

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัย ได้เริ่มเดินระบบและเลี้ยงเชื้อ เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2541 โดยเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ใช้เป็นเชื้อตะกอนแบคทีเรียจากงานวิจัยของ โสภา จีนเวชกิจวานิชย์(2540) และเชื้อแบคทีเรียจากบริษัท แชน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียรส์ จำกัด ซึ่งเป็นเชื้อที่มีความคุ้นเคยกับความเข้มข้นซัลเฟตสูงกว่าปกติมาบ้างแล้ว โดยเชื้อทั้งสองแหล่ง เป็นเชื้อแบคทีเรียไร้อากาศที่มีลักษณะจับตัวเป็นเม็ด (granular sludge) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1-3 มม. การเดินระบบ กำหนดอัตราไหลน้ำเสียตั้งคราะห้ป้อนเข้าระบบเท่ากับ 8 ลิตร/ วัน ซึ่งได้เวลากักน้ำในถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 9 ชม. ในระหว่างการดำเนินการวิจัยมีปัญหาและอุปสรรคที่ทำให้เกิดความล่าช้า ดังนี้ คือ

- ปัญหาทางเทคนิคในการวิเคราะห์ซัลเฟต และซัลไฟด์ อุปสรรคที่สำคัญในช่วงแรกของการเริ่มเก็บข้อมูลคือ ปัญหาทางเทคนิคในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญของงานวิจัยคือ ซัลเฟต และซัลไฟด์ เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่มีรายละเอียดปลีกย่อยในขั้นตอนการวิเคราะห์ที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากที่ระบุไว้ในหนังสือคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียโดยทั่วไป นอกจากนั้นยังเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ได้รับความสนใจในงานวิจัยอื่นๆ ทำให้การแก้ปัญหาที่พบในขั้นตอนการวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังกล่าว เกิดจากการลองผิดลองถูกของผู้ทำการวิจัยโดยตรง ทำให้ต้องเสียเวลาประมาณ 3 เดือน ก่อนที่จะสรุปและกำหนดแนวทางแก้ปัญหาได้ โดยระหว่างนั้นยังคงป้อนน้ำเสียให้กับระบบอย่างสม่ำเสมอ และได้เริ่มการเก็บข้อมูลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำตั้งแต่วันที่ 7 มิถุนายน 2541 อย่างไรก็ตาม หลังจากนั้นกลับเกิดปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนแบคทีเรียอย่างไม่ทราบสาเหตุ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญทำให้เสียเวลารวมทั้งส่งผลให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดของแผนทดลองเดิมในเวลาต่อมา

- ปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนสลัดจ์และการลดความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟตในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ตามขอบเขตของการวางแผนการทดลองเดิมเบื้องต้น ได้ออกแบบให้มีการทดลองเพียง 6 การทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ตามอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตเท่ากับ 0.4 และ 4 แต่ละชุดการทดลองจะแปรค่าความเข้มข้นซีโอไซด์ 3 ค่า คือ 800, 1200 และ 1600 มก./ล. และแปรค่าความเข้มข้นซัลเฟตตามอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต โดยความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 200, 300 และ 400 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 และความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 2000, 3000 และ 4000 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 0.4 โดยในการเริ่มเดินระบบและเลี้ยงเชื้อตั้งแต่ เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2541 นั้น ได้เริ่มทดลองที่ อัตรา

ส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 มาอย่างต่อเนื่อง สำหรับลักษณะปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนแบคทีเรียที่เรี่ยนั้นพบว่า ชั้นของสัดจ์ภายในถังปฏิกรณ์จับตัวกันมีลักษณะเหนียวและแน่น ทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถูกดักไว้ในชั้นสัดจ์ไม่สามารถหลุดออกไปได้ จนเกิดการสะสมของก๊าซภายในชั้นสัดจ์ เป็นผลทำให้เกิดการยกตัวของชั้นสัดจ์ทั้งหมดลอยขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์และล้นออกภายนอกถังปฏิกรณ์ด้านบน โดยเฉพาะในชุดการทดลองที่มีค่าความเข้มข้นซัลเฟตสูง (ซีไอดี 1600 มก./ล. และ ซัลเฟต 400 มก./ล.) ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานว่าเกิดจากการที่แบคทีเรียต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่มีเข้มข้นซัลเฟตสูงกว่าปกติ จึงแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติหรือยังไม่คุ้นเคยด้วยการปล่อยสาร extra cellular polymer ออกมาภายนอกเซลล์มากกว่าปกติ จึงทำให้ชั้นของสัดจ์ภายในถังปฏิกรณ์เหนียวและจับตัวกันแน่น ประกอบกับขนาดของถังปฏิกรณ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 2" ทำให้ผลของ wall effect มีนัยสำคัญมากขึ้นอย่างมาก โดยคาดว่าถ้าเป็นถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ระดับของปัญหาจะมีความรุนแรงน้อยกว่า และได้ทำการแก้ปัญหาในเบื้องต้น ด้วยการติดตั้งชุดใบกวนตลอดความลึกของถังปฏิกรณ์ ซึ่งขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ติดตั้งภายนอกคอกถัมน์โดยอาศัยแรงแม่เหล็กเป็นแรงขับเคลื่อนใบกวนให้หมุนตามการหมุนของมอเตอร์ ซึ่งก็สามารถลดปัญหาได้ในช่วงแรก

อย่างไรก็ตามในภายหลังถึงแม้จะมีการติดตั้งชุดใบกวนแล้วก็ตาม ก็ยังพบปัญหาการยกตัวของชั้นสัดจ์เช่นเดิมจึงขออนุญาตอาจารย์ที่ปรึกษาเปลี่ยนรายละเอียดของแผนการทดลองเดิมในชุดการทดลองที่มีปัญหา คือชุดที่มีค่าความเข้มข้นซีไอดี 1600 มก./ล. และ ซัลเฟต 400 มก./ล. โดยทำการลดความเข้มข้นซีไอดีเหลือ 400 มก./ล. และ ซัลเฟตเหลือ 100 มก./ล.ตามลำดับ สำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นซีไอดี 400 มก./ล.และซัลเฟต 1000 มก./ล. สำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 0.4 ซึ่งจากผลการลดความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตดังกล่าว ทำให้ไม่พบปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนแบคทีเรียอีก (อาจเป็นเพราะความเข้มข้นซัลเฟตลดลง หรือเพราะแบคทีเรียมีความคุ้นเคยกับภาวะซัลเฟตสูงมาแล้ว) ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยและเก็บผลทดลองได้อย่างต่อเนื่องจนจบชุดการทดลองที่ 1 (อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4) ของแผนการทดลองเดิม โดยผลการวิเคราะห์ในส่วน of ตัวแปรความดันพาร์เซียลก๊าซชีวภาพของผลการทดลองในชุดการทดลองนี้วิเคราะห์โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีเทคนิครายละเอียดขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวัดแสดงในรายงานวิทยานิพนธ์ ของ อรรถฤทธิ์ รื่นเรืองใจ (2541)

- การพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต หลังจากนั้นจึงเริ่มเปลี่ยนสูตรน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเข้าสู่ชุดการทดลองที่ 2 ของแผนการทดลองเดิม ที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 0.4 โดยความเข้มข้นซัลเฟตจะเพิ่มขึ้น 10 เท่าเป็น 1000, 3000 และ 2000 มก./ล. ของคอกถัมน์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นซีไอดีคงเดิม อย่างไรก็ตามไม่ได้มีการเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟตให้เป็นค่าดังกล่าวอย่างทันทีทันใด แต่ทำ

การเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตอย่างค่อยเป็นค่อยไปเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงการทำงานของแบคทีเรีย และพบว่าความสามารถของแบคทีเรียในการใช้ซัลเฟตมีอัตราเพิ่มค่อนข้างช้า โดยต้องใช้เวลาดึง 2 เดือน แต่สามารถเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตได้เป็นเพียง 382, 1039, และ 867 มก./ล. คิดเป็น 38.2 %, 34.6% และ 43.4 % ของเป้าหมาย โดยมีเปอร์เซ็นต์การเกิดซัลเฟตรีดักชันเท่ากับ 60.5 , 66.3 และ 85.9 เปอร์เซ็นต์ ของคอลัมน์ 1,2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราค่อนข้างช้า และพบว่าค่าพีเอช ของน้ำออกมีค่าลดลงจากประมาณ 6.6 เหลือ 6.5 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของทั้งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และแบคทีเรียผลิตมีเทน ยิ่งกว่านั้นเมื่อพิจารณาว่า ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของซัลเฟตอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับที่กำหนด อาจต้องใช้เวลานานมากและมีโอกาสที่ความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดน้ำออกจะมีค่าสูงได้ถึงประมาณ 300 , 900 และ 600 มก./ล. สำหรับคอลัมน์ 1,2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งอาจทำให้เกิดการยับยั้งเนื่องจากพิษของซัลไฟด์ขึ้นได้ จึงขออนุญาตอาจารย์ที่ปรึกษาเปลี่ยนรายละเอียดการทดลองครั้งที่ 2

- แผนการทดลองใหม่ โดยมีการเปลี่ยนแผนการทดลองในชุดที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 0.4 ให้เปลี่ยนเป็น 2 นั่นคืออัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตที่ทำการวิจัยจะเป็น 4 และ 2 และเพิ่มระดับความเข้มข้นซีโอดีอีก 2 ค่าคือ 600 มก./ล. และ 1,000 มก./ล. ในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต โดยมีรายละเอียดตามแผนการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 บทที่ 3 ซึ่งการเปลี่ยนรายละเอียดการทดลองดังกล่าว ถึงแม้จะทำให้สูญเสียโอกาสในการมองภาพกว้างของงานวิจัยในช่วงอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าต่ำ ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าความเข้มข้นซัลเฟตมากเกินพอ สำหรับการใช้เป็นสารรับอิเล็กตรอนของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แต่ก็ทำให้แผนการทดลองใหม่เป็นแผนที่ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของหัวข้อการวิจัยได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากมีจำนวนระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต เป็น 5 ค่า ในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต และได้เริ่มทำการทดลองตามแผนการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ทั้งหมด คือ ทั้งที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 โดยเริ่มที่อัตราส่วน 2 ก่อน (เนื่องจากความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าแต่ละคอลัมน์มีค่าในระดับสูงจากผลของการพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตในช่วงที่จะใช้อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 0.4)

- การเพิ่มค่าสภาพค่า นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงในส่วนของอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต จาก 0.4 เป็น 2 แล้ว ได้ทำการเปลี่ยนแปลงในส่วนของปริมาณค่าที่เดิมในน้ำเสียสังเคราะห์ เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำออกมีค่าต่ำลงเป็น 6.5 ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยได้เพิ่มค่าสภาพค่าจากเดิมซึ่งก่อนการเพิ่มกำหนดอัตราส่วนค่าสภาพค่าในหน่วย มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต ต่อค่าซีโอดีในหน่วย มก./ล. ไว้เท่ากับ 0.5 และได้เปลี่ยนค่าอัตราส่วนดังกล่าวเป็น 0.75 โดยเพิ่มค่าสภาพค่าขึ้นอีก 50 % ซึ่งก็ทำให้พีเอชน้ำออกจากระบบของทั้ง 3 คอลัมน์เพิ่มขึ้นจากประมาณ 6.5 เป็นประมาณ 6.8-6.9 ได้ โดยได้คงอัตราส่วนค่าสภาพค่าทั้งหมดต่อซีโอดี ซึ่งเท่ากับ 0.75 ไว้จนจบการทดลองทั้งหมด

- การเปลี่ยนวิธีวัดสัดส่วนก๊าซชีวภาพ เหตุผลในการเปลี่ยนวิธีการวัดค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากวิธีที่ใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ เนื่องจากเจ้าหน้าที่หลักประจำเครื่อง ก๊าซโครมาโตกราฟต้องลาพักคลอดบุตรและต้องให้เจ้าหน้าที่สำรองซึ่งมีความชำนาญน้อยกว่าทำหน้าที่แทน ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าก๊าซที่ได้มีความแปรปรวนสูง ทำให้ต้องเสียเวลาในการวิเคราะห์ผล และเสียค่าใช้จ่ายไปโดยเปล่าประโยชน์ ยิ่งกว่านั้นคือปัญหาทางด้านเทคนิคซึ่งรายละเอียดขั้นตอนวิธีดังกล่าวถูกตั้งคำถามถึงความน่าเชื่อถือต่อขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและเทคนิควิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง ก๊าซโครมาโตกราฟ เมื่อนำมาแปลงผลเป็นค่าความดันพาร์เซิล ดังนั้นจึงต้องกลับมาวิเคราะห์โดยใช้ เครื่องออร์แกท อย่างไรก็ดีคามก็มีปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ต้องใช้ ทั้งถุงเก็บตัวอย่างและตัวเครื่องออร์แกท จึงต้องทำการประยุกต์ชุดคิก๊าซแบบแทนที่น้ำที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาตรก๊าซชีวภาพมาเป็น อุปกรณ์ร่วมในการหาปริมาตรของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยใช้ หลักการของเครื่องออร์แกทเป็นแนวทางในการประยุกต์ นั่นคือทำให้การเก็บข้อมูลของชุดการทดลองที่ 1 ของแผนการทดลองใหม่ ต้องรอการจัดเตรียมเครื่องมือที่ประยุกต์ขึ้นใหม่เพื่อการวัดปริมาตรก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ก็มีข้อดีที่ทำให้สามารถใช้เครื่องมือดังกล่าว ในการวัดปริมาตรก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้แบบวันต่อวันโดยผู้วิจัยเองของทุกๆ การทดลองตามแผนการทดลองใหม่ที่ ได้ทำใหม่ทั้งหมด

