั้งระยะเวลาเก็บกักที่เพียงพอสำหรับแบคทีเรียที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทัน

เมื่อระบบรับน้ำเสียเข้าซีโอดี 4,000 มก/ล. ในอัตรา 8.64 ลิตร/วัน ระยะเวลาเก็บกัก 26 ชั่วโมง ภาวะสารอินทรีย์ 3.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือเป็นร้อยละ 83.96 และเมื่อระบบรับน้ำเสียเข้าซีโอดี 5,000 มก/ล ภาวะสารอินทรีย์ 4.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำร้อยละ 67.6

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเพิ่มภาวะสารอินทรีย์มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลง และหากใช้ระยะเวลาเก็บกัก 26 ชั่วโมง ถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการบำบัดน้ำย่อยปราศจากตะกั่วได้ในช่วงภาวะสารอินทรีย์ต่ำกว่า 3.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน โดยยังให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำสุดเฉลี่ยร้อยละ 83.96 .

โดยทั่วไประบบถังกรองไร้อากาศสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีซีไอดีน้อยกว่า 1,000 มก/ล ขึ้นไปจนกระทั่งมากกว่า 20,000 มก/ล ได้แต่หากระบบต้องรับน้ำเสียซีไอดีสูง ก็ควรเวียนน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ระบบเพื่อให้มีความเข้มข้นไม่เกิน 12,000 มก/ล (Hall, 1992) ความเข้มข้นซีไอดีในงานวิจัยนี้ยังถือว่าไม่อยู่ในช่วงสูงเมื่อเทียบกับช่วงดังกล่าวข้างต้น แต่การพิจารณาเพียงความเข้มข้นซีไอดีเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ควรพิจารณาภาวะสารอินทรีย์ที่ระบบต้องรับและระยะเวลาเก็บกัก ชลศาสตร์ควบคู่ไปด้วย ซึ่งโดยทั่วไปภาวะสารอินทรีย์มักนำเสนอในหน่วยต่อปริมาตรถึงปฏิกรณ์ เช่น กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ และยังเป็นที่ยอมรับปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่างๆ เช่น อัตราการกำจัดสารอินทรีย์ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ความเข้มข้นของแบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ อัตราการส่งถ่ายมวลสาร ไว้ในค่าเดียวกัน (สุรพล สายพานิช , 2542)

มีหลายงานวิจัยที่ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับในงานวิจัยนี้ เช่น

-Prayitno (1989) ใช้ถังกรองไร้อากาศบำบัดโครเมียมโดยป้อนกลูโคสซีไอดี 2,000 มก/ล ภาวะสารอินทรีย์ 1.77 ถึง 2.02 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงในช่วงร้อยละ 97 ถึง 99

-Chua และคณะ (1997) ใช้ถังกรองไร้อากาศเพื่อศึกษาภาวะชลศาสตร์กระตุ้น โดยป้อนน้ำเสียซีไอดี 3,000 มก/ล ระยะเวลาเก็บกัก 24-30 ชั่วโมง ภาวะสารอินทรีย์ 3.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีร้อยละ 84-88

-Bayoumy และคณะ (1999) ใช้ถังกรองไร้อากาศร่วมกับแบคทีเรียรีดิทซ์ซัลเฟตกำจัดโลหะหนัก โดยใช้ภาวะสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน ระยะเวลาเก็บกักชลศาสตร์มากกว่า 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัด TOC ร้อยละ 50 ในขณะที่ไม่ป้อนโลหะหนัก

2) ซัลเฟต และเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชัน

หากพิจารณาเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันของระบบไร้อากาศแบบยูเอเอสบี (อ้างถึงใน อนุตร, 2542 และ อูรซา, 2542) ร่วมกับการใช้น้ำตาลเป็นสารอาหารโดยป้อนซัลเฟตให้แก่ระบบ พบว่า ณ ที่ซีไอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 2:1 และ 4:1 ซึ่งอยู่ในภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตจำกัดและซีไอดีเกินพอ แบคทีเรียรีดิทซ์ซัลเฟตยังสามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันสูง ร้อยละ 80 ถึง 90 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออยู่ในภาวะถูกจำกัดซัลเฟต แบคทีเรียรีดิทซ์ซัลเฟตจะใช้ซัลเฟตที่มีอยู่จำกัดนั้นอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เมื่อเทียบกับการทดลองป้อนน้ำอ้อยซีไอดี 2,000 มก/ล ในงานวิจัยนี้ ระบบถูกป้อนซัลเฟตในอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 15:1 ซึ่งอยู่ในภาวะที่มีปริมาณซัลเฟตจำกัดกว่างานวิจัยที่อ้างถึง แต่

พบว่าค่าซัลเฟตรีดักชันที่ปรากฏกลับมีค่าต่ำเพียงร้อยละ 76.48 แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลเฟตที่เติมยังไม่อยู่ในภาวะถูกจำกัด แต่ยังมีปริมาณเกินพอสำหรับปริมาณแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในระบบ และหากพิจารณาการทดลองป้อนน้ำอ้อยซีไอดี 4,000 มก/ล ระบบถูกป้อนซัลเฟตในปริมาณ 135 มก/ล เท่ากัน แต่ด้วยซีไอดีน้ำเสียเข้าที่สูงกว่าสองเท่าทำให้อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตมีค่า 30:1 ซึ่งมีระดับการจำกัดซัลเฟตสูงขึ้นไปอีก พบว่าระบบมีเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันสูงขึ้นเป็นร้อยละ 94.67 แสดงให้เห็นว่าระบบเริ่มเข้าสู่ช่วงภาวะขาดซัลเฟตสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเมื่อตั้งอยู่ในภาวะที่ซีไอดีในน้ำเสียมากเกินพอและต้องแข่งขันกับแบคทีเรียผลิตมีเทน ทำให้ต้องใช้ซัลเฟตที่มีอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้มีตัวรับอิเล็กตรอนมากพอ แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะอยู่ในภาวะขาดซัลเฟต แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตก็ไม่สามารถใช้ซีไอดีมารีดิวซ์ซัลเฟตจนความเข้มข้นซัลเฟตเป็นศูนย์ได้ และยังคงมีซัลเฟตในน้ำออกเหลือในปริมาณหนึ่งเสมอ โดยคาดว่าปริมาณซัลเฟตที่เหลืออยู่นี้เป็นขีดจำกัดต่ำสุดซึ่งหากซัลเฟตที่เหลือต่ำกว่านี้ แบคทีเรียจะไม่สามารถดึงเข้าสู่เซลล์ได้

จากผลการทดลองข้างต้นชี้ให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นซีไอดีน้ำเสียเข้าระบบให้สูงกว่า 2,000 มก/ล ก็ไม่จำเป็นจะต้องเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตเข้าระบบเพื่อรักษาอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตให้มีค่า 15:1 เท่าเดิม เพราะนอกจากจะมีเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันที่ต่ำแล้ว ความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกอาจสูงจนซัลไฟด์กลับจะเป็นพิษต่อแบคทีเรียทุกกลุ่มรวมถึงแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่เป็นผู้ผลิตซัลไฟด์ขึ้นมาเองด้วย นอกจากนี้ความเข้มข้นซัลไฟด์อาจเกินความจำเป็นสำหรับใช้ในการตกผลึกโลหะหนักในน้ำเสียที่มีอยู่ ดังนั้นปริมาณซัลเฟตที่เติมให้แก่ระบบจึงควรเติมแค่เพียงพอที่จะถูกรีดิวซ์เป็นซัลไฟด์เพื่อใช้ในการตกผลึกโลหะหนัก โดยไม่จำเป็นจะต้องเติมซัลเฟตในปริมาณสูงเพื่อสร้างสภาวะเหมาะสมหรือผันให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมาเป็นกลุ่มหลักในการกำจัดซีไอดีในน้ำเสีย เพราะจะทำให้ความเข้มข้นซัลไฟด์สูงมากจนกลายเป็นปัญหาในภายหลัง

3) ซัลไฟด์ในน้ำออก

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออก ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งคือ

ก) จุดเก็บภายในระบบ

ความเข้มข้นซัลไฟด์ที่เก็บภายในระบบมีความเข้มข้นเฉลี่ย 31.37 ถึง 42.37 ซึ่งมีค่าต่างกันออกไปในแต่ละการทดลองแม้ว่าจะเติมซัลเฟตในปริมาณเท่ากันทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละการทดลอง อย่างไรก็ตามคาดว่าความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกส่วนนี้มีปริมาณสูงมากเกินพอสำหรับการนำไปใช้ตกผลึกโลหะหนักในการทดลองถัดไป

ข) จุดเก็บในน้ำทิ้ง

น้ำออกส่วนนี้มีความเข้มข้นซัลไฟด์ต่ำซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อปล่อยให้ น้ำออกไหลออกจากอุปกรณ์แยกสามสถานะลงไปสู่ถังรวบรวมน้ำออกโดยผ่านสายยางประมาณ 1 เมตร ก็เป็นผลให้ความเข้มข้นซัลไฟด์ลดต่ำลงได้ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถกำจัดซัลไฟด์ในน้ำออกได้ด้วยการปรับพีเอชร่วมกับกระบวนการ Air Stripping (Hall, 1992) และดีแเอเรชั่น แม้ว่าระบบบำบัดในงานวิจัยนี้ไม่ได้ออกแบบให้มีระบบกำจัดซัลไฟด์ด้วยวิธีดังกล่าว แต่คาดว่าอาจมีกระบวนการดีแเอเรชั่นเกิดขึ้นภายในสายยาง ร่วมกับปฏิกิริยาทางเคมีชีวภาพอื่นๆ ด้วย ส่งผลให้น้ำออกในส่วนนี้มีความเข้มข้นซัลไฟด์ต่ำ

4) ปริมาณก๊าซทั้งหมดและสัดส่วนก๊าซ

เมื่อเพิ่มภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นเป็นสองเท่า อัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดมีค่าคงที่ แต่ด้วยภาระสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณซีไอที่ถูกกำจัดไปมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวันสูงขึ้น 1.65 เท่าเทียบกับเมื่อมีภาระสารอินทรีย์ต่ำ อีกทั้งเมื่อปริมาณก๊าซทั้งหมดสูงขึ้นทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีมากเกินกว่าจะละลายน้ำได้หมด จึงแยกตัวออกจากวัฏภาคน้ำสู่วัฏภาคก๊าซแล้วไหลเข้าไปยังอุปกรณ์วัดปริมาณก๊าซ เป็นผลให้สัดส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซตัวอย่างสูงขึ้น