สำหรับลำดับการทดลองที่ได้ทำทั้งหมดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากที่กำหนดเดิมได้ทำการสรุปและ แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่เริ่มการทดลองจนปิดการทดลองใช้เวลาทั้งหมด ประมาณ 15 เดือน คือ ตั้งแต่ต้นเดือนมีนาคม 2541 จนถึงปลายเดือน พฤษภาคม 2542 สาเหตุที่ทำให้ต้อง ใช้เวลาสำหรับการทดลองนาน เนื่องจากเกิดปัญหาต่างๆที่ต้องแก้ไข คือปัญหาการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ และก๊าซ, ปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนแบคทีเรีย และการใช้เวลาสำหรับการเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต โดยเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลในช่วงที่สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆไปได้และเก็บข้อมูลตามแผนการทดลองใหม่ ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 4 เดือน โดยตารางเวลาการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้ แสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 สรุปลำดับการทดลอง

ลำดับชุด การ ทดลอง	ยูเอ เอสบี ชุดที่	อัตราส่วนตัวแปรน้ำเสีย		ความเข้มข้น(มก./ล.)		หมายเหตุ
		ซีโอดีต่อ ซัลเฟต*	ค่าสภาพต่าง ต่อซีโอดี*	ซีโอดี	ซัลเฟต	
1	1	4	0.5	1600	400	เกิดปัญหาชั้นตะกอนลอย
	2	4	0.5	1200	300	ปกติ
	3	4	0.5	800	200	ปกติ
2	1	4	0.5	400	100	ปกติ และเก็บข้อมูลได้
	2	4	0.5	1200	300	ปกติ รอกดคอกัมน์ 1
	3	4	0.5	800	200	ปกติ รอกดคอกัมน์ 1
3	1	-	0.5	400	100-382	พยายามเพิ่ม
	2	-	0.5	1200	300-1039	ความเข้มข้นซัลเฟต
	3	-	0.5	800	200-867	ของทั้ง 3 คอกัมน์
4	1	2	0.75	400	200	เปลี่ยนรายละเอียดเป็น
	2	2	0.75	1200	600	แผนใหม่ทั้งหมด
	3	2	0.75	800	400	และเพิ่มปริมาณต่าง
5	1	4	0.75	400	100	รายละเอียด
	2	2	0.75	1000	500	ตามแผน
	3	2	0.75	600	300	การทดลองใหม่
6	1	-	-	-	-	รายละเอียด
	2	4	0.75	1200	300	ตามแผน
	3	4	0.75	800	200	การทดลองใหม่
7	1	-	0.75	-	-	รายละเอียด
	2	4	0.75	1000	250	ตามแผน
	3	4	0.75	600	150	การทดลองใหม่

*ซีโอดีต่อซัลเฟต หน่วย (มก.ซีโอดี/ล.)/(มก.ซัลเฟต/ล.)

*อัตราส่วนค่าสภาพต่างต่อค่าซีโอดี หน่วย (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)/(มก.ซีโอดี/ล.)

ตารางที่ 4.2 ตารางเวลาการทดลอง

งานที่ทำ	พ.ศ. 2541										พ.ศ. 2542				
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ค.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ชุดการทดลองที่ 1															
- ปัญหาการวิเคราะห์น้ำ	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
- ปัญหาชั้นตะกอนลอย				■	■	■	■	■	■	■					
ชุดการทดลองที่ 2								■	■	■					
ชุดการทดลองที่ 3 (ช่วงการเพิ่มซัลเฟต)										■	■	■			
ชุดการทดลองที่ 4												■	■		
ชุดการทดลองที่ 5													■	■	
ชุดการทดลองที่ 6														■	■
ชุดการทดลองที่ 7															■

สำหรับความสม่ำเสมอของการเก็บผลการทดลอง ได้พยายามที่จะเก็บผลการทดลองในทุกๆตัวแปรอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามมีปัญหาหรือการยกเว้นในบางกรณี ที่ทำให้ไม่สามารถเก็บผลได้อย่างครบถ้วนและสม่ำเสมอ ที่สำคัญมีดังนี้ คือ

- การวัดปริมาณก๊าซ ในลำดับการทดลองที่ 1 ของถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ซึ่งระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตเท่ากับ 1600 และ 400 มก./ล. โดยเกิดจากปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนสตัคจ์ ทำให้ไม่สามารถเก็บผลปริมาณก๊าซได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นเหตุผลที่สำคัญทำให้ต้องเปลี่ยนระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตของถึงปฏิกรณ์ที่ 1 ให้เหลือ 400 และ 100 มก./ล. โดยหลังจากนั้นก็สามารเก็บข้อมูลในส่วนของปริมาณก๊าซได้อย่างสม่ำเสมอ

- การวิเคราะห์หรือวัดตัวแปรในลำดับการทดลองที่ 3 ของทุกๆ ดังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นช่วงที่พยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตเพื่อให้ได้ความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 1,000 มก./ล. แต่เพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตไปได้เพียง 382 มก./ล. ก็ต้องเปลี่ยนแผนการทดลอง โดยในช่วงของการเพิ่มระดับความเข้มข้นซัลเฟตดังกล่าว การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจะวิเคราะห์หรือวัดเฉพาะค่า ซัลเฟต, ซัลไฟด์, ฟิออซ, อุณหภูมิ, ค่าสภาพด่างและกรดไขมันระเหยเท่านั้น

- การเว้นช่วงการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆในลำดับการทดลองที่ 4 ของทุกๆ ดังปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นช่วงของการทดลองใหม่ มีการเว้นช่วงของการเก็บผลการทดลองของทุกๆตัวแปร ระหว่าง 18 กุมภาพันธ์ 2542 – 28 กุมภาพันธ์ 2542 ซึ่งเป็นช่วงที่รอผลการวิเคราะห์ก๊าซจากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ซึ่งผลที่ได้ไม่สามารถนำมาใช้ได้ จึงต้องทำการปรับปรุงอุปกรณ์ชุดคักก๊าซแบบแทนที่น้ำ เพื่อนำมาใช้สำหรับการวัดปริมาณก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากนั้น จึงเริ่มเก็บผลการทดลองได้อย่างสม่ำเสมอ สำหรับการแสดงผลการทดลองจะแสดงผลการทำงานของแต่ละคอลัมน์ตั้งแต่วันที่ 3 สิงหาคม 2541(บางส่วนของชุดการทดลองที่ 1 ของแผนการทดลองเดิม) จน ปิดการทดลองของแต่ละคอลัมน์

สำหรับการอธิบายผลการทำงานของแต่ละคอลัมน์จะอธิบายในภาพรวม โดยไม่พยายามอธิบายลงในรายละเอียดของผลการทำงานของระบบมากนัก เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนกับรายละเอียดที่จะแสดงในส่วนของการวิเคราะห์และวิจารณ์ผล ทั้งนี้การอธิบายจะเน้นเฉพาะจุดที่สำคัญ เพื่อให้เห็นภาพของลำดับการเปลี่ยนชุดการทดลองของแต่ละคอลัมน์อย่างชัดเจน ขณะที่การวิเคราะห์ผลจะทำการวิเคราะห์เฉพาะในช่วงชุดการทดลองที่ 4 ถึง 7 (หรือชุดการทดลองที่ 1 ถึง 4 ของแผนการทดลองใหม่) เท่านั้น ซึ่งเพียงพอต่อการสรุปผลเพื่อตอบคำถามของวัตถุประสงค์งานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการทดลองของแต่ละปฏิบัติการ

4.2.1 ปฏิบัติการหมายเลข 1

ตามแผนการทดลองเดิม ปฏิบัติการหมายเลข 1 จะเป็นปฏิบัติการที่รับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดีสูงสุด คือ 1,600 มก./ล. อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาการยกตัวขึ้นของชั้นสัดคัจคตามที่กล่าวไปแล้ว ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงและลดความเข้มข้นซีไอดีสำหรับปฏิบัติการนี้ให้เหลือเพียง 400 มก./ล. โดยในส่วนของแผนการทดลองใหม่ ซึ่งมีขอบเขตงานในส่วนของระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตเพิ่มขึ้นเป็น 5 ระดับความเข้มข้นในแต่ละอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต แต่ปฏิบัติการที่ 1 ก็ทำหน้าที่รับน้ำเสียที่มีระดับความเข้มข้นซีไอดีค่าเดียว คือ 400 มก./ล. และภาพรวมของการเดินระบบของปฏิบัติการหมายเลข 1 จะมีช่วงของการเดินระบบที่สำคัญ แบ่งออกได้เป็น 5 ช่วง จนกระทั่งปิดการทดลอง ดังแสดงไว้แล้วก่อนหน้านี้ในตารางที่ 4.1 สำหรับการเปลี่ยนแปลงในส่วนของน้ำเสียเข้าระบบที่สำคัญ คือ

- (1) การลดระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟต จาก 1600 และ 400 มก./ล. ซึ่งเป็นเงื่อนไขของลำดับการทดลองที่ 1 ให้เป็น 400 และ 100 มก./ล. ซึ่งเป็นเงื่อนไขของลำดับการทดลองที่ 2 เนื่องจากปัญหาชั้นตะกอนสัดคัจคยกตัว
- (2) การพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตจาก 100 ให้เป็น 1000 มก./ล. แต่เพิ่มค่าได้ถึงเพียง 382 มก./ล. ซึ่งเป็นลำดับการทดลองที่ 3
- (3) การเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเพิ่มค่าสภาพค่างและใช้ระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตเท่ากับ 400 และ 200 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 4
- (4) ระดับความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 400 และความเข้มข้นซัลเฟตลดเหลือ 100 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 5

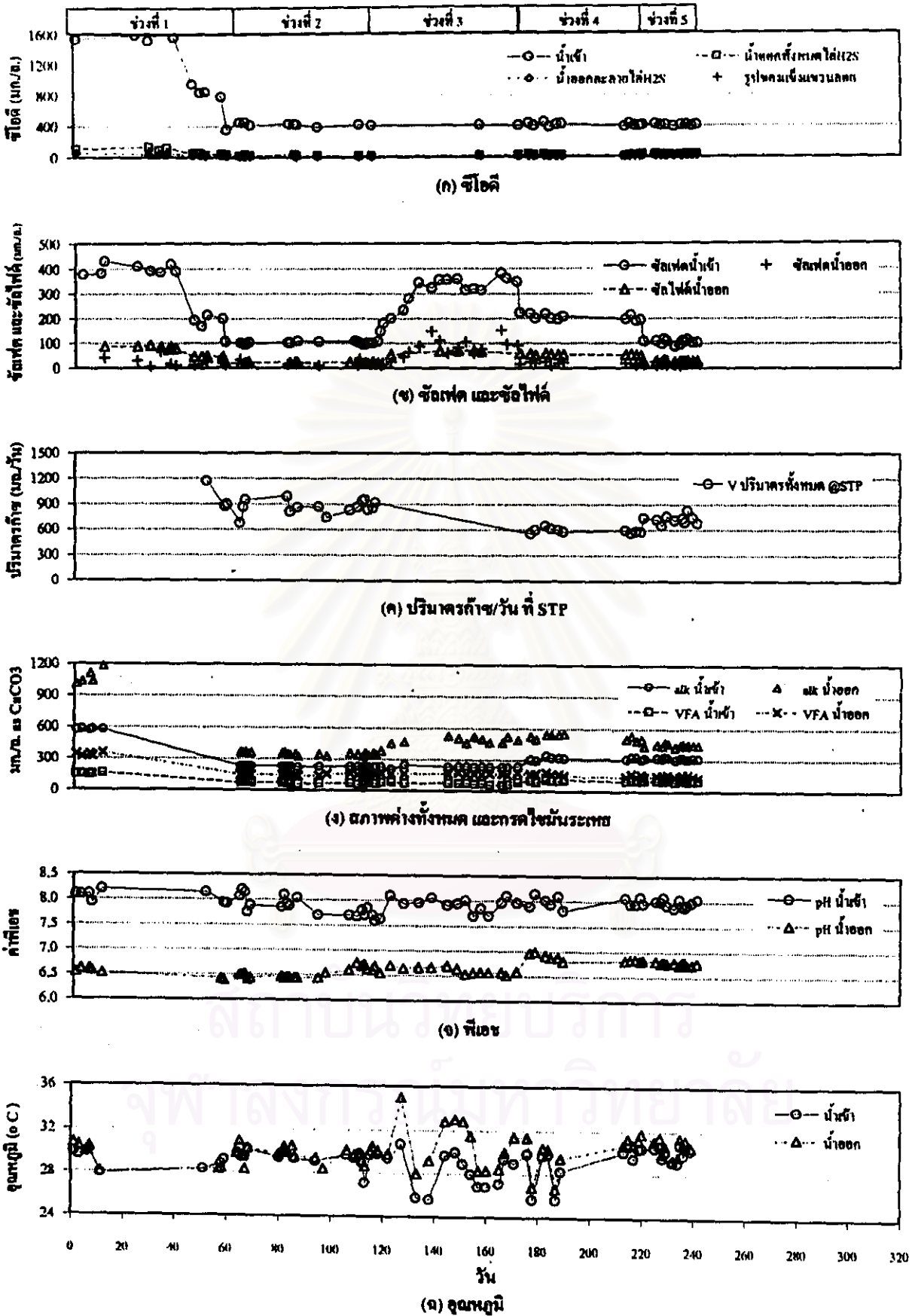
โดยตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของผลการทดลองของปฏิบัติการหมายเลข 1 ในแต่ละการทดลอง โดยจะเป็นค่าเฉลี่ยผลการทดลองที่สภาวะสมดุล(steady state) ของชุดการทดลองในลำดับการทดลองที่ 2, 4 และ 5 ซึ่งสามารถเก็บผลการทดลองได้ค่อนข้างสมบูรณ์ และ รูปที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรของผลการดำเนินงานของระบบที่สำคัญ คือ ค่าซีไอดี, ซัลเฟตร่วมกับ ชักไฟด์, ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ค่าสภาพค่างทั้งหมด ร่วมกับค่ากรดไขมันระเหย, ค่าพีเอช และ ค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่ วันที่ 3 สิงหาคม 2541 จนถึงวันที่ 31 มีนาคม 2542

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ 1

ตัวแปรที่วัด		ลำดับการทดลองที่ 1 (แผนดินหังมีออน)		ลำดับการทดลองที่ 4 (แผนใหม่)		ลำดับการทดลองที่ 5 (แผนใหม่)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย/(n) SD.	7.87 / (20) ±0.17	6.53 / (21) ±0.11	8.00 / (10) ±0.11	6.88 / (10) ±0.06	7.98 / (12) ±0.07	6.79 / (10) ±0.03
อุณหภูมิ(Temperature.) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย/(n) SD.	29.5 / (20) ±0.68	29.7/(21) ±0.73	29.0/ (10) ± 1.83	29.9/ (10) ± 1.76	30.0/ (12) ±0.64	30.7/ (12) ± 0.81
ไออาร์ที(Temp.) (มิลลิวัตต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-356/(4) ± 5	-	-346/ (10) ± 11	-	-338/ (22) ± 10
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	419/ (10) ± 29	17.7/ (9) ^ ± 5.0	412/ (11) ± 22	16.9/ (11) ^ ± 5.1	404/ (9) ± 11	16.3/ (9) ^ ± 3.4
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	95.8/ (9) ^ ± 1.2	-	95.9/ (11) ^ ± 1.0	-	96.0/ (9) ^ ± 0.8
ซัลไฟด์ (Sulfide) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	102.5/ (18) ± 4.8	18.3/ (20) ± 6.7	205.9/ (11) ± 11.8	18.3/ (11) ± 5.2	105.7/ (12) ± 8.4	13.9/ (12) ± 3.3
ซัลไฟด์ละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	22.3/ (12) ± 2.1	-	54.3/ (11) ± 2.9	-	27.9/ (12) ± 1.8
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน ที่สภาวะมาตรฐาน (มิลลิ ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	865/(17) 78	-	593/ (10) ± 27.4	-	726.6/ (10) ± 48.8
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCH ₄ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-	-	96.1/ (4) ± 0.7	-	96.8/ (10) ± 0.69
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCO ₂ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-	-	3.44/ (4) ± 0.73	-	3.03/ (10) ± 0.68
เปอร์เซ็นต์ก๊าซH ₂ S (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-	-	0.41/ (4) ± 0.08	-	0.21/ (10) ± 0.03
สภาพด่างทั้งหมด(Alk) (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	228/ (18) ± 5	347/ (20) ± 13	317/ (10) ± 12	521/ (10) ± 24	318/ (12) ± 8	444/ (12) ± 13
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	68/ (18) ± 6	152/ (20) ± 9	104/ (10) ± 7	159/ (10) ± 13	104/ (12) ± 6	144/ (12) ± 10
ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-	1183/ (8) ± 74	816/ (8) ± 68	1118/ (8) ± 59	802/ (8) ± 27
สภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซิเมนส์/ซม.)	เฉลี่ย/(n) SD.	761/ (5) ± 26	764/ (7) ± 24	1472/ (10) ± 28	1479/ (10) ± 22	1281/ (9) ± 14	1284/ (9) ± 16

^ ความเข้มข้นซีโอดีละลายน้ำออก

^ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย



รูปที่ 4.1 ค่าตัวแปรผลการดำเนินงานของระบบที่สำคัญตลอดการทดลองถึงปฏิกรณ์ที่ 1

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงให้เห็นว่า ตลอดจนการทดลองของถังปฏิกรณ์หมายเลข 1 ระบบมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้อย่างสม่ำเสมอ โดยพิจารณาได้จากค่าซีโอดีน้ำออก ซึ่งมีค่าที่ต่ำอย่างคงที่ตลอดการทดลอง ดังนั้นสำหรับถังปฏิกรณ์หมายเลข 1 ถึงแม้จะมีปัญหาทางด้านชั้นตะกอนสัณฐานกัวในช่วงแรก แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดีภายหลังการเปลี่ยนแปลงการทดลอง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะระดับความเข้มข้นซีโอดีที่ระบบต้องรับ มีค่าลดลงจาก 1600 มก./ล. เหลือเพียง 400 มก./ล. เท่านั้น และจากรูปที่ 4.1 (ข) แสดงผลการทดลองตัวแปรซัลเฟต และซัลไฟด์ตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าในลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งระบบต้องรับน้ำเสียความเข้มข้นซัลเฟต 100 มก./ล. ผลค่าซัลเฟต น้ำออกมีค่าต่ำอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากระบบเคยรับน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นซัลเฟต 400 มก./ล. และสามารถผลิตน้ำออกที่มีความเข้มข้นซัลเฟตต่ำได้เช่นกันมาก่อนจากลำดับการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากัน คือ 4 อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่พยายามเพิ่มระดับความเข้มข้นซัลเฟต ระบบสามารถใช้ซัลเฟตได้ค่อนข้างช้าจึงต้องเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเริ่มทดลองใหม่ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ก่อน ทั้งนี้เพราะระบบคุ้นเคยกับการรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าสูงถึง 382 มก./ล. มาแล้ว จากผลของช่วงที่พยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต โดยที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ต้องการความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเพียง 200 มก./ล. เท่านั้น ดังนั้น เมื่อลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเหลือ 200 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 4 และการลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าอีกครั้งเหลือเพียง 100 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 5 ระบบจึงสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะภายในระบบมีเชื้อแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณมากพอ และเหมาะสมกับความเข้มข้นซัลเฟตที่ใช้ดังกล่าว ซึ่งสังเกตได้จากค่าความเข้มข้นซัลเฟตน้ำออกที่มีค่าค่อนข้างต่ำอย่างสม่ำเสมอ และความเข้มข้นซัลไฟด์น้ำออกที่ได้ก็มีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน และสำหรับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 4.1 (ค) มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ คือ มีค่าลดต่ำลงในลำดับการทดลองที่ 4 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 200 มก./ล. อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มข้นซัลเฟตลดลงเหลือ 100 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 5 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยผลของการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันในแต่ละลำดับการทดลอง เกิดจากสัดส่วนของซีโอดีที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียผลิตมีเทนมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสัดส่วนของซีโอดีที่ถูกแย่งใช้โดยแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตมีการเปลี่ยนแปลงจากผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนสามารถกลับมามีบทบาทในการแย่งใช้สารอาหารเพื่อผลิตก๊าซมีเทนให้มีค่ามากขึ้นได้ ถ้าแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตถูกกดบทบาทลงจากการลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า นอกจากนั้นถึงที่น่าสังเกตเกี่ยวกับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันที่แตกต่างกันพอสมควร (16.4%) ในลำดับการทดลองที่ 2 และ 5 ซึ่งกำหนดให้มีความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตน้ำเข้าเท่ากันนั้น ไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้อย่างชัดเจน

และจากรูป 4.1 (จ) แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่าพีเอชน้ำออก ในช่วงก่อนที่จะมีการเพิ่มปริมาณค่า มีค่าอยู่ในช่วง 6.4-6.7 แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบซึ่งมีค่าสูงอย่างคงที่ตลอดการทดลอง และภายหลังจากการเพิ่มปริมาณค่า ดังเกิดได้จากค่าสภาพค่าทั้งหมดน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 4.1(ง) ซึ่งกำหนดการเพิ่มอัตราส่วนค่าสภาพค่าทั้งหมดต่อซีโอดี จากเดิม 0.5 ให้เป็น 0.75 พบว่าค่าพีเอชน้ำออกของชุดการทดลองตามแผนการทดลองใหม่ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าพีเอชน้ำออกที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 6.8-7.0 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการทำงานของระบบมากยิ่งขึ้น และสำหรับข้อมูลอุณหภูมิซึ่งแสดงในรูป 4.1(ฉ) พบว่าอุณหภูมิน้ำออกจะมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งในน้ำเข้าและน้ำออกส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วง 28- 32 °C ซึ่งยังถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มมีไซฟีลิก(mesophilic bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25- 40 °C Metcalf&Eddy,(1991) โดยค่าอุณหภูมิในช่วงลำดับการทดลองที่ 3 จะมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวจึงทำให้อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าต่ำกว่าปกติ ขณะที่น้ำออกมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากผลของการใช้ไฟสปอร์ตไลท์ส่องเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในถึงปฏิบัติการ

จากผลการทำงานของระบบในภาพรวมของถึงปฏิบัติการที่ 1 แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายน้ำเสียของระบบที่มีผลการทำงานอย่างดีสม่ำเสมอและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุล(steady state)ได้ อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆที่เก็บผลได้จากช่วงที่ 4 และ 5 ทั้งหมด ถือว่าเป็นผลการทดลองที่มีความสม่ำเสมอเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนของผลการทดลองของระบบที่อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2

ตามแผนการทดลองเดิม ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 จะรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดี 1200มก./ล. อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 จะรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดี 2 ค่าคือ 1200 และ 1000 มก./ล. ซึ่งจะกลายเป็นถึงปฏิกรณ์ที่รับความเข้มข้นซัลเฟต และซีไอดีสูงที่สุด สำหรับภาพรวมของการเดินระบบของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 จะมีช่วงการเดินระบบที่สำคัญ 7 ช่วงตลอดการทดลอง โดยเงื่อนไขของการทดลองในช่วงที่ 1 และ 2 จะมีเงื่อนไขเหมือนกัน แต่ที่ต้องแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเนื่องจากต้องการให้มีการแบ่งช่วงในลักษณะเดียวกันกับถึงปฏิกรณ์หมายเลข 1 โดยเป็นการแสดงผลการทดลองของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 1 ที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อปิดการทดลองชุดที่ 1 ของแผนการทดลองเดิม(หลังเปลี่ยน) ให้พร้อมกันทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ และภาพรวมของการเดินระบบของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 จนกระทั่งปิดการทดลอง แสดงไว้แล้วก่อนหน้าในตารางที่ 4.1 สำหรับการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบที่สำคัญมีดังนี้คือ

- (1) การพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตควบคุมจาก 300 มก./ล. ให้เป็น 3000 มก./ล. แต่เพิ่มได้ถึงเพียง 1039 มก./ล. ซึ่งเป็นลำดับการทดลองที่ 3 โดยลำดับการทดลองที่ 1 และ 2 จะมีเงื่อนไขการทดลองเหมือนกันทั้งหมด คือความเข้มข้นซีไอดี 1200 มก./ล. และซัลเฟต 300 มก./ล. แต่เป็นการแบ่งช่วงตามที่ได้แบ่งไว้สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1
- (2) การเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเพิ่มค่าสภาพค่างและใช้ความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟต 1200 และ 600 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 4
- (3) ระดับความเข้มข้นซีไอดี 1000 และความเข้มข้นซัลเฟต 500 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 5
- (4) ระดับความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 1200 และความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 300 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 6
- (5) ระดับความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 1000 และความเข้มข้นซัลเฟตเท่ากับ 250 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 7

โดยตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของผลการทดลองของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 ในแต่ละการทดลอง โดยจะเป็นข้อมูลผลการทดลองที่สภาวะสมดุล(steady state) ของชุดการทดลองในลำดับการทดลองที่ 1และ2, 4, 5, 6 และ 7 ซึ่งสามารถเก็บผลการทดลองได้ค่อนข้างสมบูรณ์ และรูปที่ 4.2 แสดงค่าตัวแปรผลการทำงานของระบบที่สำคัญ คือ ค่าซีไอดี, ซัลเฟตร่วมกับซัลไฟด์, ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ค่าสภาพค่างทั้งหมด ร่วมกับค่ากรดไขมันระเหย, ค่าพีเอช และอุณหภูมิ ตั้งแต่วันที่ 3 สิงหาคม 2541 จนถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2542

ตารางที่ 4.4 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ 2

ตัวแปรที่วัด		ลำดับการทดลองที่ 1 ร่วมกับ 2 (แผนเดิมหลังเปลี่ยน)		ลำดับการทดลองที่ 4 (แผนใหม่)		ลำดับการทดลองที่ 5 (แผนใหม่)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย/(n) SD	7.74/ (27) ± 1.56	6.53/ (27) ± 0.07	8.03 / (10) ± 0.12	6.88 / (10) ± 0.06	7.99 / (12) ± 0.11	6.84 / (12) ± 0.05
อุณหภูมิ(Temperature.) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย/(n) SD	29.4 / (26) ± 0.74	29.7/(27) ± 0.83	30.1/ (10) ± 0.46	30.8/ (10) ± 0.52	30.2/ (12) ± 0.73	30.7/ (12) ± 0.83
ไอร่าพี(Temp.) (มิลลิวัตต์)	เฉลี่ย/(n) SD	-	-357/(13) ± 14	-	-366/ (10) ± 17	-	-354/ (10) ± 14
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD	1216/ (20) ± 64	27.3/ (18) ^ ± 5.4	1214/ (38) ± 9	25/ (9) ^ ± 9.3	1028/ (8) ± 64	29.4/ (8) ^ ± 9.2
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD	-	98.0/ (20) ^ ± 0.82	-	98.0/ (9) ^ ± 0.72	-	97.2/ (8) ^ ± 0.7
ซัลเฟต (Sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD	305/ (31) ± 21.2	13.2/ (30) ± 8.0	621/ (11) ± 25.9	30.5/ (11) ± 7.8	512/ (11) ± 14.0	25.3/ (11) ± 5.0
ซีโอดีละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD	-	69.8/ (26) ± 16.3	-	167.5/ (11) ± 11	-	134/ (11) ± 53
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน ที่สภาวะมาตรฐาน (มิลลิ ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD	-	2619/(7) ± 98	-	2022/ (10) ± 92	-	1684/ (10) ± 54
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCH ₄ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD	-	-	-	86.5/ (4) ± 2.0	-	90.5/ (10) ± 1.4
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCO ₂ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD	-	-	-	11.4/ (4) ± 2.01	-	7.77/ (10) ± 1.39
เปอร์เซ็นต์ก๊าซH ₂ S (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD	-	-	-	2.09/ (4) ± 0.18	-	1.73/ (10) ± 0.07
สภาพค่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD	467/ (23) ± 12	815/ (25) ± 30	853/ (10) ± 23.6	1540/ (10) ± 45.5	720/ (12) ± 25.4	1253/ (12) ± 67.7
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD	129/ (23) ± 7	329/ (25) ± 27.9	277/ (10) ± 8.23	458/ (10) ± 27.3	233/ (12) ± 8.39	387/ (12) ± 21.2
ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD	-	-	3316/ (8) ± 78	2198/ (8) ± 57	2821/ (8) ± 102	1862/ (8) ± 69
สภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซิเมนต์/ซม.)	เฉลี่ย/(n) SD	1659/ (12) ± 62	1659/ (14) ± 38	3595/ (10) ± 26	3599/ (10) ± 16	3051/ (9) ± 21	3054/ (9) ± 21