5) ของแข็งแขวนลอย

เมื่อระบบรับน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล มีของแข็งแขวนลอยในน้ำออกเฉลี่ย 22 มก/ล ในขณะที่เมื่อระบบรับน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล มีของแข็งแขวนลอยในน้ำออกเฉลี่ย 46.5 มก/ล ซึ่งสูงกว่า 2 เท่า อาจมีสาเหตุจากปริมาณก๊าซที่ผลิตโดยระบบเอง เพราะก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งเดียวที่ก่อให้เกิดความปั่นป่วนในถังปฏิกรณ์ โดยระบบที่รับน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล จะผลิตก๊าซได้มากกว่าระบบที่รับน้ำเสีย 2,000 มก/ล อยู่ 1.65 เท่า การออกแบบอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยลดปริมาณของแข็งแขวนลอยที่หลุดปนออกระบบได้ และประเด็นสุดท้ายคือในกรณีที่น้ำออกยังมีซีไอดีสูงก็สามารถพบแบคทีเรียที่อาศัยผิวด้านนอกของอุปกรณ์แยกสามสถานะเป็นที่ยึดเกาะและเมื่อหลุดลอกออกจากผิวอุปกรณ์แล้วก็จะหลุดออกไปกับน้ำออกได้ง่ายเช่นกัน

5.2 การศึกษาความสามารถของระบบถังกรองไร้อากาศในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารตะกั่ว

จากผลการทดลองที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบถังกรองไร้อากาศในงานวิจัยนี้เหมาะสมที่จะรับภาระสารอินทรีย์ได้ไม่เกิน 3.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ด้วยการป้อนน้ำเสียเข้าซีโอดี 4,000 มก/ล ในอัตรา 8.64 ลิตร/วัน โดยยังให้ประสิทธิภาพต่ำสุดที่ร้อยละ 83.96 และสามารถมีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีได้สูงถึงร้อยละ 98 หากรับภาระสารอินทรีย์ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน จากการป้อนน้ำเสียเข้าซีโอดี 2,000 มก/ล ในอัตรา 8.64 ลิตร/วัน

อาศัยผลการทดลองข้างต้น เติมน้ำในระบบในการทดลองที่ 2 ต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1 โดยเลือกป้อนน้ำเสียเข้าซีโอดี 2,000 มก/ล อัตรา 8.64 ลิตร/วัน เพื่อให้เห็นผลของตะกั่วที่มีต่อระบบที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงมาก่อน และ 4,000 มก/ล ในอัตรา 8.64 ลิตร/วัน เพื่อสังเกตผลของตะกั่วต่อระบบที่ทำงานในช่วงใกล้ขีดจำกัดของภาระสารอินทรีย์ ดังนั้นจึงเริ่มเดินระบบในการทดลองที่ 2 โดยมีถึงปฏิกรณ์ชุดควบคุมป้อนน้ำเสียปราศจากตะกั่วซีโอดี 2,000 มก/ล พร้อมกันจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองที่ 2 ซึ่งผลการทดลองของชุดควบคุมในส่วนที่เดินระบบควบคุมไปด้วยนี้ ได้เคยแสดงไว้ในหัวข้อ 5.1.1 ก่อนหน้านี้แล้ว

5.2.1 การทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 มก/ล

5.2.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของระบบ

พิจารณาตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วละลายมีค่าเท่ากับ 0.48 และ 0.48 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าคงที่ตลอดการทดลอง ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วละลายมีค่าเฉลี่ยสูงตลอดการทดลองแม้จะเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้าสูงถึง 10 มก/ล โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 89.9 และ 96.3 ที่ความเข้มข้นตะกั่วเข้าเท่ากับ 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ การที่ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าสูงขึ้นทั้งที่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วละลายในน้ำออกมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง ก็เนื่องมาจากค่าความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้ามีค่าสูงขึ้นนั่นเอง มิใช่ระบบปรับตัวมี ประสิทธิภาพดีขึ้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นตะกั่วทั้งหมดในน้ำออกจากระบบพบว่ามีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่วสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 0.7 และ 0.81 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 87.6 และ 97.8 ตามลำดับ

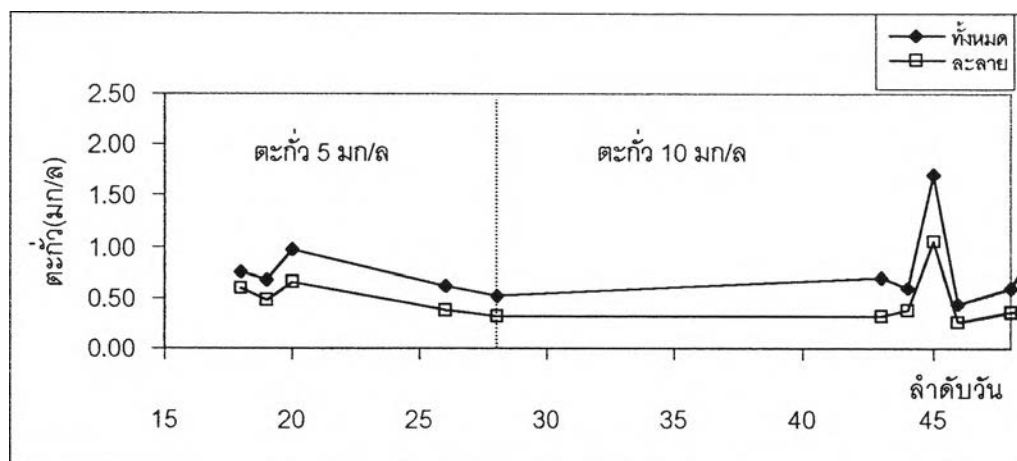
ตารางที่ 5.7 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 มก/ล.

พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	หลังเติมตะกั่ว ณ ความเข้มข้น	
		5 มก/ล	10 มก/ล
พีเอชน้ำออก (pH)	7.61	7.52	7.49
อุณหภูมิน้ำออก (°C)	29.2	28.4	29.6
ตะกั่วน้ำเข้า (มก/ล) ทั้งหมด	-	5.68	9.79
ละลาย	-	4.77	8.82
ตะกั่วน้ำออก (มก/ล) ทั้งหมด	-	0.70	0.81
ละลาย	-	0.48	0.48
การกำจัดตะกั่ว (%) ทั้งหมด	-	87.61	91.77
ละลาย	-	89.86	96.25
ซีโอดีน้ำเข้า (มก/ล) ทั้งหมด	2,043	2,149	2,076
ซีโอดีน้ำออก* (มก/ล) ทั้งหมด	-	70.31*	56.71
ละลาย	26.14	51.76	29.34
การกำจัดซีโอดี** (%)	98.72	97.59	98.59
ซัลเฟตเข้า (มก/ล)	135.2	136.25	136.67
ซัลเฟตออก (มก/ล)	31.8	34.13	31.11
ซัลเฟตรีดักชัน (%)	76.48	74.83	77.24
ซัลไฟด์ในน้ำออก (มก/ล)	34.33	32.61	33.09
ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	5.35	5.29	5.28
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)	18.73	33	25.3

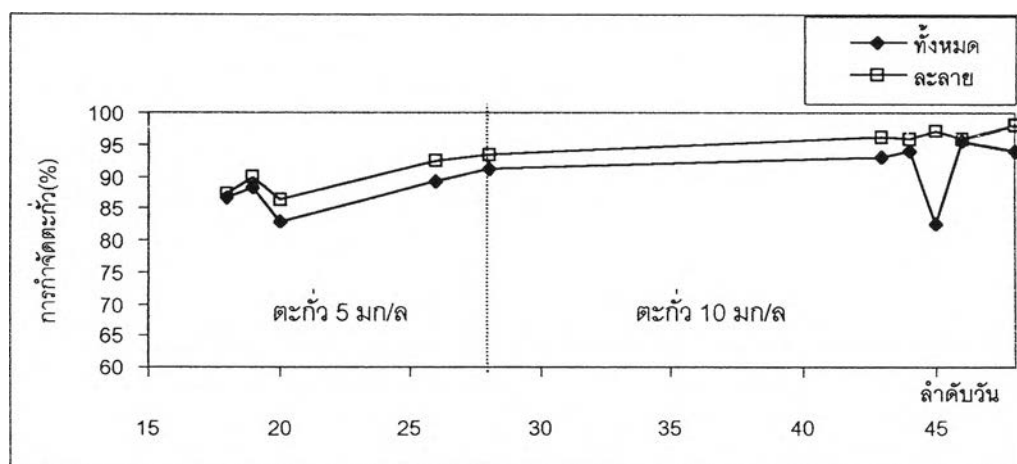
สรุปได้ว่าระบบสามารถกำจัดตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียสูงถึง 10 มก/ล ระบบก็ยังคงสามารถกำจัดตะกั่วที่เหลือในน้ำออกจากระบบต่ำกว่า 0.48 มก/ล ได้

*กำจัดซัลไฟด์ก่อนวิเคราะห์ซีโอดี

**ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่กำจัดซัลไฟด์ออกแล้ว



(ก) ตะกั่วในน้ำออก



(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

รูปที่ 5.8 ตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

5.2.1.2 สมรรถนะของระบบเมื่อมีการเติมตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ

1) ซีโอติน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติ

พิจารณาตารางที่ 5.7 ความเข้มข้นซีโอติละลายในน้ำออกมีค่าเฉลี่ย 51.76 และ 29.34 มก/ล คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติร้อยละ 97.59 และ 98.59 เมื่อป้อนตะกั่วความเข้มข้น 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติของชุดควบคุมมากจนกล่าวได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติสูงตลอดการทดลอง โดยสามารถรับน้ำเสียที่มีตะกั่วปนเปื้อนสูงถึง 10 มก/ล ได้โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.9

2) เปอร์เซนต์ซิลเฟตรีดักชันและซิลไฟด์ในระบบ

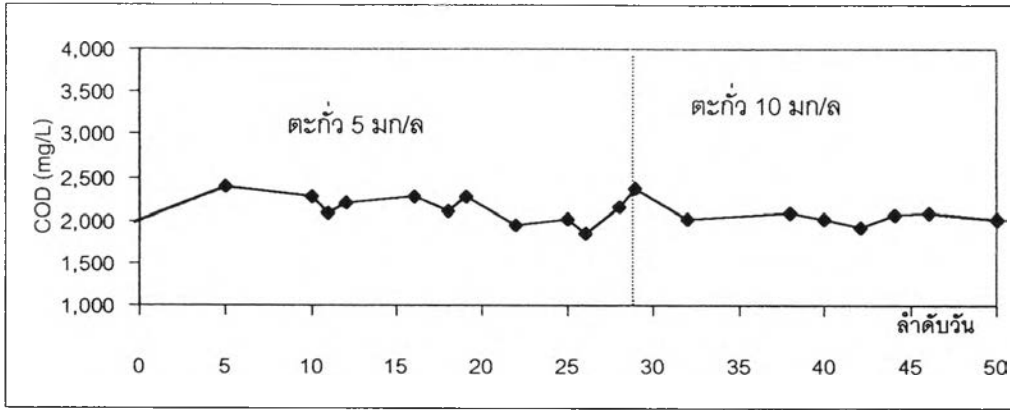
พิจารณาตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.10 (ข) พบว่าระบบมีเปอร์เซนต์ซิลเฟตรีดักชันร้อยละ 74.8 และ 77.2 เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ ต่างจากชุดควบคุมร้อยละ 1.68 และ 0.72 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซิลเฟตยังทำงานได้เป็นปกติ ไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของสารตะกั่ว การที่เปอร์เซนต์ซิลเฟตรีดักชันยังคงมีค่าต่ำในช่วงร้อยละ 74 ถึง 77 ก็ด้วยเหตุผลเดียวกับในการทดลองที่ 1 คือ ปริมาณซิลเฟตที่เติมให้ระบบยังไม่ถือว่าถูกจำกัดสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซิลเฟต

3) ของแข็งแขวนลอย

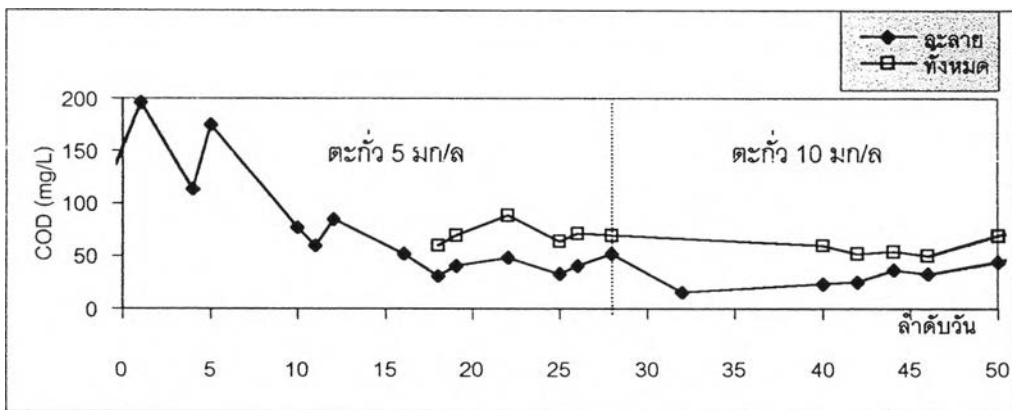
พิจารณาตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.10 (ง) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกช่วงการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มสูงเกินกว่าชุดควบคุมที่ไม่ได้รับภาระสารตะกั่ว คือมีค่าเท่ากับ 33 และ 25 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ หากพิจารณาค่าของแข็งแขวนลอยในช่วงที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วความเข้มข้น 5 มก/ล ค่าของแข็งแขวนลอยสูงกว่าชุดควบคุมอยู่ 14.27 มก/ล อาจเป็นเพราะระบบปรับตัวอีกครั้งหลังจากรับภาระสารตะกั่ว และหลังจากนั้นค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมเพียง 6.27 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 10 มก/ล อาจกล่าวได้ว่าการป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่วเข้าสู่ระบบทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูงกว่าชุดควบคุมเล็กน้อย โดยน้ำทิ้งที่ออกจากระบบตลอดการทดลองมีค่าของแข็งแขวนลอยไม่เกิน 50 มก/ล ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

4) ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวัน

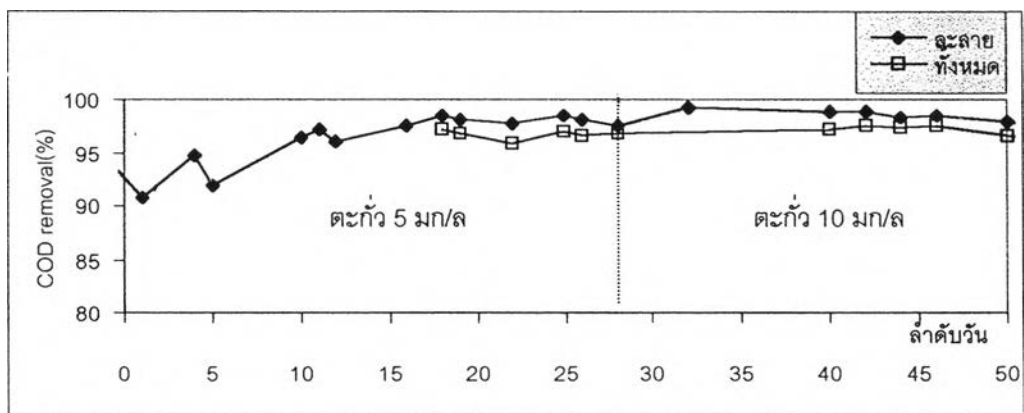
พิจารณาตารางที่ 5.7 และ รูปที่ 5.10 (ค) ในช่วงแรกที่เริ่มป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 มก/ล ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวัน มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซของชุดควบคุมอยู่ 96 ลบ.ซม/วัน เท่านั้น และมีค่าเท่ากับ 5,292 และ 5,279 เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ เมื่อความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้ามากขึ้นความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียเข้ามากขึ้น ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวันมีแนวโน้มคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนยังทำงานเป็นปกติโดยไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของตะกั่ว แม้ว่าจะไม่ได้ตรวจสอบสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซที่ผลิตจากระบบแต่การที่ซีโอไซด์ถูกกำจัดไปอย่างคงที่พร้อมกับปริมาณการผลิตก๊าซคงที่อาจแสดงให้เห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซ (มล./มก.ซีโอไซด์กำจัด) คงที่ สามารถใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมระบบได้



(ก) ซีโอดีน้ำเข้า

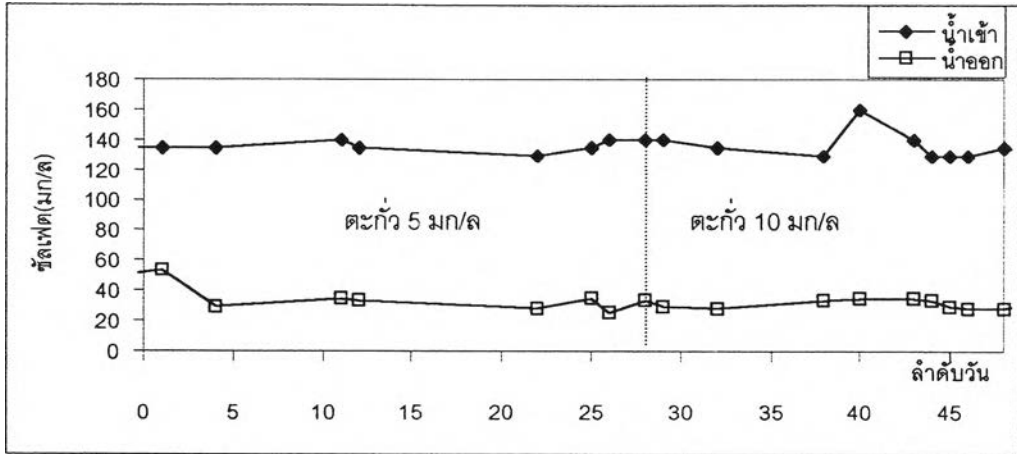


(ข) ซีโอดีน้ำออก

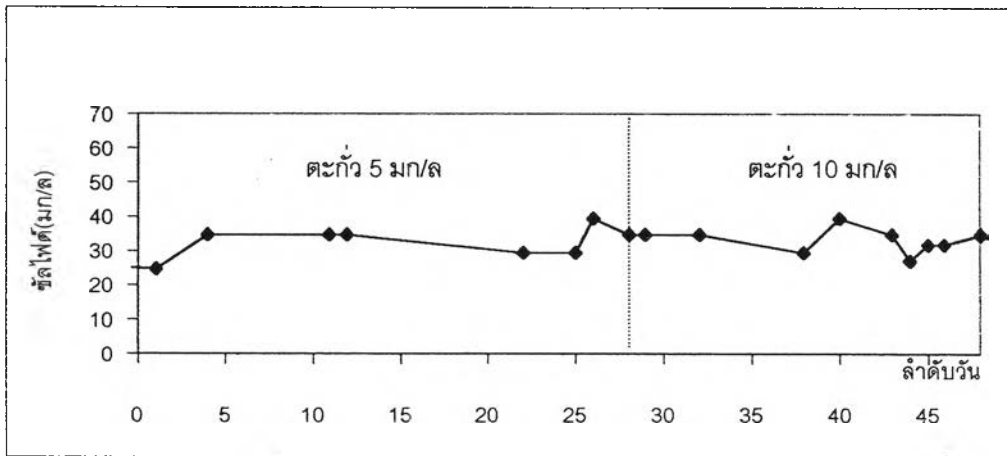


(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

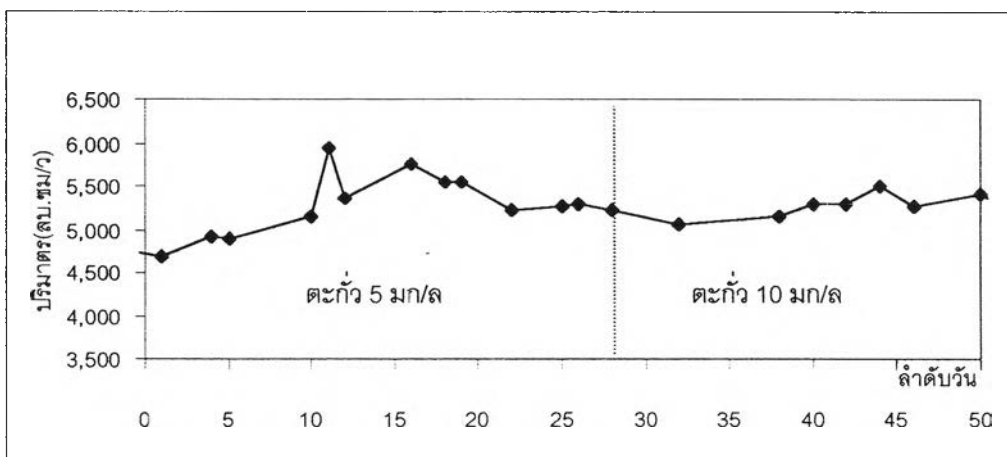
รูปที่ 5.9 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี



(ก) คลอไรด์

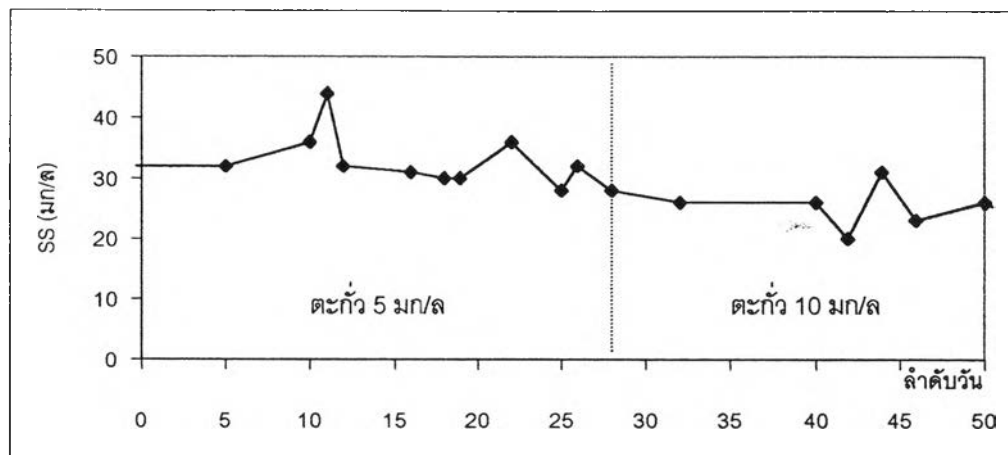


(ข) คลอไรด์น้ำออก

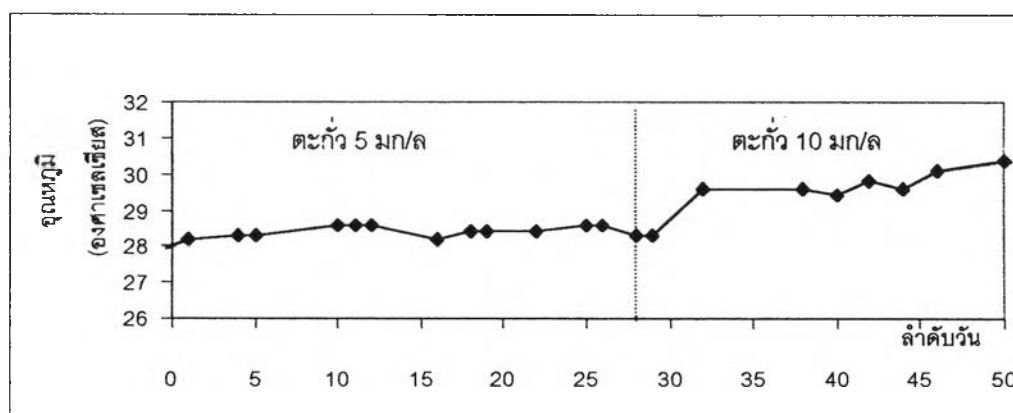


(ค) ปริมาณน้ำออก

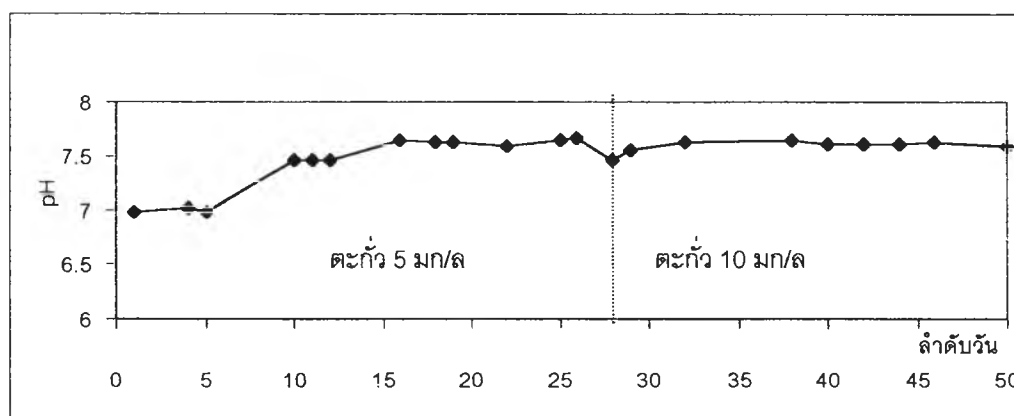
รูปที่ 5.10 คลอไรด์ คลอไรด์ ปริมาณน้ำออก ของแท็งก์แวนลอย อุณหภูมิ พีเอช



(ง) ของแข็งแขวนลอย



(จ) อุณหภูมิ



(ฉ) พีเอช

รูปที่ 5.10 ซัลเฟต ซัลไฟด์ ปริมาณก๊าซ ของแข็งแขวนลอย อุณหภูมิ พีเอช (ต่อ)

5) สรุปผลการทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีไอดี 2,000 มก/ล

เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ระบบสามารถกำจัดตะกั่วละลายได้ดี มีความเข้มข้นตะกั่วละลายในน้ำทิ้งออกจากระบบคงที่ตลอดการทดลอง ในขณะที่ความเข้มข้นตะกั่วทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงสุดตลอดการทดลอง ปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวัน เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันและของแข็งแขวนลอยมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับภาระตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียภายในระบบทำงานเป็นปกติไม่ได้รับผลกระทบจากการรับภาระตะกั่ว พารามิเตอร์ที่สำคัญในน้ำทิ้งออกจากระบบมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้นความเข้มข้นตะกั่วในน้ำทิ้ง

5.2.2 การทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีไอดี 4,000 มก/ล

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้เดินระบบชุดควบคุมที่รับน้ำเสียปราศจากตะกั่วความเข้มข้นซีไอดี 4,000 มก/ล จึงแสดงค่าพารามิเตอร์ในภาวะคงตัวก่อนป้อนสารตะกั่วเพื่อใช้เปรียบเทียบ

5.2.2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของระบบ

พิจารณาตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วละลายเท่ากับ 0.43 และ 0.36 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่างกันเพียง 0.07 มก/ล ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วละลายมีค่าเฉลี่ยสูงสุดตลอดการทดลองแม้จะเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้าสูงถึง 10 มก/ล โดยมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 91.3 และ 96.08 ที่ความเข้มข้นตะกั่วเข้าเท่ากับ 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเข้าที่มีค่าสูงขึ้น 5 มก/ล เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออกที่ลดลงต่างกันเพียง 0.07 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่วสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นตะกั่วทั้งหมดในน้ำออกจากระบบพบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่วสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 0.57 และ 0.82 มก/ล เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 89.0 และ 92.2 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียได้ถึง 10 มก/ล โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วของระบบเลย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบสามารถกำจัดตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะเพิ่มความเข้มข้นตะกั่วในน้ำเสียสูงถึง 10 มก/ล ระบบก็ยังคงสามารถกำจัดตะกั่วให้เหลือในน้ำออกจากระบบต่ำ

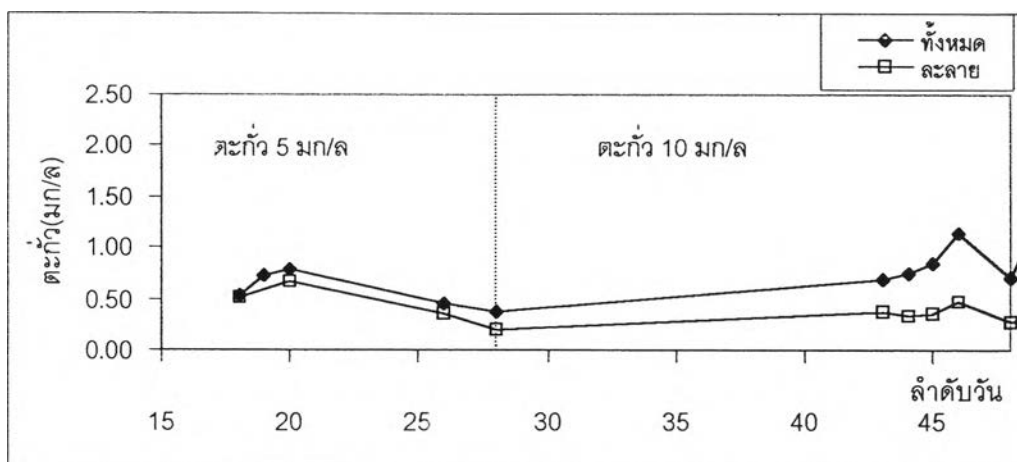
ตารางที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีไอดี 4,000 มก/ล

พารามิเตอร์	ก่อนเติมตะกั่ว	หลังเติมตะกั่ว ณ ความเข้มข้น	
		5 มก/ล	10 มก/ล
พีเอช (pH)	7.52	7.46	7.65
อุณหภูมิ (°C)	27.1	28.5	29.5
ตะกั่วน้ำเข้า (มก/ล)	ทั้งหมด	-	5.21
	ละลาย	-	4.95
ตะกั่วน้ำออก (มก/ล)	ทั้งหมด	-	0.57
	ละลาย	-	0.43
การกำจัดตะกั่ว (%)	ทั้งหมด	-	89.00
	ละลาย	-	91.34
ซีไอดีน้ำเข้า (มก/ล)	3,814	3,973	4,024
ซีไอดีน้ำออก* (มก/ล)	ทั้งหมด	-	777
	ละลาย	611.71	735
การกำจัดซีไอดี ** (%)	83.96	81.49	92.17
ซัลเฟตเข้า (มก/ล)	134.2	139.1	132.2
ซัลเฟตออก (มก/ล)	7.15	6.75	7.33
ซัลเฟตรีดักชัน (%)	94.67	95.15	94.46
ซัลไฟด์ในน้ำออก (มก/ล)	42.37	42.81	39.76
ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	8.83	8.53	9.79
ของแข็งแขวนลอย(มก/ล)	46.5	55	57

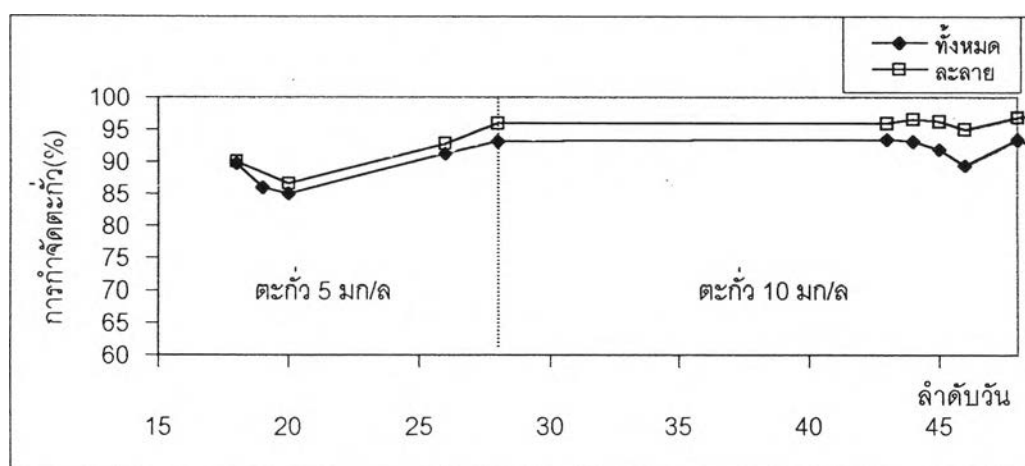
กว่า 0.48 มก/ล ได้ แต่ทั้งความเข้มข้นตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดในน้ำออกที่ผ่านการบำบัดในการทดลองนี้ ยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนดไว้ 0.2 มก/ล

* กำจัดซัลไฟด์ก่อนวิเคราะห์ค่าซีไอดี

**ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีที่กำจัดซัลไฟด์ในน้ำออกแล้ว



(ก) ตะกั่วในน้ำออก



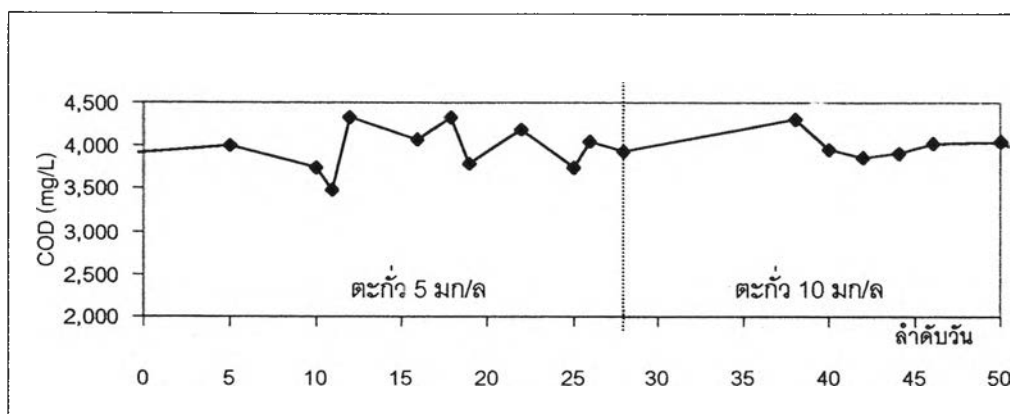
(ข) ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