^ ความเข้มข้นซีโอดีละลาย

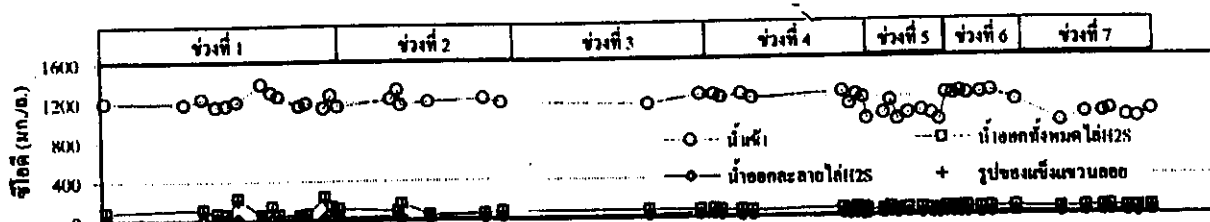
^ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ 2

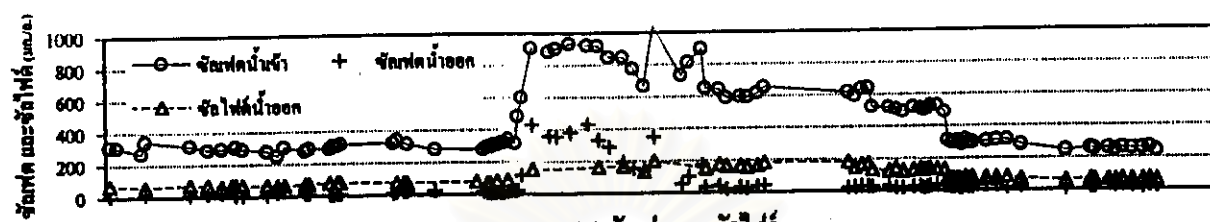
ตัวแปรที่วัด	ลำดับการทดลองที่ 6 (แผนใหม่)		ลำดับการทดลองที่ 7 (แผนใหม่)		
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	
พีเอช (pH)	เฉลี่ย/(n) SD.	8.08 / (12) ± 0.09	6.82 / (12) ± 0.03	8.04 / (10) ± 0.09	6.81 / (10) ± 0.03
อุณหภูมิ(Temperature.) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย/(n) SD.	30.0/ (12) ± 0.53	30.5/ (12) ± 0.51	30.0/ (10) ± 0.52	30.6/ (10) ± 0.40
ไออาร์พี(Temp.) (มิลลิโวลต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	-341/ (12) ± 21	-	-348/ (10) ± 16
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	1221/ (7) ± 32	32.4/ (7) ^A ± 5.4	1010/ (7) ± 41	28.4/ (7) ^A ± 6.4
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	97.3/ (7) ^B ± 0.5	-	97.2/ (7) ^B ± 0.57
ซัลเฟต (Sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	304/ (12) ± 10.2	22.4/ (12) ± 5.4	255/ (10) ± 8.4	20.7/ (10) ± 7.0
ซัลไฟด์ละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	78.7/ (12) ± 4.3	-	67.7/ (10) ± 2.8
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน ที่ต่ำกว่ามาตรฐาน (มิลลิ ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	2468/ (10) ± 135	-	2030/ (10) ± 86
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCH ₄ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	91.3/ (10) ± 0.7	-	92.0/ (10) ± 0.6
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCO ₂ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	8.23/ (10) ± 0.74	-	7.6/ (10) ± 0.55
เปอร์เซ็นต์ก๊าซH ₂ S (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	-	0.44/ (10) ± 0.05	-	0.37/ (10) ± 0.04
สภาพด่างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	834/ (12) ± 23.9	1232/ (12) ± 51.8	723/ (10) ± 11.6	1036/ (10) ± 50.3
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	270/ (12) ± 13.1	401/ (12) ± 40	227/ (10) ± 4.83	338/ (10) ± 16
ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	2921/ (8) ± 126	1956/ (8) ± 83	2483/ (7) ± 39	1714/ (7) ± 25
สภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซิเมนส์/ซม.)	เฉลี่ย/(n) SD.	3026/ (12) ± 12	3020/ (12) ± 134	2582/ (10) ± 17	2584/ (10) ± 17

^A ความเข้มข้นซีโอดีละลาย

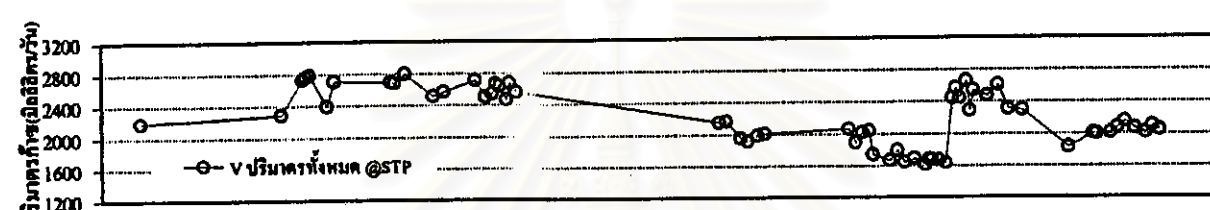
^B ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย



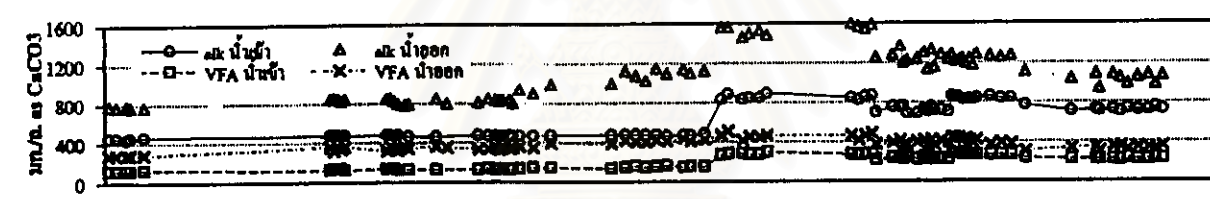
(ก) ซีโอดี



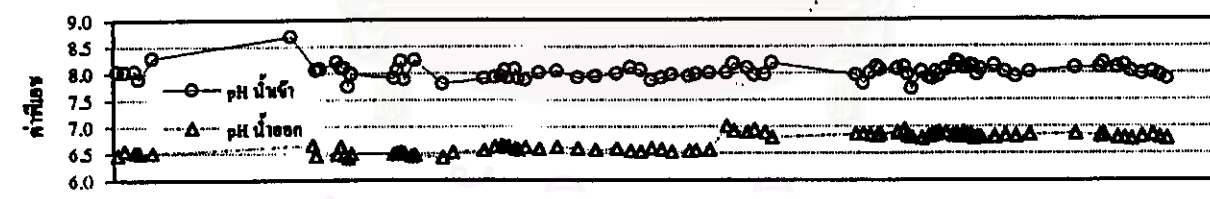
(ข) ซีโอดี และซีไอพีดี



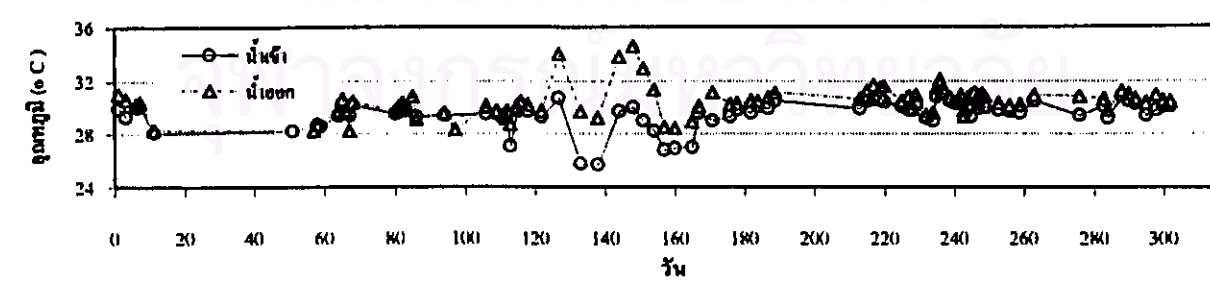
(ค) ปริมาณก๊าซ/วันที่ STP



(ง) สภาพค่าทั้งหมด และกรดไขมันระเหย



(จ) พีเอช



(ฉ) อุณหภูมิ

รูปที่ 4.2 ค่าตัวแปรผลการดำเนินงานของระบบที่ดำเนินการทดลองดองถังปฏิกรณ์ที่ 2

จากรูปที่ 4.2 (ก) แสดงให้เห็นว่า ตลอดจนการทดลองของถังปฏิกรณ์หมายเลข 2 ระบบมีความสามารถในการกำจัดซีโอติได้อย่างสม่ำเสมอ ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตน้ำเข้าไปตามเงื่อนไขของแต่ละการทดลองก็ตาม โดยพิจารณาได้จากค่าซีโอติน้ำออก ซึ่งมีค่าที่ต่ำอย่างคงที่ตลอดการทดลอง และจากรูปที่ 4.2 (ข) แสดงผลการทดลองตัวแปรซัลเฟต และซัลไฟด์ตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าในลำดับการทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งระบบต้องรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟต 300 มก./ล. ค่าซัลเฟตน้ำออกมีค่าต่ำอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่พยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต ระบบสามารถใช้ซัลเฟตได้ค่อนข้างช้าจึงต้องเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเริ่มทดลองใหม่ที่ อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2 ก่อน ทั้งนี้เพราะระบบคุ้นเคยน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าสูงถึง 1039 มก./ล มาแล้วจากผลของช่วงพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต โดยที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2 ต้องการความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเพียง 600 มก./ล. เท่านั้น ดังนั้น เมื่อลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเหลือ 600 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 4 และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าในลำดับการทดลองที่เหลือต่อมาซึ่งเป็นการลดค่าความเข้มข้นซัลเฟตลง ระบบจึงสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะภายในระบบมีเชื้อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณมากพอ และเหมาะสมกับความเข้มข้นซัลเฟตที่ใช้ดังกล่าว ซึ่งสังเกตได้จากค่าความเข้มข้นซัลเฟตน้ำออกที่มีค่าต่ำอย่างสม่ำเสมอ และความเข้มข้นซัลไฟด์น้ำออกที่ได้ก็มีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน ซึ่งก็เป็นลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และสำหรับค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วันที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ คือ มีค่าลดต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 2619 มล./วัน ในลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นซีโอติ 1200 มก./ล. และซัลเฟต 300 มก./ล. เป็นค่าเฉลี่ย 2022 มล./วัน ในลำดับการทดลองที่ 4 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอติ 1200 มก./ล. และซัลเฟต 600 มก./ล. เนื่องจากสัดส่วนซีโอติที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีค่ามากขึ้นจากผลของการเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า และเมื่อค่าความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเป็น 1000 มก./ล. และ 500 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 5 ค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วัน ก็มีค่าลดต่ำลงอีกโดยมีค่าเหลือ 1684 มล./วัน โดยการลดลงของปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วันในครั้งนี้ เหตุผลสำคัญเกิดจากค่าซีโอติน้ำเข้ามีค่าลดลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ในลำดับการทดลองที่ 6 ซึ่งความเข้มข้นซีโอติน้ำเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 1200 มก./ล. และความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเหลือ 300 มก./ล. ค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วันที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าเฉลี่ย 2468 มล./วัน ซึ่งก็มีค่าใกล้เคียงกับค่าในลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งค่าความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตน้ำเข้าควบคุมเท่ากัน และในลำดับการทดลองที่ 7 ความเข้มข้นซีโอติน้ำเข้าลดลงเป็น 1000 มก./ล. และความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเหลือ 250 มก./ล. ค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วัน ก็มีค่าลดต่ำลงอีกโดยมีค่าเหลือ 2030 มล./วัน โดยสาเหตุหลักของการลดลงของค่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วันในครั้งนี้เกิดจากค่าซีโอติน้ำเข้ามีค่าลดลงอีกครั้งนั่นเอง. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในลำดับการทดลองที่ 5 ซึ่งมีค่าความเข้มข้นซีโอติน้ำเข้าควบคุมเท่ากันคือ 1000 มก./ล. พบว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพ/วันในลำดับการทดลองที่ 7 มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนซีโอติที่ใช้โดยแบคทีเรียผลิตมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น และสัดส่วนซีโอติที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีค่าลดลง จากผลการลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำ

เข้าซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนสามารถกลับมาจับบทบาทในการแย่งใช้สารอาหารเพื่อผลิตก๊าซมีเทนให้มีค่ามากขึ้นได้ ถ้าแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตถูกกดบทบาทลงจากการลดความเข้มข้นของซัลเฟตน้ำเข้า ซึ่งก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่ 1

และจากรูป 4.2 (จ) แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่าพีเอชน้ำออก ในช่วงก่อนที่จะมีการเพิ่มปริมาณต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 6.4-6.7 แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซัลไฟด์ของระบบซึ่งมีค่าสูงอย่างคงที่ตลอดการทดลอง และภายหลังจากการเพิ่มปริมาณต่างโดยสังเกตได้จากค่าสภาพค่าทั้งหมคน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 4.2(ง) ซึ่งกำหนดการเพิ่มอัตราส่วนค่าสภาพค่าทั้งหมคต่อซีไอดี จากเดิม 0.5 ให้เป็น 0.75 พบว่าค่าพีเอชน้ำออกของชุดการทดลองตามแผนการทดลองใหม่ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยค่าพีเอชน้ำออกที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 6.8-7.0 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการทำงานของระบบมากยิ่งขึ้น และสำหรับข้อมูลอุณหภูมิซึ่งแสดงในรูป 4.2(ฉ) พบว่าอุณหภูมิน้ำออกจะมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งในน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วง 28- 32 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มมีโซฟิลิก(mesophilic bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25- 40 °C Metcalf&Eddy,(1991) โดยค่าอุณหภูมิในช่วงลำดับการทดลองที่ 3 จะมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวจึงทำให้อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าต่ำกว่าปกติ ขณะที่น้ำออกมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าปกติเล็กน้อยเนื่องจากผลของการใช้ไฟสปอร์ดีไลท์ส่องเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ 1