รูปที่ 5.11 ตะกั่วและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

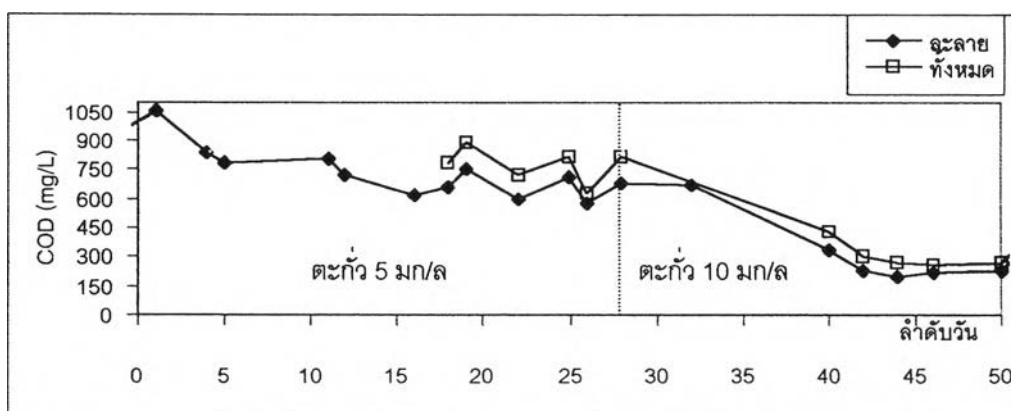
5.2.2.2 สมรรถนะของระบบเมื่อมีการเติมตะกั่วความเข้มข้นต่างๆ

1) ซีโอดีน้ำออก และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

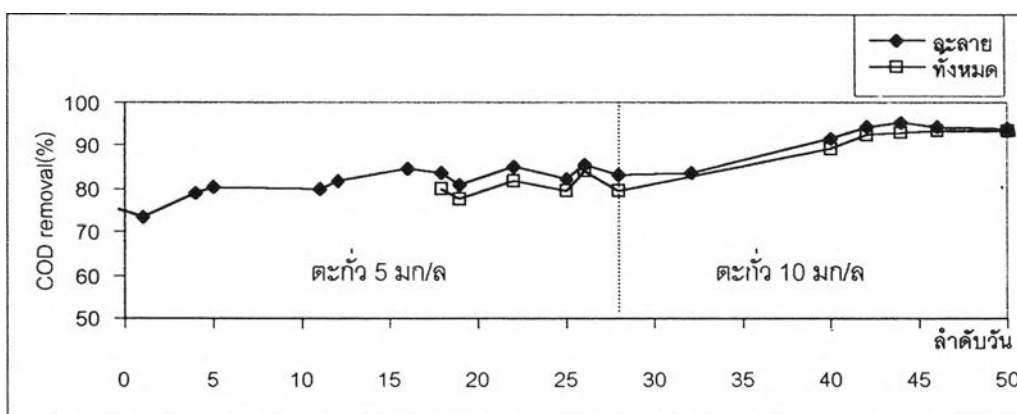
พิจารณาตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.12 ซีโอดีละลายในน้ำออกมีค่าเฉลี่ย 735 และ 314 มก/ล คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีร้อยละ 81.5 และ 92.2 เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบขังตั้งแต่ช่วงแรกที่ป้อนตะกั่วเข้มข้น 5 มก/ล สังเกตได้จากการที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยต่ำกว่าช่วงที่ระบบรับน้ำเสียปราศจากตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าระบบที่รับภาระสารอินทรีย์สูงมีความทนทานต่อความเป็นพิษที่เข้าสู่ระบบอย่างกะทันหัน.



(ก) ซีโอดีน้ำเสียเข้า



(ข) ซีโอดีน้ำออก



(ค) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

รูปที่ 5.12 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การที่ระบบสามารถมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงกว่าในช่วงที่รับน้ำเสียปราศจากตะกั่วได้ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนซึ่งได้ข้อสรุปจากการทดลองบ่อน้ำเสียปราศจากตะกั่วว่าเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในการกำจัดซีโอดีออกจากน้ำเสียในขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนนั้นไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของสารตะกั่วอีกภายหลังจากการปรับตัวรับภาระสารตะกั่วแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวันมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสรุปได้อีกว่าตะกั่วซัลไฟด์ (PbS) ที่ตกผลึกออกจากวัฏภาคน้ำไม่เป็นพิษต่อแบคทีเรียในระบบ โดย Bhattacharya และคณะ (1995) อ้างถึงใน Bayoumy (1999) กล่าวว่าโลหะหนักในรูปไอออนอิสระเป็นพิษต่อแบคทีเรียมากที่สุดเพราะสามารถถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้

กล่าวได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงแม้ต้องรับน้ำเสียที่มีตะกั่วสูง 10 มก/ล โดยไม่เกิดผลกระทบใดหลังจากที่ปรับตัวรับภาระสารตะกั่วแล้ว

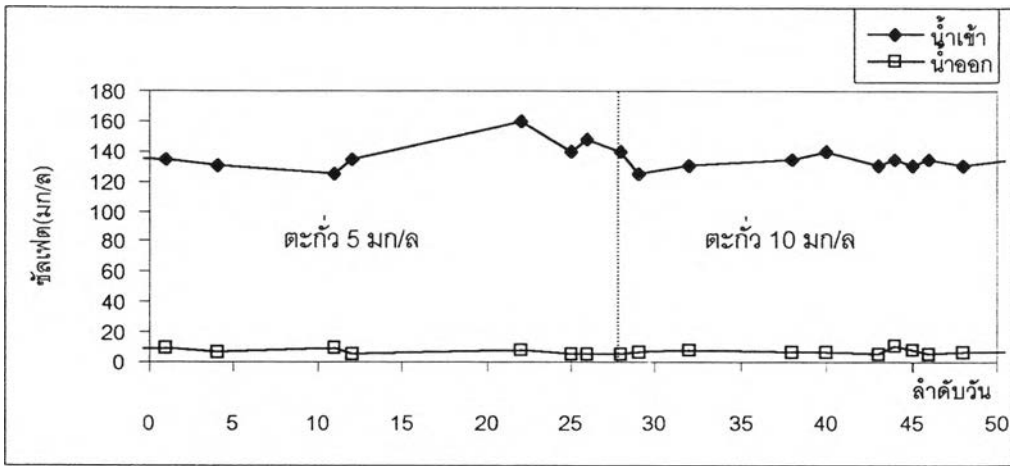
2) เปอร์เซนต์ซัลเฟตรีดักชันและซัลไฟด์ในระบบ

พิจารณาตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.13 (ข) พบว่าแม้ระบบจะต้องรับภาระสารตะกั่วที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มก/ล ระบบยังมีเปอร์เซนต์ซัลเฟตรีดักชันเป็นร้อยละ 95.2 และ 94.5 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตยังทำงานได้เป็นปกติ ไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของสารตะกั่ว

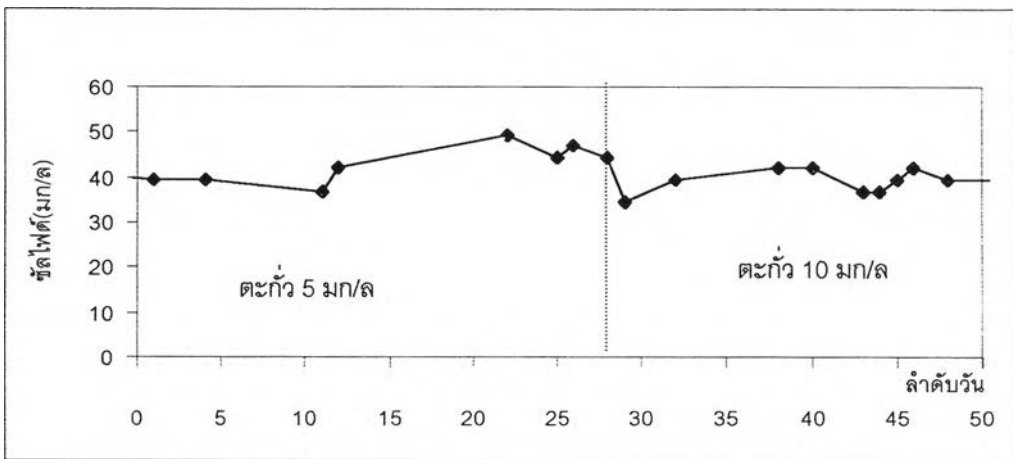
การที่เปอร์เซนต์ซัลเฟตรีดักชันมีค่าสูงในช่วงร้อยละ 94 ถึง 95 ก็ด้วยเหตุผลเดียวกับการทดลองที่ 1 คือ ปริมาณซัลเฟตที่เติมให้ระบบอยู่ในขั้นถูกจำกัดรุนแรงสำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่จะดำรงอยู่ในสภาวะที่มีซีโอดีสูงขึ้นสองเท่าในขณะที่ซัลเฟตมีปริมาณเท่าเดิม แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจึงใช้ซัลเฟตอย่างมีประสิทธิภาพ

3) ของแข็งแขวนลอย

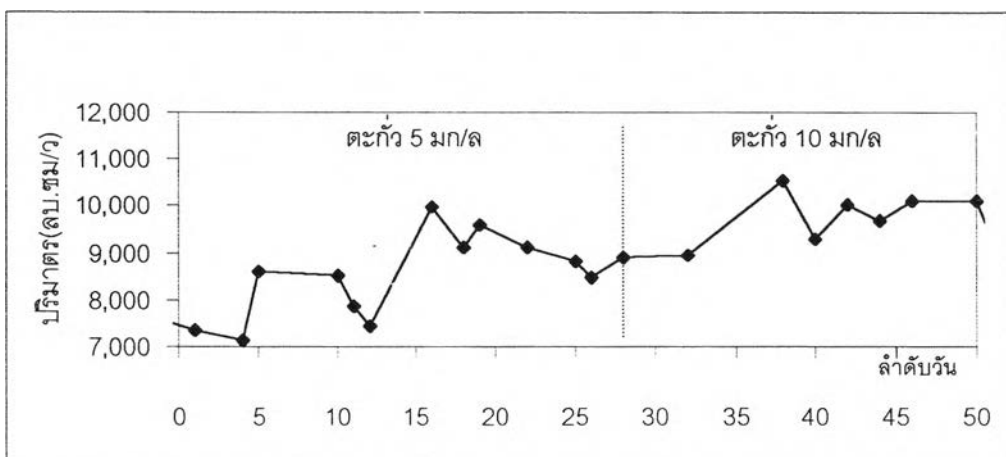
พิจารณาตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.13 (ง) ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกของช่วงการทดลองที่ 2 มีแนวโน้มสูงขึ้นกว่าช่วงที่ไม่ได้รับภาระสารตะกั่ว คือมีค่าเท่ากับ 55 และ 57 มก/ล สูงกว่าช่วงที่ไม่ได้รับภาระสารตะกั่ว 8.5 และ 10.5 มก/ล เมื่อบ่อน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการบ่อน้ำเสียความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลทำให้เซลล์แบคทีเรียหลุดออกจากระบบในรูปของแข็งแขวนลอยมากขึ้นเป็นลำดับ แต่การที่แบคทีเรียหลุดออกจากระบบมากขึ้นเพียง 8.5 ถึง 10.5 มก/ล จึงไม่ทำให้จำนวนแบคทีเรียในระบบลดลงจนทำให้เห็นผลต่างของประสิทธิภาพ



(ก) ชัลเฟต

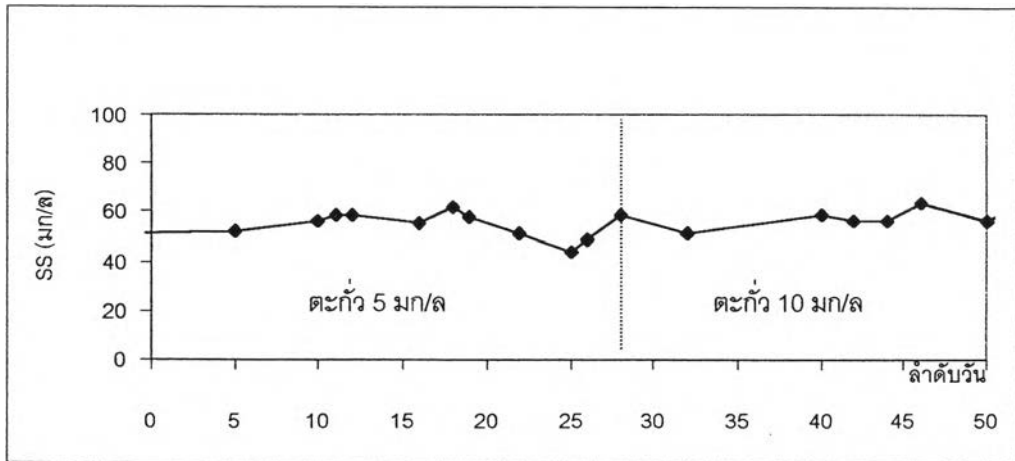


(ข) ชัลไฟต์น้ำออก

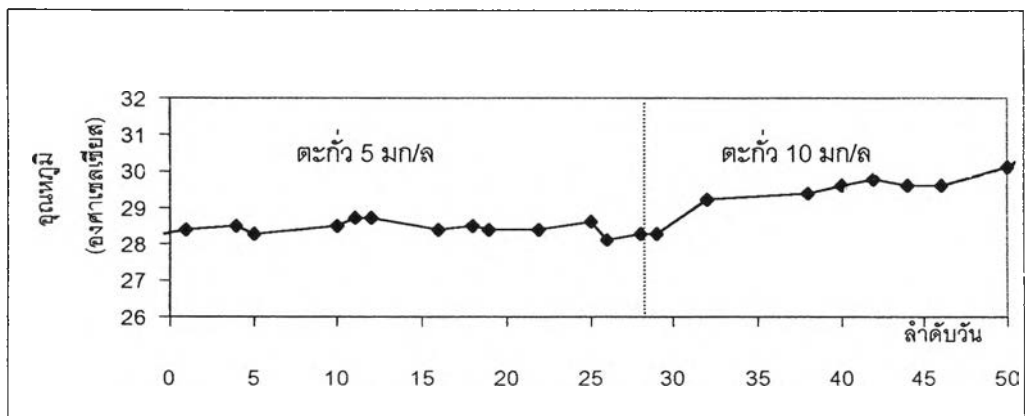


(ค) ปริมาณก๊าซ

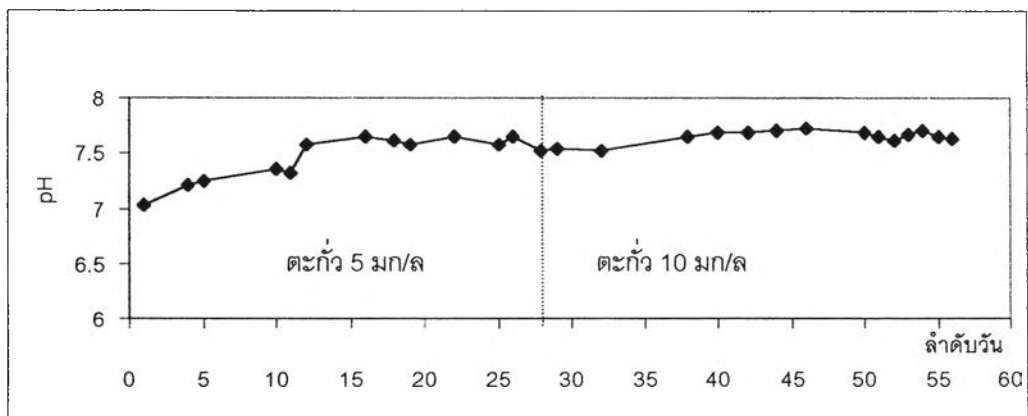
รูปที่ 5.13 ชัลเฟต ชัลไฟต์ ปริมาณก๊าซ ของถังแขวนลอย อุณหภูมิ พีเอช.



(ง) ของแข็งแขวนลอย



(จ) อุณหภูมิ



(ฉ) พีเอช

รูปที่ 5.13 ซัลเฟต ซัลไฟด์ ปริมาณก๊าซ ของแข็งแขวนลอย อุณหภูมิ พีเอช (ต่อ)

การกำจัดซีโอดีชัดเจน เพราะยังมีการเพิ่มจำนวนเซลล์แบคทีเรียจากยิลย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมาตลอดด้วย

4) ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวัน

ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตต่อวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.53 และ 9.79 ลิตร/วัน เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ทั้งนี้ก็สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สูงขึ้น สามารถกำจัดมวลซีโอดีได้มากกว่า จึงทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ผลิตได้ต่อวันมีค่าสูงตามไปด้วย แสดงว่าเมื่อระบบปรับตัวเข้ากับภาระสารตะกั่วแล้วแบคทีเรียผลิตมีเทนสามารถทำงานเป็นปกติโดยไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของตะกั่วอีกแม้ว่าจะป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่วเข้มข้นสูงถึง 10 มก/ล

แม้ว่าจะไม่ได้ตรวจสอบสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซที่ผลิตจากระบบ แต่การที่ปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวันสูงขึ้นตามซีโอดีที่ถูกกำจัด แสดงให้เห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซไม่ได้ลดลง ดังนั้นปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวันจึงสามารถใช้เป็นสัญญาณในการสังเกตความมีเสถียรภาพของระบบได้

5) สรุปผลการทดลองป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 4,000 มก/ล

เมื่อป้อนน้ำเสียที่มีความเข้มข้นตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล ระบบสามารถกำจัดตะกั่วละลายได้ดีมีความเข้มข้นตะกั่วละลายในน้ำที่ออกจากระบบต่ำกว่า 0.43 มก/ล ได้ เมื่อเริ่มป้อนตะกั่วที่มีความเข้มข้น 5 มก/ล ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีต่ำ แต่สามารถปรับตัวมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงภายหลัง แต่ซีโอดีในน้ำออกยังคงมีค่าสูงกว่าค่ากำหนดในมาตรฐานน้ำทิ้งเช่นเดียวกับช่วงก่อนรับภาระสารตะกั่ว ปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวัน เปอร์เซ็นต์ซิลเฟตรีดักชันสูงกว่าช่วงก่อนรับภาระสารตะกั่วแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียภายในระบบทำงานได้เป็นปกติไม่ได้รับผลกระทบจากพิษของสารตะกั่วอีกหลังจากที่ได้ปรับตัวแล้ว การป้อนตะกั่วความเข้มข้นสูงส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยและความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออกมีค่าสูงจนไม่สามารถผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งได้

5.2.3 สรุปสมรรถนะของระบบดักกรองไร้อากาศเมื่อถูกปนด้วยน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของทุกดักปฏิกรณ์ร่วมกันตามตารางที่ 5.9 สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบดักกรองไร้อากาศเมื่อถูกปนด้วยน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว ดังนี้

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบลักษณะน้ำทิ้งจากระบบที่ปนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 และ 4,000 มก/ล

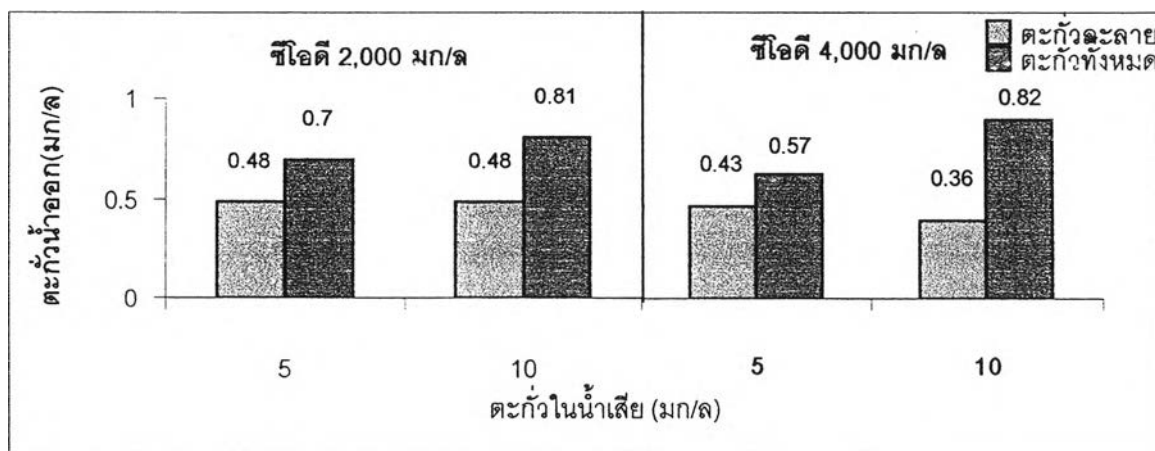
พารามิเตอร์	ชุดควบคุม	ซีโอดี 2,000 มก/ล		ซีโอดี 4,000 มก/ล	
		5 มก/ล	10 มก/ล	5 มก/ล	10 มก/ล
พีเอชน้ำออก	7.10	7.52	7.49	7.46	7.65
อุณหภูมิน้ำออก	29.2	28.4	29.6	28.5	29.5
ตะกั่วน้ำเข้า (มก/ล) ทั้งหมด	-	5.68	9.79	5.21	10.57
	ละลาย	-	4.77	8.82	4.95
ตะกั่วน้ำออก (มก/ล) ทั้งหมด	-	0.70	0.81	0.57	0.82
	ละลาย	-	0.48	0.48	0.43
การกำจัดตะกั่ว (%) ทั้งหมด	-	87.61	91.77	89.00	92.20
	ละลาย	-	89.86	96.25	91.34
ซีโอดีน้ำเข้า (มก/ล) ทั้งหมด	2,043	2,149	2,076	3,973	4,024
ซีโอดีน้ำออก* (มก/ล) ทั้งหมด	53.06	70.31	56.71	777	314.7
	ละลาย	26.14	51.76	29.34	735
การกำจัดซีโอดี ** (%)	98.72	97.59	98.59	81.49	92.32
ซัลเฟตเข้า (มก/ล)	135.2	136.25	136.67	139.1	132.2
ซัลเฟตออก (มก/ล)	31.8	34.13	31.11	6.75	7.33
ซัลเฟตรีดักชัน (%)	76.48	74.83	77.24	95.15	94.46
ซัลไฟด์ในน้ำออก (มก/ล)	34.33	32.61	33.09	42.81	39.76
ปริมาตรก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	5.35	5.29	5.28	8.53	9.79
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)	22.65	33	25.3	55	57