จากผลการทำงานของระบบในภาพรวมของถังปฏิกรณ์ที่ 2 แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายน้ำเสียของระบบที่มีผลการทำงานอย่างค้ำเสมอมและสามารถเข้าสู่สภาวะสมดุล(steady state)ได้ อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆที่เก็บผลได้จากช่วงที่ 4, 5, 6 และ 7 ทั้งหมด ถือว่าเป็นผลการทดลองที่มีความสม่ำเสมอเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนของผลการทดลองของระบบที่อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลได้

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 3

ตามแผนการทดลองเดิม ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 3 ใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 800มก./ล. อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ ถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 จะใช้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นซีไอดี 2 ค่าคือ 800 และ 600 มก./ล. สำหรับภาพรวมการเดินระบบของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 3 มีช่วงการเดินระบบที่สำคัญ 7 ช่วงตลอดการทดลอง โดยเงื่อนไขของการทดลองในช่วงที่ 1 และ 2 จะมีเงื่อนไขเหมือนกัน แต่ที่ต้องแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเนื่องจากต้องการให้มีการแบ่งช่วงในลักษณะเดียวกันกับถึงปฏิกรณ์หมายเลข 1 โดยเป็นการรอผลการทดลองของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 1 ที่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อปิดการทดลองชุดที่ 1 ของแผนการทดลองเดิม(หลังเปลี่ยน) ให้พร้อมกันทั้ง 3 ถึงปฏิกรณ์ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการแบ่งช่วงของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 2 และภาพรวมของการเดินระบบของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 3 จนกระทั่งปิดการทดลอง แสดงไว้แล้วก่อนหน้านี้นี้ในตารางที่ 4.1 เช่นเดียวกัน สำหรับการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำเสียเข้าระบบที่สำคัญมีดังนี้คือ

- (1) การพยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตควบคุมจาก 200 มก./ล. ให้เป็น 2000 มก./ล. แต่เพิ่มได้ถึงเพียง 867มก./ล.ซึ่งเป็นลำดับการทดลองที่ 3 โดยลำดับการทดลองที่ 1 และ 2 จะมีเงื่อนไขการทดลองเหมือนกันทั้งหมด คือความเข้มข้นซีไอดี 800 มก./ล. และซัลเฟต 200 มก./ล. แต่เป็นการแบ่งช่วงตามที่ได้แบ่งไว้สำหรับถึงปฏิกรณ์ที่ 1
- (2) การเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเพิ่มค่าสภาพค่างและใช้ความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตควบคุมเท่ากับ 800 และ 400 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 4
- (3) ระดับความเข้มข้นซีไอดี 600 และความเข้มข้นซัลเฟต 300 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 5
- (4) ระดับความเข้มข้นซีไอดี 800 และความเข้มข้นซัลเฟต 200 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 6
- (5) ระดับความเข้มข้นซีไอดี 600 และความเข้มข้นซัลเฟต 150 มก./ล. สำหรับลำดับการทดลองที่ 7

โดยตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของผลการทดลองของถึงปฏิกรณ์หมายเลข 3 ในแต่ละการทดลอง โดยเป็นข้อมูลผลการทดลองที่สภาวะสมดุล(steady state) ของชุดการทดลองในลำดับการทดลองที่ 1กับ2, 4, 5, 6 และ 7 ซึ่งสามารถเก็บผลการทดลองได้ค่อนข้างสมบูรณ์ และรูปที่ 4.3 แสดงค่าตัวแปรผลการทำงานของระบบที่สำคัญ คือ ค่าซีไอดี, ซัลเฟตร่วมกับซัลไฟด์, ปริมาตรก๊าซชีวภาพ, ค่าสภาพค่างทั้งหมด ร่วมกับค่ากรดไขมันระเหย, ค่าพีเอช และอุณหภูมิ ตั้งแต่วันที่ 3 สิงหาคม 2541 จนถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2542

ตารางที่ 4.5 สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ 3

ตัวแปรที่วัด		ลำดับการทดลองที่ 1 ร่วมกับ (เมทิลีนคลอไรด์)		ลำดับการทดลองที่ 4 (เมทิลีน)		ลำดับการทดลองที่ 5 (เมทิลีน)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย(ก) SD.	7.97/ (25) ± 0.24	6.51/ (27) ± 0.08	7.99 / (10) ± 0.12	6.92 / (10) ± 0.06	8.07 / (12) ± 0.10	6.82 / (12) ± 0.07
อุณหภูมิ(Temperature.) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย(ก) SD.	29.4 / (25) ± 0.72	29.8/(27) ± 0.78	29.5/ (10) ± 1.32	30.6/ (10) ± 1.15	29.8/ (12) ± 0.90	30.5/ (12) ± 0.86
ไออาร์ที(Temp.) (มิลลิโวลต์)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	-354/(13) ± 16	-	-359/ (10) ± 18	-	-344/ (10) ± 25
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย(ก) SD.	808/ (20) ± 33	23.9/ (18) ^ ± 8.0	814/ (11) ± 30	22.6/ (11) ^ ± 4.5	597/ (9) ± 29	22.4/ (9) ^ ± 3.8
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	97.0/ (18) ^ ± 0.99	-	97.2/ (11) ^ ± 0.54	-	96.3/ (9) ^ ± 0.59
ซัลเฟต (Sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย(ก) SD.	208/ (29) ± 27.9	18.7/ (29) ± 9.3	418/ (11) ± 20.8	23.7/ (11) ± 8.9	310/ (12) ± 13.0	20.1/ (12) ± 7.1
ซัลไฟด์ละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	47.7/ (25) ± 9.7	-	115/ (11) ± 7.4	-	84.7/ (12) ± 3.8
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน ที่สถานะมาตรฐาน (มิลลิ ลิตร)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	1776/ (7) ± 69	-	1214/ (10) ± 84	-	962/ (10) ± 52
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCH ₄ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	-	-	92.1/ (4) ± 1.39	-	92.8/ (10) ± 1.4
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCO ₂ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	-	-	6.44/ (4) ± 1.42	-	6.38/ (10) ± 1.37
เปอร์เซ็นต์ก๊าซH ₂ S (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	-	-	1.42/ (4) ± 0.03	-	0.83/ (10) ± 0.10
สภาพค้างทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย(ก) SD.	345/ (22) ± 13	566/ (25) ± 27	590/ (10) ± 10	1055/ (10) ± 19	462/ (12) ± 6	782/ (12) ± 39
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย(ก) SD.	95/ (22) ± 9	240/ (25) ± 35	192/ (10) ± 5	309/ (10) ± 21	145/ (12) ± 8	258/ (12) ± 7
ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย(ก) SD.	-	-	2352/ (8) ± 52	1589/ (8) ± 26	1803/ (8) ± 48	1230/ (8) ± 45
สภาพน้ำไฟฟ้า (ไมโครซิเมนส์/ซม.)	เฉลี่ย(ก) SD.	1205/ (11) ± 58	1224/ (13) ± 56	2541/ (10) ± 21	2547/ (10) ± 21	2004/ (8) ± 43	2004/ (8) ± 30

^ ความเข้มข้นซีโอดีละลาย

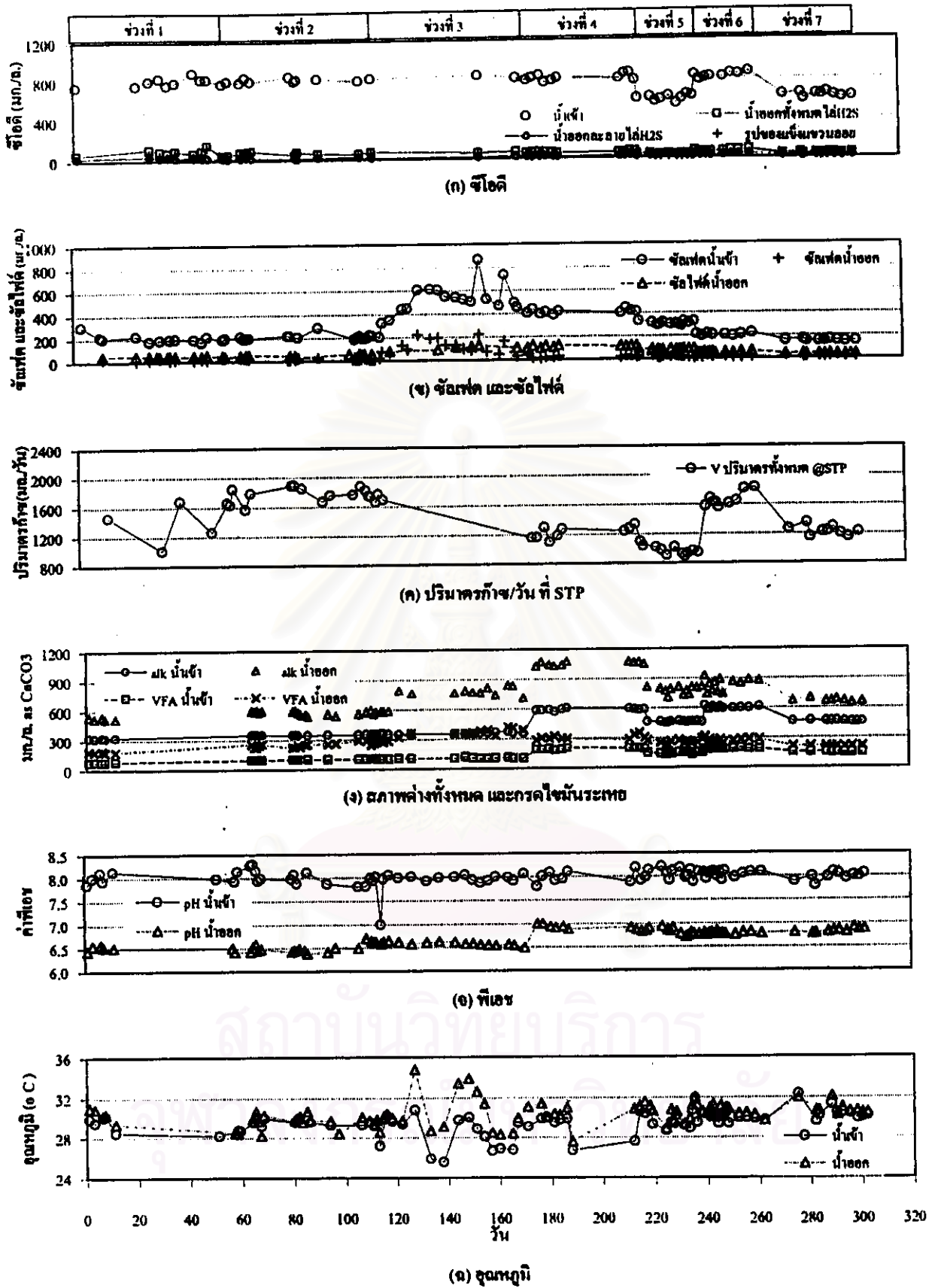
^ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) สรุปข้อมูลตัวแปรต่างๆของถังปฏิกรณ์ที่ 3

ตัวแปรที่วัด		ลำดับการทดลองที่ 6 (แผนใหม่)		ลำดับการทดลองที่ 7 (แผนใหม่)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
พีเอช (pH)	เฉลี่ย/(n) SD.	8.05 / (12) ±0.07	6.79 / (12) ±0.02	7.98 / (10) ±0.08	6.84 / (10) ±0.04
อุณหภูมิ(Temperature.) (องศาเซลเซียส)	เฉลี่ย/(n) SD.	30.0 / (12) ±0.43	30.6 / (12) ±0.47	30.5 / (10) ±0.77	30.9 / (10) ±0.63
โออาร์พี(Temp.) (มิลลิโวลต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	-337/(12) ±36.9	- -	-324/(12) ±20.6
ซีโอดี (COD) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	824 / (8) ±26.6	31.3 / (8) ±7.4	622 / (9) ±21.0	21.8 / (9) ±3.2
ประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	96.2/ (9) ±0.81	- -	96.5 / (9) ±0.42
ซัลเฟต (Sulfate) (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	208/(8) ±8.84	16.75/(8) ±7.25	153/(9) ±5.72	16.4 / (9) ±4.40
ซิลิโคตละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	55.2/ (12) ±3.59	- -	39.0/ (10) ±2.78
ปริมาณก๊าซทั้งหมดต่อวัน ที่สภาวะมาตรฐาน (มิลลิ ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	1662 / (9) ±96.69	- -	1230 / (9) ±64.74
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCH ₄ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	93.7 / (9) ±0.53	- -	95.7 / (9) ±1.05
เปอร์เซ็นต์ก๊าซCO ₂ (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	6.0 / (9) ±0.51	- -	4.14 / (9) ±1.04
เปอร์เซ็นต์ก๊าซH ₂ S (เปอร์เซ็นต์)	เฉลี่ย/(n) SD.	- -	0.27 / (9) ±0.03	- -	0.19 / (9) ±0.01
สภาพค่าทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	600 / (12) ±11.6	836 / (12) ±62.8	463 / (9) ±5.7	673 / (8) ±14.6
กรดไขมันระเหย (มิลลิกรัม/ลิตรCaCO ₃)	เฉลี่ย/(n) SD.	187 / (12) ±4.0	273 / (12) ±19.2	147 / (8) ±3.6	214 / (8) ±2.3
ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	เฉลี่ย/(n) SD.	2080 / (8) ±45	1444 / (8) ±56	1600 / (7) ±26	1124 / (7) ±18
สภาพน้ำฟ้า (ไมโครซิเมนต์/ซม.)	เฉลี่ย/(n) SD.	2166 / (15) ±15	2162 / (12) ±14	1731 / (10) ±11	1728 / (10) ±16