*กำจัดซัลไฟด์ก่อนวิเคราะห์ค่าซีโอดี

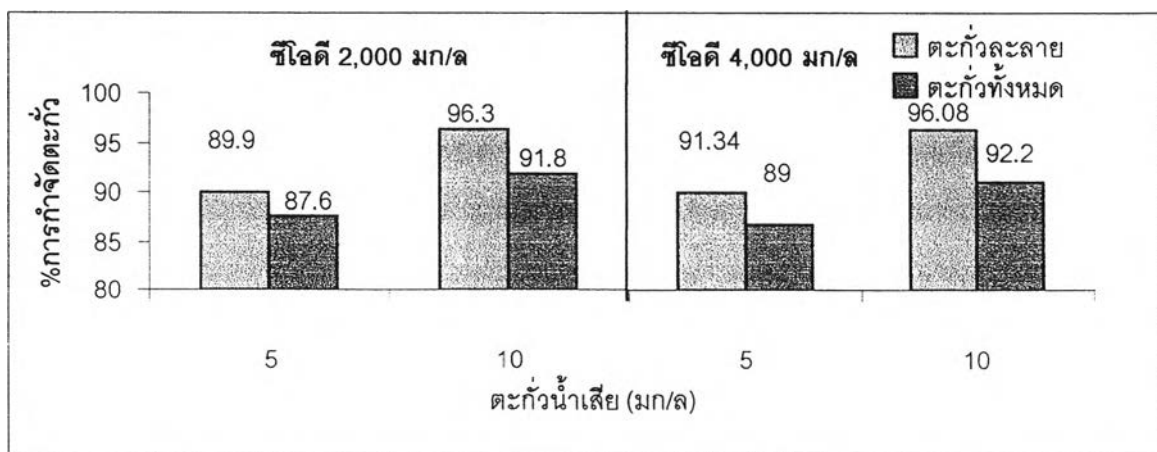
**ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่กำจัดซัลไฟด์แล้ว

5.2.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว

พิจารณารูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 จะเห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วละลายได้สูงถึงร้อยละ 96 และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 อีกทั้งยังมีตะกั่วละลายในน้ำออกต่ำกว่า 0.48 มก/ล ได้แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรับน้ำเสียที่มีตะกั่วความเข้มข้นสูงถึง 10 มก/ล ได้โดยไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วละลาย และระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วทั้งหมดสูงถึงร้อยละ 92 ความเข้มข้นตะกั่วทั้งหมดในน้ำออกมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อตะกั่วในน้ำเสียสูงขึ้นเหมือนกันทั้ง 2 ค่าซีโอติ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระบบถังกรองไร้อากาศมีความเหมาะสมในการใช้กำจัดตะกั่วในน้ำเสียที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มก/ล ได้



รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบตะกั่วในน้ำออกเมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่ว

เนื่องจากถังกรองใรร้ออากาศไม่สามารถบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วให้มีค่าความเข้มข้นตะกั่วในน้ำออกให้ต่ำกว่า 0.2 มก/ล ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ ระบบถังกรองใรร้ออากาศจึงเหมาะที่จะใช้ขั้นตอนทำให้ข้น (Concentrated Process) เพราะระบบสามารถย้ายมวลตะกั่วที่ละลายอยู่ในน้ำเสียปริมาตรสูงให้สะสมภายในระบบที่มีปริมาตรต่ำกว่ามากได้

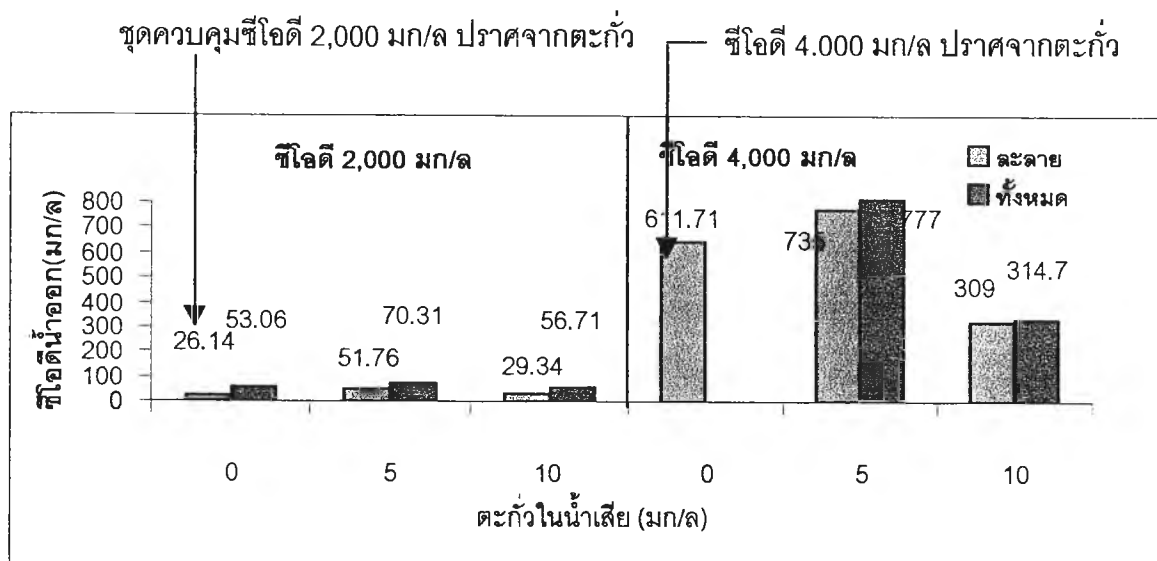
งานวิจัยของ Wijaya (1993) อ้างถึงใน Bayoumy (1999) ใช้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในถังปฏิกรณ์แบบใรร้อซิเจน (ไม่ทราบความเข้มข้นซัลไฟด์ในระบบ) กำจัดตะกั่วความเข้มข้น 18 มก/ล ได้มากกว่าร้อยละ 90 แต่ไม่ได้ระบุว่ากำจัดได้ถึงร้อยละ 100 หรือไม่ ในขณะที่งานวิจัยของ Bayoumy (1999) ระบุว่าการใช้ถังกรองใรร้ออากาศที่มีแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสามารถกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 40 มก/ล ได้ถึงร้อยละ 100 ซึ่งมากกว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วในงานวิจัยของผู้เขียน ทั้งนี้หากพิจารณาอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตที่ Bayoumy (1999) เลือกใช้คือระหว่าง 1.5 ถึง 2.25 คู่กับภาวะสารอินทรีย์สูงถึง 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน แสดงให้เห็นว่ามีการเติมซัลเฟตในปริมาณสูงมากและพบในรายงานผลการทดลองว่ามีซัลไฟด์ละลายในน้ำออกสูงถึง 120 มก/ล หรือ 3-4 เท่าของงานวิจัยของผู้เขียน

5.2.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

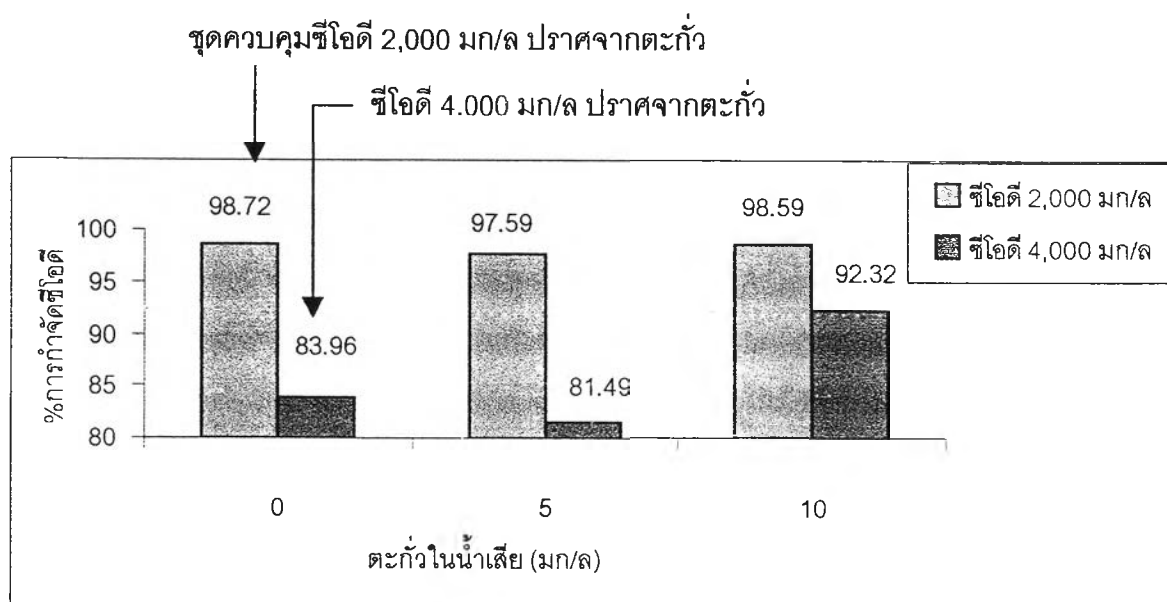
พิจารณารูปที่ 5.16 และ 5.17 จะเห็นว่าเมื่อป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก/ล ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงไม่น้อยกว่าร้อยละ 97 มก/ล แสดงให้เห็นว่าการป้อนตะกั่วความเข้มข้นสูงถึง 10 มก/ล ไม่มีกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี แต่เมื่อป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก/ล พบว่าเกิดผลกระทบกับระบบในช่วงที่ป้อนน้ำเสียที่มีตะกั่ว 5 มก/ล แต่ระบบสามารถปรับตัวจนกระทั่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงได้ แสดงให้เห็นว่าการป้อนตะกั่วให้กับระบบจะเกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น และหลังจากระบบปรับตัวแล้วการป้อนตะกั่วเข้มข้นสูงถึง 10 มก/ล ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการป้อนน้ำเสียปนเปื้อนสารตะกั่วสูงถึง 10 มก/ล ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีหลังจากที่ระบบปรับตัวกับสารตะกั่วแล้ว

เมื่อป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก/ล สารตะกั่วส่งผลให้ปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อวันลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและยังมีค่าคงที่แม้จะรับความเข้มข้นตะกั่วเพิ่มขึ้นจนถึง 10 มก/ล และเมื่อป้อนน้ำเสียซีโอดี 4,000 มก/ล ระบบมีปริมาณก๊าซลดลงในช่วงที่ป้อนตะกั่ว 5 มก/ล สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ลดลงในช่วงเดียวกันเนื่องจากระบบได้รับผลกระทบจากพิษสารตะกั่วและต้องการระยะเวลาปรับตัว หลังจากนั้นระบบกลับมีปริมาณก๊าซสูงขึ้นสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน

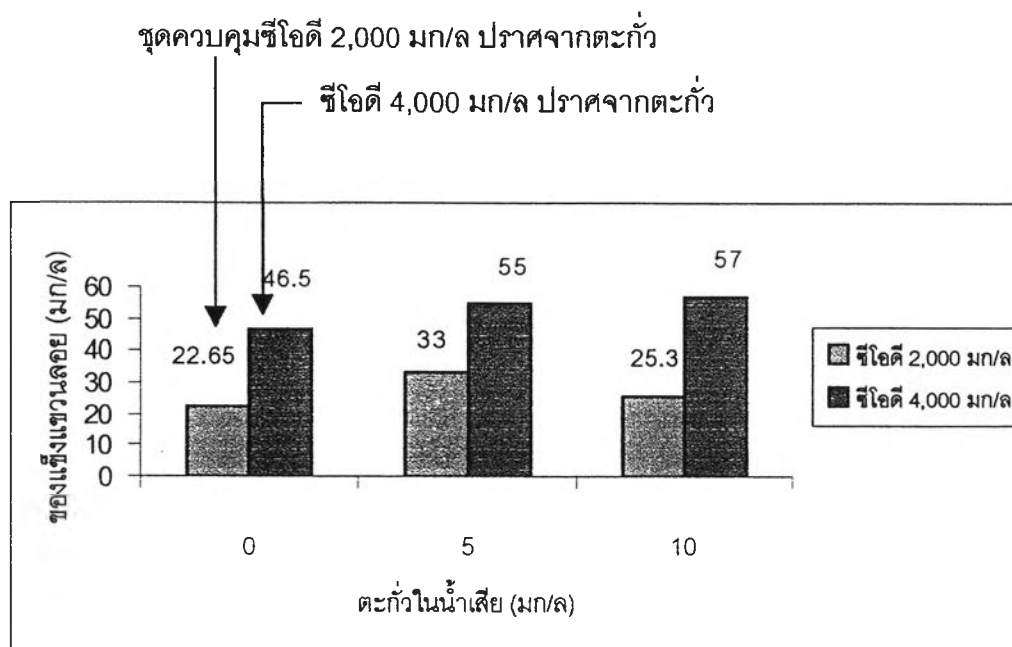


รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบซีไอดีน้ำออก



รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

5.2.3.3 ของแข็งแขวนลอย



รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอย

พิจารณารูปที่ 5.18 จะเห็นว่าเมื่อป้อนน้ำเสียซีไอดี 2,000 มก/ล การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นตะกั่วสูงถึง 10 มก/ล ระบบก็สามารถปรับตัวได้ สังเกตได้จากของแข็งแขวนลอยที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกหลังป้อนตะกั่วแล้วมีค่าลดลงในภายหลัง แต่เมื่อป้อนน้ำเสียซีไอดี 4,000 มก/ล มีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกสูงขึ้นเมื่อป้อนตะกั่วเข้าระบบมากขึ้น โดยระบบไม่สามารถปรับตัวให้มีค่าของแข็งแขวนลอยต่ำลงได้อีก จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นตะกั่วที่เพิ่มขึ้นจนถึง 10 มก/ล ไม่มีผลต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบที่รับภาระสารอินทรีย์ต่ำเพราะระบบสามารถปรับตัวได้ แต่มีผลต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกจากระบบที่รับภาระสารอินทรีย์สูง

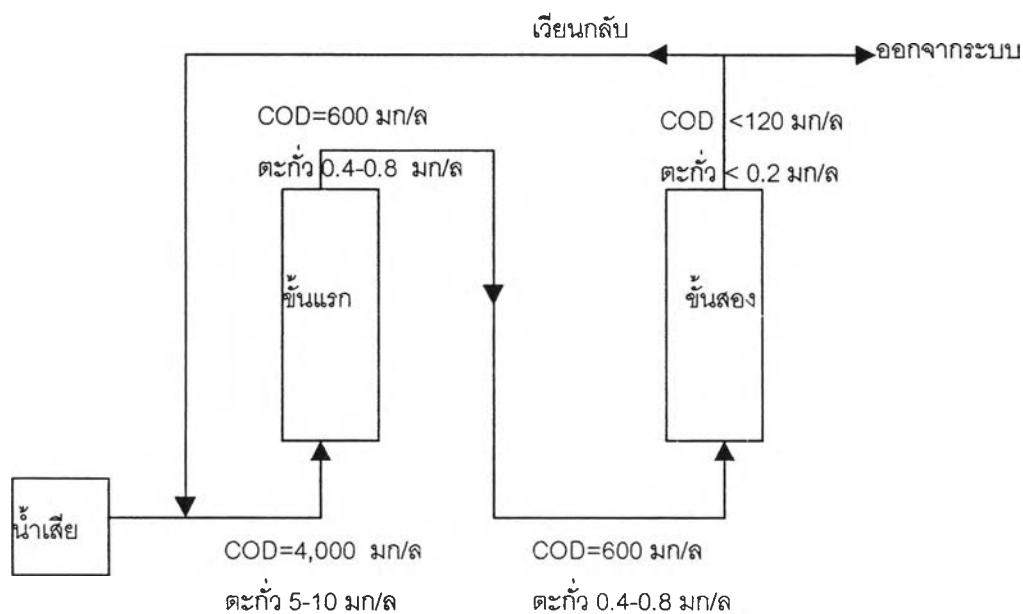
5.3 การปรับใช้ผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองผลของความเข้มข้นตะกั่วต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และตะกั่วของระบบ จะพบว่าเมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 2,000 มก/ล ที่ความเข้มข้นตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล มีเพียงความเข้มข้นตะกั่วและความเข้มข้นซิลไฟด์ในน้ำออกเท่านั้นที่ไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง (ตารางที่ 5.10) ในขณะที่เมื่อป้อนน้ำเสียปนเปื้อนตะกั่วซีโอดี 4,000 มก/ล ที่ความเข้มข้นตะกั่ว 5 และ 10 มก/ล น้ำออกไม่ผ่านมาตรฐาน ทั้งค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ความเข้มข้นตะกั่ว และความเข้มข้นซิลไฟด์ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการระดับจุลโครสในน้ำอ้อยด้วยระบบถังกรองไร้อากาศจึงมีทางเลือกในการบำบัดโดยใช้ระบบถังกรองไร้อากาศแบบ 2 ชั้น (Two-Stage Anaerobic Filter) ซึ่งมีหลักการทำงานดังรูปที่ 5.19 โดยเจือจางน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 1 ให้มีความเข้มข้น 4,000 มก/ล เพื่อให้มีซีโอดีในน้ำออกที่เพียงพอให้แบคทีเรียในถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 2 นำไปใช้ในการดำรงชีพได้ ซึ่งก็จะเป็นข้อดีที่สามารถใช้อัตราการเวียนน้ำทิ้งกลับไปเจือจางน้ำเสียน้อยลงกว่าการป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก/ล น้ำทิ้งที่ออกจากถังปฏิกรณ์ในขั้นที่ 1 จะผ่านสู่ถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 2 โดยการเพิ่มถังกรองไร้อากาศในขั้นที่ 2 นอกจากจะเป็นการเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างซิลไฟด์กับตะกั่วแล้ว ตะกั่วบางส่วนก็จะถูกดูดซับ (absorb) และดูดติดผิว (adsorb) กับมวลแบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์ อีกทั้งของแข็งแขวนลอยที่ออกมาจากถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 1 ก็จะถูกกักไว้ในถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 2 เนื่องจากถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 2 รับน้ำเสียซีโอดีต่ำกว่า 2,000 มก/ล จึงคาดว่าจะมีของแข็งแขวนลอยในน้ำออกต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งได้เช่นเดียวกับการป้อนน้ำเสียซีโอดี 2,000 มก/ล ในงานวิจัยนี้ ทั้งหมดนี้จะเป็นผลให้ตะกั่วละลายและตะกั่วทั้งหมดในน้ำออกจากระบบลดต่ำลงได้อีกชั้น และควรนำน้ำทิ้งออกจากถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 2 เวียนกลับไปใช้ประโยชน์ในการเจือจางน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ขั้นที่ 1 แล้วส่วนที่เหลือจึงทิ้งลงยังระบบบำบัดน้ำเสียหลักที่บำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิต

ตารางที่ 5.10 เปรียบเทียบพารามิเตอร์ในน้ำทิ้งกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ซีโอดี 2,000 มก/ล ปนเปื้อน ตะกั่วด้วยความเข้มข้น		ซีโอดี 4,000 มก/ล ปนเปื้อน ตะกั่วด้วยความเข้มข้น		มาตรฐาน*
	5.68 มก/ล	9.79 มก/ล	5.21 มก/ล	10.57 มก/ล	
พีเอช	7.52	7.49	7.46	7.65	5.5-9.0
อุณหภูมิ (°C)	28.4	29.6	28.5	29.5	ไม่เกิน 40
ตะกั่วทั้งหมด (มก/ล)	0.70	0.81	0.57	0.82	ไม่เกิน 0.2
ซีโอดี (มก/ล)	70.31	56.71	777	314.7	ไม่เกิน 120
ของแข็งแขวนลอย (มก/ล)	33	25.3	55	57	ไม่เกิน 50
ซัลไฟด์ (มก/ล)	32.61	33.09	42.81	39.76	ไม่เกิน 1.0

*ที่มา:มาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ค)



รูปที่ 5.19 แผนผังการทำงานของระบบถังกรองไร้อากาศแบบสองขั้น

สำหรับความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกสามารถกำจัดได้ด้วยการทิ้งให้ระเหย หรือ กระบวนการ Air stripping หรือ กระบวนการ Deaeration ก็เพียงพอ (Hall,1992) แต่อาจปรับพีเอชให้ต่ำกว่า 2.0 ร่วมด้วยก็ได้หากจำเป็น ทั้งนี้หากพิจารณาค่าความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกที่ปลายสาย

ยวงนำน้ำที่บำบัดแล้วออกจากถังปฏิกรณ์ลงสู่ถังรวบรวมน้ำออก พบว่ามีค่าต่ำกว่าความเข้มข้น
ซัลไฟต์ในระบบมาก ซึ่งได้กล่าวไปแล้วว่าอาจเกิดการสูญหายของซัลไฟต์ในขณะที่น้ำออกไหลผ่าน
สายยาง เพราะลักษณะของน้ำที่ไหลผ่านสายยางเป็นแบบไหลไม่เต็มสาย นี่แสดงให้เห็นว่าการ
กำจัดซัลไฟต์ออกจากน้ำทิ้งกระทำได้ง่ายด้วยการปล่อยให้สัมผัสอากาศ ดังนั้นในทางปฏิบัติอาจ
กักน้ำออกไว้ในที่ถึงเปิดเพื่อให้ค่อยๆระเหยสู่บรรยากาศ ซึ่งหากต้องการกำจัดซัลไฟต์ให้มี
ประสิทธิภาพและรวดเร็วกว่านี้ก็อาจเพิ่มเติมกระบวนการดีแอเรชันด้วยการเป่าอากาศเป็นทาง
เลือกซึ่งต่อเติมและก่อสร้างได้ง่ายในภายหลัง