^ ความเข้มข้นซีโอดีละลาย

^b ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย



รูปที่ 4.3 ค่าตัวแปรผลการทำงานของระบบที่ศึกษาดูดกลืนการทดลองดังปฏิกรณ์ที่ 3

จากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงให้เห็นว่า ตลอดการทดลองของถังปฏิกรณ์หมายเลข 3 ระบบมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้อย่างสม่ำเสมอถึงแม้จะมีการเปลี่ยนค่าความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตน้ำเข้าไปตามเงื่อนไขของแต่ละการทดลองก็ตาม โดยพิจารณาได้จากค่าซีโอดีน้ำออก ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง และจากรูปที่ 4.2 (ข) แสดงผลการทดลองตัวแปรซัลเฟต และซัลไฟด์ตลอดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าในลำดับการทดลองที่ 1 และ 2 ซึ่งระบบต้องรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟต 200 มก./ล. ค่าซัลเฟตน้ำออกมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามในช่วงที่พยายามเพิ่มระดับความเข้มข้นซัลเฟต ระบบสามารถใช้ซัลเฟตได้ค่อนข้างช้าจึงต้องเปลี่ยนแผนการทดลองใหม่ทั้งหมด โดยเริ่มทดลองใหม่ที่ อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 2 ก่อน ทั้งนี้เพราะระบบคุ้นกับการรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเข้าสูงถึง 867 มก./ล. มาแล้ว จากผลของช่วงที่พยายามเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตโดยที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 2 ต้องการระดับความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเข้าเพียง 400 มก./ล. เท่านั้น ดังนั้น เมื่อลดความเข้มข้นของซัลเฟตน้ำเข้าเหลือ 400 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 4 และการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเข้าในลำดับการทดลองที่เหลื่อต่อๆมา ซึ่งจะเป็นการลดค่าความเข้มข้นซัลเฟตลงทั้งหมด ระบบจึงสามารถปรับตัวได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภายในระบบมีเชื้อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตสะสมเพิ่มขึ้นในปริมาณมากพอ และเหมาะสมกับความเข้มข้นซัลเฟตที่ใช้ดังกล่าว ซึ่งสังเกตได้จากค่าความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำออกซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำอย่างสม่ำเสมอ และความเข้มข้นซัลไฟด์ในน้ำออกที่ได้ก็มีความสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน ซึ่งก็เป็นลักษณะเดียวกับที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 และสำหรับค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วัน ที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 (ค) มีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ คือ มีค่าลดต่ำลงจากค่าเฉลี่ย 1776 มล./วัน ในลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 800 มก./ล. และซัลเฟตเท่ากับ 200 มก./ล. เป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1214 มล./วัน ในลำดับการทดลองที่ 4 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 800 มก./ล. และซัลเฟตเท่ากับ 400 มก./ล. เนื่องจากสัดส่วนของซีโอดีที่ถูกแย่งใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีค่ามากขึ้นจากผลของการเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า และเมื่อค่าความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเป็น 600 มก./ล. และ 300 มก./ล. ในลำดับการทดลองที่ 5 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันก็มีค่าลดต่ำลงอีกโดยมีค่าเหลือเท่ากับ 962 มล./วัน โดยการลดลงของค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันในครั้งนี้ เหตุผลสำคัญเกิดจากค่าซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าลดลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ในลำดับการทดลองที่ 6 ซึ่งความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 800 มก./ล. และความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเหลือ 200 มก./ล. ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1662 มล./วัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าในลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งค่าความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตน้ำเข้าควบคุมเท่ากัน และในลำดับการทดลองที่ 7 ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าลดลงเป็น 600 มก./ล. และความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าลดลงเหลือ 150 มก./ล. ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันก็มีค่าลดต่ำลงอีกโดยมีค่าเหลือเท่ากับ 1230 มล./วัน โดยสาเหตุหลักของการลดลงของค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันในครั้งนี้เกิดจากค่าซีโอดีในน้ำเข้ามีค่าลดลงอีกครั้งนั่นเอง. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในลำดับการทดลองที่ 5 ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าควบคุมเท่ากัน คือ 600 มก./ล. พบว่าค่าปริมาณก๊าซชีวภาพ/วันในลำดับการทดลองที่ 7 จะมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้

เนื่องจากสัดส่วนซีโอไซด์ที่ถูกใช้โดยแบคทีเรียผลิตมีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการลดความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้านั่นเอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียผลิตมีเทนสามารถกลับมามีบทบาทในการแย่งใช้สารอาหารเพื่อผลิตก๊าซมีเทนให้มีค่ามากขึ้นได้ ถ้าแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตถูกลดบทบาทลงจากการลดความเข้มข้นของซัลเฟตน้ำเข้า ซึ่งก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2 และจากรูป 4.3 (จ) แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่าพีเอชน้ำออก ในช่วงก่อนที่จะมีการเพิ่มปริมาณต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 6.4-6.7 แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ของระบบซึ่งมีค่าสูงอย่างคงที่ตลอดการทดลอง และภายหลังการเพิ่มปริมาณต่างโดยสังเกตได้จากค่าสภาพต่างทั้งหมดน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นในรูปที่ 4.3 (ง) ซึ่งกำหนดการเพิ่มอัตราส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดต่อซีโอไซด์ จากเดิม 0.5 ให้เป็น 0.75 พบว่าค่าพีเอชน้ำออกของชุดการทดลองตามแผนการทดลองใหม่ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยค่าพีเอชน้ำออกที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 6.8-7.0 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการทำงานของระบบมากยิ่งขึ้น และสำหรับข้อมูลอุณหภูมิซึ่งแสดงในรูป 4.3(ฉ) พบว่าอุณหภูมิน้ำออกมีค่าสูงกว่าน้ำเข้าเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียในระบบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งในน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าอยู่ในช่วง 28- 32 °C ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มมีโซฟิลิก (mesophilic bacteria) ซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25- 40 °C Metcalf&Eddy,(1991) โดยค่าอุณหภูมิในช่วงลำดับการทดลองที่ 3 จะมีความแตกต่างระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาวจึงทำให้อุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าต่ำกว่าปกติ ขณะที่น้ำออกมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าปกติเล็กน้อย เนื่องจากผลของการใช้ไฟสปอร์ดีไลต์ต้องเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์ที่ 1 และ 2

จากผลการทำงานของระบบในภาพรวมของถังปฏิกรณ์ที่ 3 แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายน้ำเสียของระบบที่มีผลการทำงานอย่างดีสม่ำเสมอและสามารถเข้าสู่ภาวะสมดุล(steady state) ได้ อย่างรวดเร็ว ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆที่เก็บผลได้จากช่วงที่ 4, 5, 6 และ 7 ทั้งหมด ถือว่าเป็นผลการทดลองที่มีความสม่ำเสมอเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนของผลการทดลองของระบบที่อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลได้

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 อิทธิพลของระดับความเข้มข้นซีโอดี และซัลเฟตต่อระบบยูเอเอสบี

ในการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซีโอดี และซัลเฟตต่อระบบยูเอเอสบี จะจัดกลุ่มวิเคราะห์ผลตามค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเป็นหลักซึ่งมีอยู่ 2 ค่า คือ ค่า 4 และ 2 โดยแต่ละค่าอัตราส่วนจะมีความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตอยู่อัตราส่วนละ 5 ค่าโดยในแต่ละระดับความเข้มข้นจะดึงข้อมูลผลการทำงานจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 3 ถัง ในลำดับการทดลองต่างๆเพื่อนำมาวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และจะได้วิเคราะห์ผลการทำงานของระบบในตัวอย่างแปรต่าง ดังนี้ ซีโอดี, ซัลเฟตร่วมกับซัลไฟด์, ก๊าซชีวภาพ, ค่าสภาพล้าง กรดไขมันระเหยร่วมกับพีเอช และ ค่าไออาร์พี

ตารางที่ 4.6 การจัดกลุ่มวิเคราะห์ผลตามค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต

อัตราส่วนซีโอดี ต่อซัลเฟต	ความเข้มข้น (มก./ล.)		ถังปฏิกรณ์	ลำดับ การทดลอง
	ซีโอดี	ซัลเฟต		
4	400	100	1	5
	600	150	3	7
	800	200	3	6
	1000	250	2	7
	1200	300	2	6
2	400	200	1	4
	600	300	3	5
	800	400	3	4
	1000	500	2	5
	1200	600	2	4



4.3.1 ซีไอดี

ค่าซีไอดีน้ำออกของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ซีไอดีในรูปสารอินทรีย์ละลายที่เหลือจากการใช้ของแบคทีเรีย, ซีไอดีในรูปซัลไฟด์จากการทำงานของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและซีไอดีในรูปของแฉิ่งแขวนลอยที่หลุดออกจากระบบ และจะทำให้ค่าซีไอดีทั้งหมดในน้ำออกจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์. ในกรณีที่มีขั้นตอนการไล่ซัลไฟด์ออกก่อน เนื่องจากสามารถวัดซัลไฟด์ ออกมาในรูปซีไอดีได้ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามเหตุผลในการไล่ซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำออกที่วิเคราะห์ซีไอดีเป็นไปเพื่อต้องการอ่านเฉพาะค่าซีไอดีในรูปสารอินทรีย์ละลายหรือในรูปของแฉิ่งแขวนลอยเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้สารอินทรีย์ของแบคทีเรีย และความสามารถในการทำน้ำใสของตัว-ตกตะกอนของถังปฏิกรณ์ที่ใช้ ดังนั้นค่าซีไอดีน้ำออกที่รายงานผลจะเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่มีขั้นตอนการไล่ซัลไฟด์ โดยต่อไปจะเรียกค่าซีไอดีละลายไล่ซัลไฟด์น้ำออกว่า ค่าซีไอดีละลาย และเรียก ค่าซีไอดีทั้งหมดไล่ซัลไฟด์น้ำออกว่า ค่าซีไอดีทั้งหมด โดยผลต่างระหว่างค่าซีไอดีทั้งหมด และ ค่าซีไอดีละลาย จะเป็นซีไอดีในรูปของแฉิ่งแขวนลอย และเรียกว่า ค่าซีไอดีของแฉิ่งแขวนลอย ขณะที่ค่าซีไอดีน้ำเข้า หมายถึง ค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าระบบ

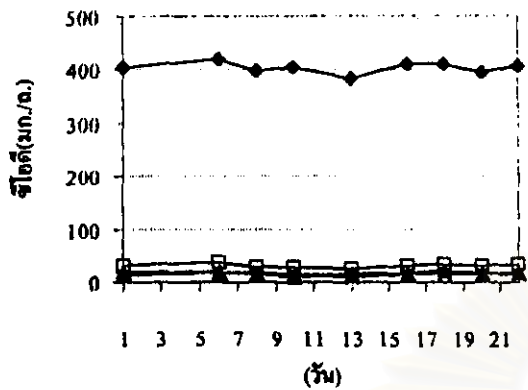
โดยข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ ในแต่ละระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตแสดงในตารางที่ 4.7 และจากข้อมูลในตารางที่ 4.7 ค่าซีไอดีน้ำเข้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 404, 622, 825, 1010 และ 1221 มก./ล. สำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และเท่ากับ 412, 597, 814, 1028 และ 1214 มก./ล. สำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 โดยมีค่าควบคุมอยู่ที่ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 มก./ล. ตามลำดับซึ่งค่าเฉลี่ยจริงที่ได้จากการทดลองมีความเบี่ยงเบนจากค่าควบคุมในแต่ละระดับความเข้มข้นเล็กน้อย ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายๆ ขั้นตอน เช่น การเตรียมน้ำเสีย, การเก็บตัวอย่าง รวมทั้งขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำทำให้ค่าที่ได้ไม่ตรงกับค่าควบคุมที่ต้องการ อย่างไรก็ตามถือว่าค่าเฉลี่ยที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าควบคุมน้อยมาก โดยมีการเบี่ยงเบนมากที่สุดเท่ากับ +3.7% สำหรับค่า 622 มก./ล. จากค่าควบคุม 600 มก./ล. และสำหรับผลค่าซีไอดีน้ำออกสำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 ได้ค่าเฉลี่ยซีไอดีทั้งหมดเท่ากับ 30.9, 38.9, 67.3, 77.6 และ 85.7 มก./ล. และค่าเฉลี่ยซีไอดีละลายเท่ากับ 16.3, 21.8, 31.3, 28.4 และ 32.4 มก./ล. โดยค่าเฉลี่ยซีไอดีของแฉิ่งแขวนลอยเท่ากับ 14.7, 17, 36, 49.3 และ 53.3 มก./ล. สำหรับค่าเฉลี่ยซีไอดีน้ำเข้า 404, 622, 825, 1010 และ 1221 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ค่าซีไอดีน้ำออกสำหรับอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 ได้ค่าเฉลี่ยซีไอดีทั้งหมดเท่ากับ 23.5, 37, 62.8, 69.1 และ 76 มก./ล. และค่าเฉลี่ยซีไอดีละลายเท่ากับ 16.9, 22.4, 22.6, 29.4 และ 24.9 มก./ล. โดยค่าเฉลี่ยซีไอดีของแฉิ่งแขวนลอยเท่ากับ 6.6, 14.6, 38.4, 39.8 และ 51.1 มก./ล. สำหรับค่าเฉลี่ยซีไอดีน้ำเข้า 412, 597, 814, 1028 และ 1214 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่าซีไอดีของน้ำเสียเข้าและออกจากระบบ

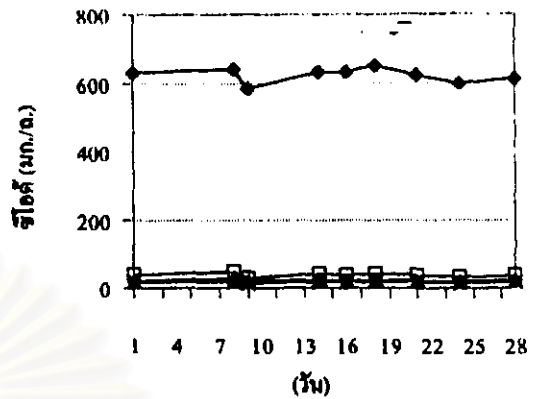
ความเข้มข้น ซีไอดี ความคุม (มก./ล.)	ความเข้มข้นน้ำเข้า(มก./ล.)				ความเข้มข้นซีไอดีน้ำออก(มก./ล.)					
	ซีไอดี		ซัลเฟต		ทั้งหมด		ละลาย		ของแข็ง แขวนลอย	
	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
400	404	412	106	206	30.9	23.5	16.3	16.9	14.7	6.6
SD	±11	±22	±8	±11	±4.2	±6.4	±3.4	±5.1	±2.1	±4
N	(9)	(11)	(12)	(11)	(9)	(11)	(9)	(11)	(9)	(11)
600	622	597	153	310	38.9	37.0	21.8	22.4	17.0	14.6
SD	±21	±29	±6	±13	±4.7	±4.5	±3.2	±3.8	±2.3	±4.6
N	(9)	(9)	(9)	(12)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
800	825	814	208	418	67.3	62.8	31.3	22.6	36.0	38.4
SD	±27	±30	±9	±21	±8.5	±5.3	±7.4	±4.5	±3.9	±5.2
N	(8)	(11)	(8)	(11)	(8)	(11)	(8)	(11)	(8)	(7)
1000	1010	1028	255	512	77.6	69.1	28.4	29.4	49.3	39.8
SD	±41	±64	±8	±14	±7.3	±11	±6.4	±9.2	±4.0	±4.8
N	(7)	(8)	(10)	(11)	(7)	(8)	(7)	(8)	(7)	(8)
1200	1221	1214	304	621	85.7	76.0	32.4	24.9	53.3	51.1
SD	±32	±38	±10	±26	±4.3	±8.6	±5.4	±9	±4.7	±8.2
N	(7)	(9)	(12)	(11)	(7)	(9)	(7)	(9)	(7)	(9)

โดยรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงค่าซีไอดีน้ำเข้า, ค่าซีไอดีทั้งหมด และค่าซีไอดีละลายในแต่ละระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตตลอดการทดลองของอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

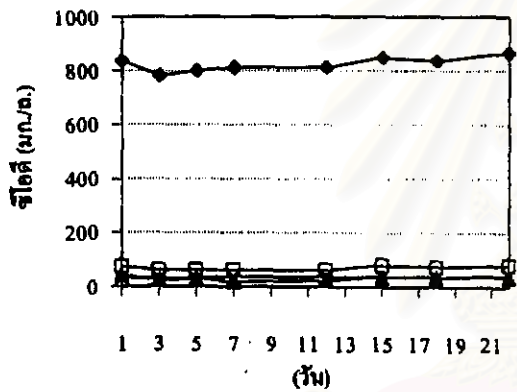
● น้ำเข้า □ น้ำออกทั้งหมด ▲ น้ำออกกลาง * ขอบเข็งแขวนลอย



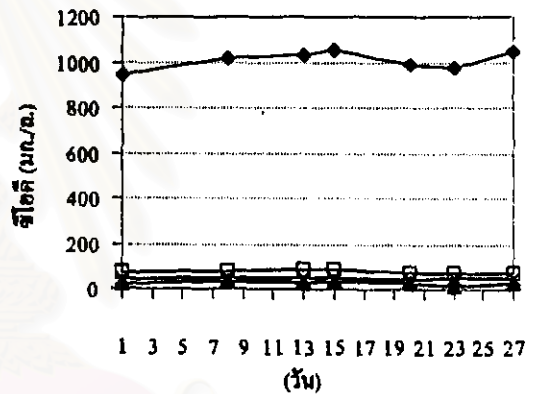
(ก) ซีโอดี 400มก./ล. ชัดเฟด 100มก./ล.



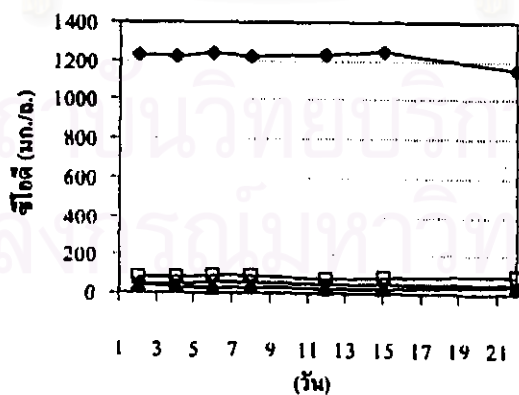
(ข) ซีโอดี 600มก./ล. ชัดเฟด 150มก./ล.



(ค) ซีโอดี 800มก./ล. ชัดเฟด 200มก./ล.



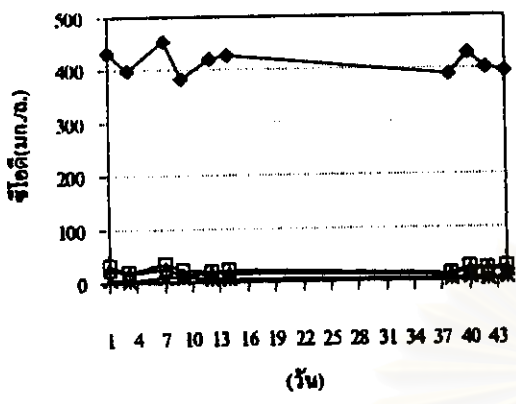
(ง) ซีโอดี 1000มก./ล. ชัดเฟด 250มก./ล.



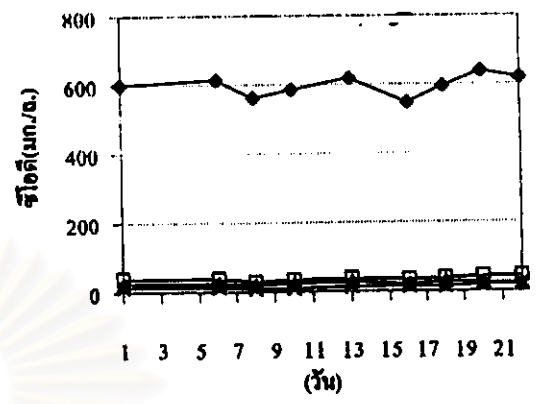
(จ) ซีโอดี 1200มก./ล. ชัดเฟด 300มก./ล.

รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชัดเจน 4

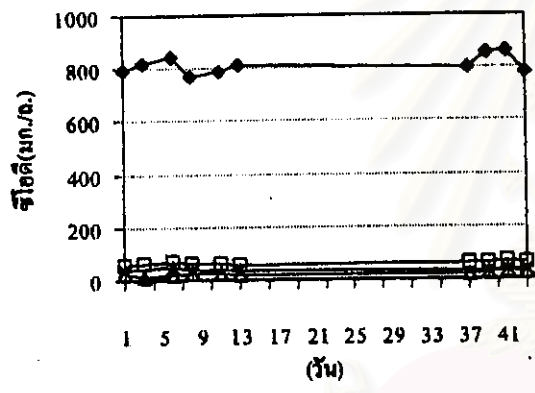
◆ น้ำเข้า □ น้ำออกทั้งหมด ▲ น้ำออกกลาง * ของแข็งแขวนลอย



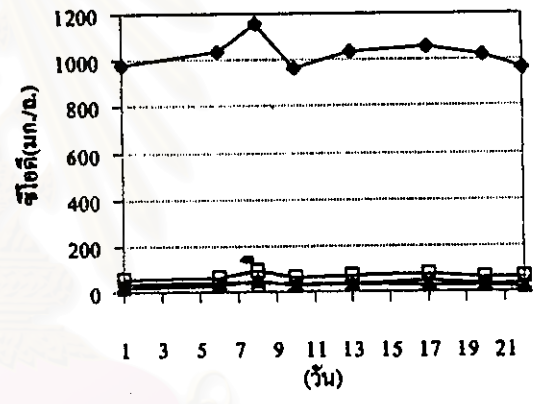
(ก) ซีไอดี 400มก./ด. ชั้ดเฟ้ด 200มก./ด.



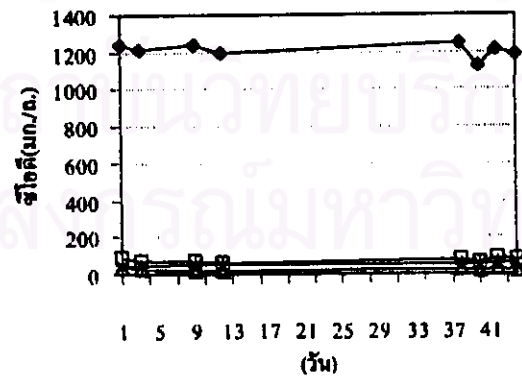
(ข) ซีไอดี 600มก./ด. ชั้ดเฟ้ด 300มก./ด.



(ค) ซีไอดี 800มก./ด. ชั้ดเฟ้ด 400มก./ด.



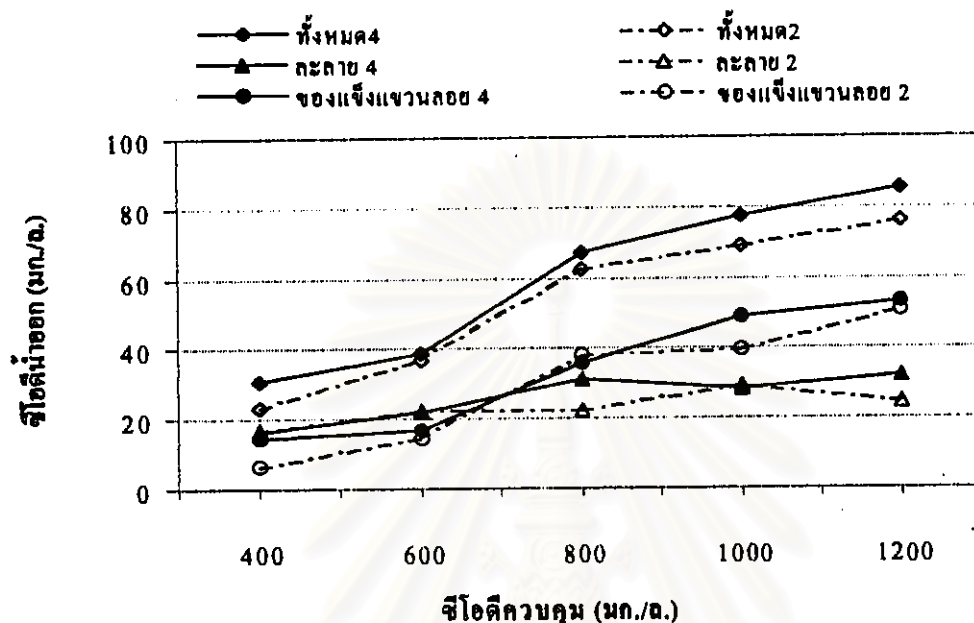
(ง) ซีไอดี 1000มก./ด. ชั้ดเฟ้ด 500มก./ด.



(จ) ซีไอดี 1200มก./ด. ชั้ดเฟ้ด 600มก./ด.

รูปที่ 4.5 ค่าซีไอดีตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีไอดีต่อชั้ดเฟ้ด 2

สำหรับอิทธิพลจากระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตต่อความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก พิจารณาได้จากรูปที่ 4.6 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำออก ตามระดับความเข้มข้นซีโอดีความคุมของทั้งอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำออก ตามระดับความเข้มข้นซีโอดีความคุม

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต ผลค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำออกต่าง แสดงแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าเพิ่มขึ้นหรือภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าซีโอดีละลาย และค่าซีโอดีของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในส่วนของแนวโน้มซีโอดีของแข็งแขวนลอยที่มีค่าสูงขึ้นเกิดจากผลของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดความปั่นป่วนภายในวัฏภาคน้ำได้มากขึ้น และส่งผลให้โอกาสที่ตะกอนแขวนลอยจะหลุดเข้าสู่ตัวถดตะกอนซึ่งอยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์มีโอกาสมากขึ้น จนทำให้ความสามารถในการทำน้ำใสของตัวถดตะกอนลดลง โดยแสดงให้เห็นในรูปของซีโอดีของแข็งแขวนลอยที่มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเข้มข้นซีโอดีละลายก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าเช่นเดียวกัน โดยแนวโน้มดังกล่าวเป็นลักษณะปกติของการทำงานของแบคทีเรีย กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นสารอาหารในระบบสูงขึ้น โดยเวลากักน้ำและปริมาณเชื้อในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นสารอาหารออกจากระบบจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรืออาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรียจะหุ้มเฟื่องมากขึ้นในการใช้สารอาหารเมื่อมีสารอาหารเข้าระบบมากขึ้น ดังนั้นเมื่อสารอาหารเข้ามากขึ้น แบคทีเรียไม่จำเป็นต้องใช้ความพยายามในการดึงสารอาหารเข้าสู่เซลล์จนสารอาหารในตัวกลาง

ถึงระดับต่ำเท่ากับที่เมื่อมีปริมาณสารอาหารเข้าน้อยกว่าแต่ก็สามารถได้ปริมาณอาหารเข้าสู่เซลล์เท่ากัน หรือมากกว่าได้ ถ้าค่าสารอาหารเข้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น

และเมื่อเปรียบเทียบในระหว่างอัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟตพบว่าค่าซีไอคิตของแฉ่งแขวนลอยในการทดลองที่มีความเข้มข้นซัลเฟตสูงส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า การทดลองที่ค่าซัลเฟตน้ำเข้าต่ำเมื่อความเข้มข้นซีไอคิตน้ำเข้าควบคุมเท่ากัน ทั้งนี้เป็นเหตุผลเกี่ยวกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน โดยในการทดลองที่มีซัลเฟตน้ำเข้าสูง ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการทดลองที่มีซัลเฟตน้ำเข้าต่ำ เนื่องจากชุดที่มีซัลเฟตน้ำเข้าสูง ค่าซีไอคิตน้ำเข้าจะถูกใช้ไปในปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันมากขึ้น และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาซัลเฟตรีดักชันจะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซมีเทนซึ่งได้จากปฏิกิริยาการผลิตมีเทนอย่างมาก สำหรับค่าซีไอคิตละลายของการทดลองที่มีค่าซีไอคิตควบคุมเท่ากับ 400, 600 และ 1000 มก./ล. ของทั้งที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 4 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ความเข้มข้นซีไอคิตควบคุม 800 และ 1200 มก./ล. ค่าเฉลี่ยซีไอคิตละลายของการทดลองที่มีอัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 2 มีค่าต่ำกว่า ที่อัตราส่วน 4 อย่างเห็นได้ชัด คือเท่ากับ 7.7 และ 6.5 มก./ล. ซึ่งต่ำกว่า 24.6 และ 20.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไม่สามารถให้เหตุผลและสรุปได้อย่างชัดเจนว่า ที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟตต่ำกว่าระบบจะสามารถผลิตน้ำออกที่มีค่าซีไอคิตละลายได้ต่ำกว่าจริง

จากผลการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของค่าซีไอคิตของแฉ่งแขวนลอยเมื่อปริมาณก๊าซเกิดมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าในการออกแบบระบบยูเอเอสบีสำหรับ เงื่อนไขที่โอกาสก๊าซชีวภาพเกิดได้มาก ผู้ออกแบบต้องให้ความสำคัญกับรายละเอียดของอุปกรณ์แยกสามสถานะ และตัวคกตะกอนของถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบยูเอเอสบีทั้งในเชิงของการกำจัดซีไอคิตทั้งหมด และในเชิงของการป้องกันเชื้อแบคทีเรียหลุดออกจากระบบ นอกจากนี้ในส่วนของความเข้มข้นซีไอคิตละลาย ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 16-32 มก./ล. แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดไร้อากาศสามารถผลิตน้ำออกในส่วน of สารอาหารละลายให้มีค่าในระดับความเข้มข้นต่ำได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตแสดงในตารางที่ 4.8 โดยรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เมื่อเทียบกับค่าซีโอดีทั้งหมดและเมื่อเทียบกับค่าซีโอดีตกภายในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตตลอดการทดลองของการทดลองมีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

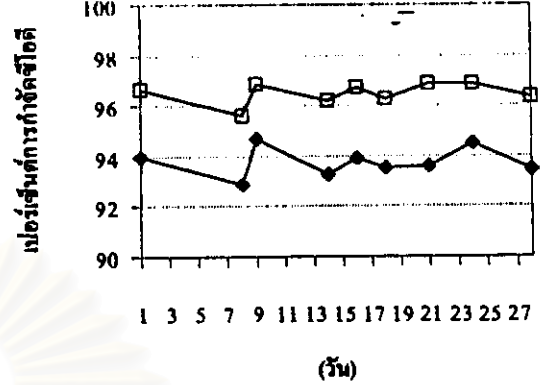
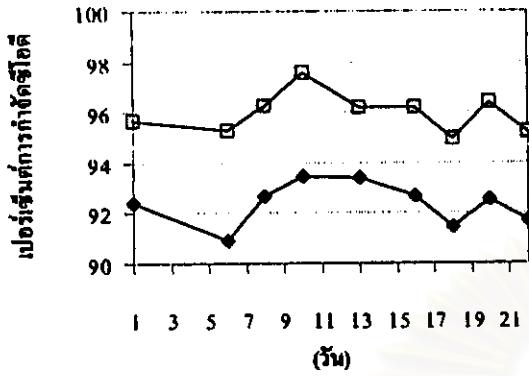
ตารางที่ 4.8 ค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ความเข้มข้นซีโอดีกวม (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี(%)				ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบม.-วัน)		อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตจริง*	
	ทั้งหมดได้ H ₂ S		ละลายได้ H ₂ S		4	2	4	2
	4	2	4	2				
400	92.4	94.3	96.0	95.9	1.08	1.10	3.85	2.01
SD	±0.9	±1.3	±0.8	±1.0	±0.03	±0.06	±0.23	±0.09
N	(9)	(11)	(9)	(11)	(9)	(11)	(9)	(11)
600	93.8	93.8	96.5	96.3	1.66	1.59	4.07	1.90
SD	±0.6	±0.5	±0.4	±0.6	±0.06	±0.08	±0.12	±0.10
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
800	91.9	92.3	96.2	97.2	2.20	2.17	3.97	1.95
SD	±0.8	±0.6	±0.8	±0.5	±0.07	±0.08	±0.18	±0.09
N	(8)	(11)	(8)	(11)	(8)	(11)	(8)	(11)
1000	92.3	93.3	97.2	97.2	2.72	2.76	4.02	2.03
SD	±0.5	±0.6	±0.6	±0.7	±0.08	±0.16	±0.23	±0.11
N	(7)	(8)	(7)	(8)	(7)	(8)	(7)	(8)
1200	93.0	93.7	97.3	98.0	3.26	3.23	4.02	1.96
SD	±0.5	±0.6	±0.5	±0.7	±0.08	±0.10	±0.07	±0.08
N	(8)	(9)	(8)	(9)	(8)	(9)	(8)	(9)

*อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตจริง (หน่วย (มก.ซีโอดี/ล.)/(มก./ล.ซัลเฟต/ล.))

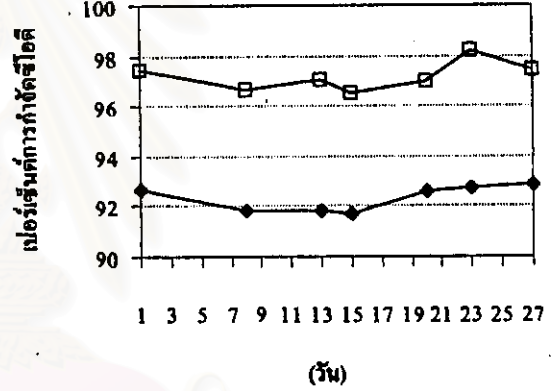
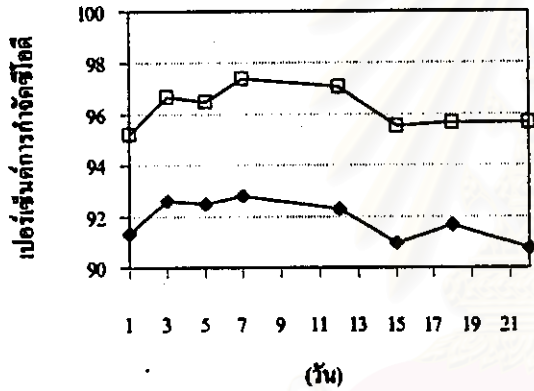
—●— ประสิทธิภาพซีโอดีทั้งหมด

—□— ประสิทธิภาพซีโอดีละลาย



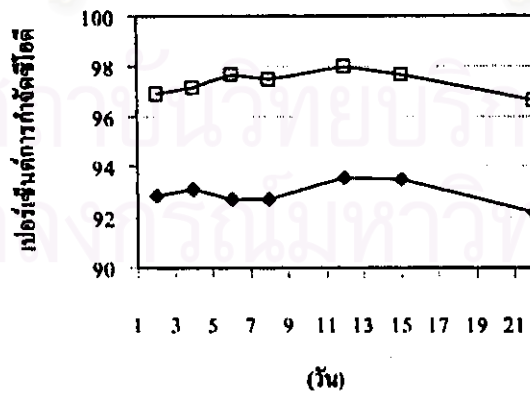
(ก) ซีโอดี 400มก./ด. ซัดเฟต 100มก./ด.

(ข) ซีโอดี 600มก./ด. ซัดเฟต 150มก./ด.



(ค) ซีโอดี 800มก./ด. ซัดเฟต 200มก./ด.

(ง) ซีโอดี 1000มก./ด. ซัดเฟต 250มก./ด.

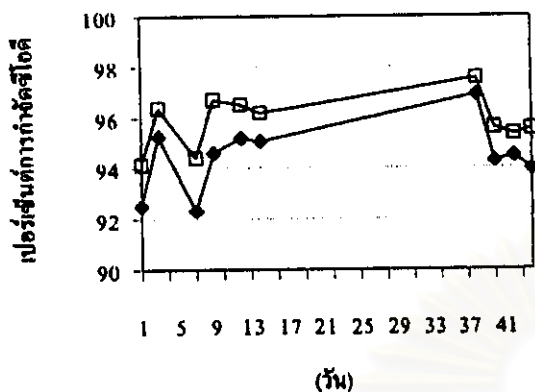


(ด) ซีโอดี 1200มก./ด. ซัดเฟต 300มก./ด.

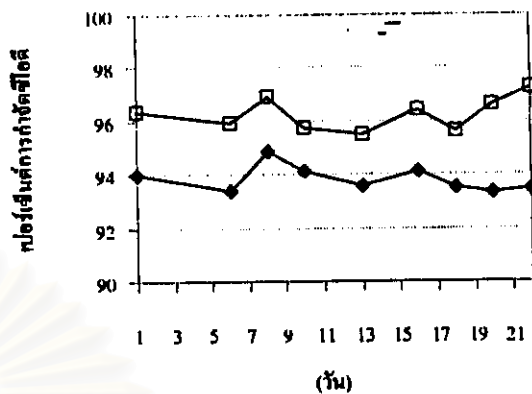
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัดเฟต 4

—●— ประสิทธิภาพซีโอดีทั้งหมด

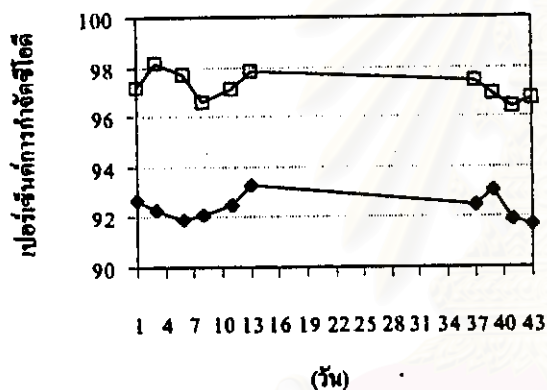
—□— ประสิทธิภาพซีโอดีละลาย



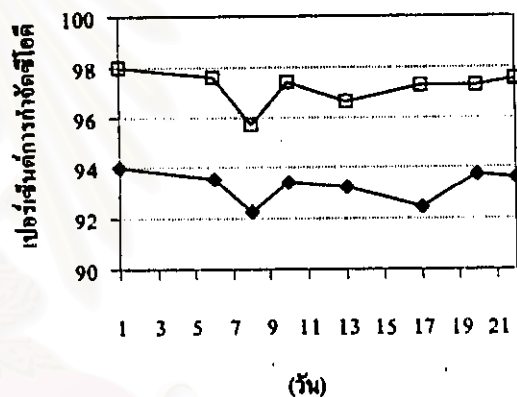
(ก) ซีโอดี 400มก./ด. ชัดเฟต 200มก./ด.



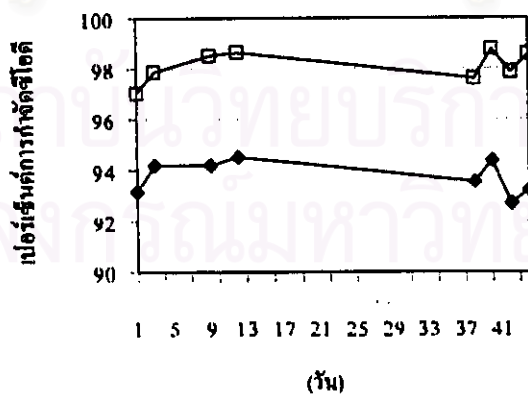
(ข) ซีโอดี 600มก./ด. ชัดเฟต 300มก./ด.



(ค) ซีโอดี 800มก./ด. ชัดเฟต 400มก./ด.



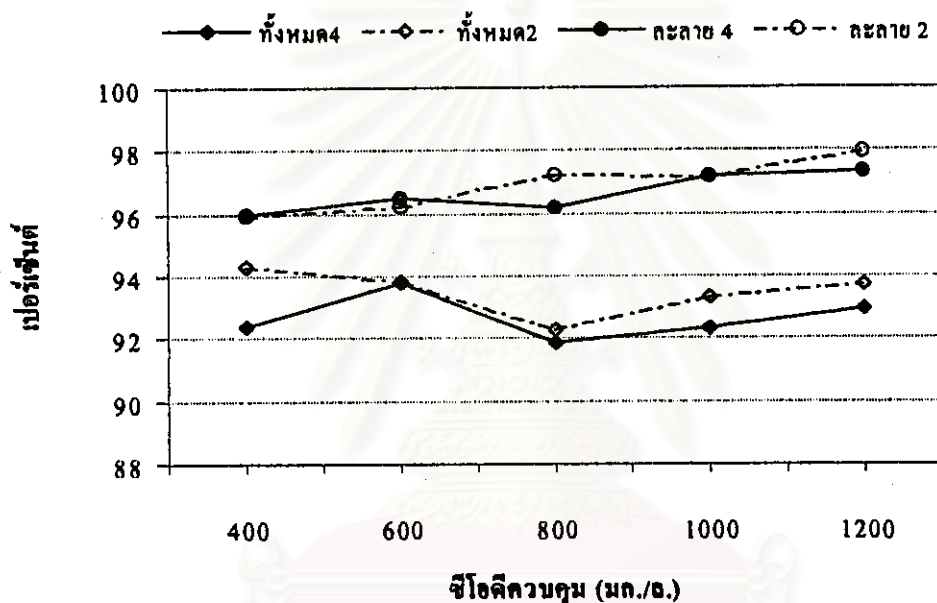
(ง) ซีโอดี 1000มก./ด. ชัดเฟต 500มก./ด.



(ด) ซีโอดี 1200มก./ด. ชัดเฟต 600มก./ด.

รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชัดเฟต 2

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.4, 93.8, 91.9, 92.3 และ 93.0 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96, 96.5, 96.2, 97.2 และ 97.3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำ-เข้า 404, 622, 825, 1010 และ 1221 มก./ล. ตามลำดับ และที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.3, 93.8, 92.3, 93.3 และ 93.7 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.9, 96.3, 97.2, 97.2 และ 98.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำ-เข้า 412, 597, 814, 1028 และ 1214 มก./ล.ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระดับความเข้มข้นซีโอดีความคุมของทั้งสองอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต



รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระดับความเข้มข้นซีโอดีความคุม

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต พบว่าที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 ผลของการแปรค่าระดับความเข้มข้นซี โอดีและซัลเฟตที่ใช้ในงานวิจัยไม่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เด่นชัดต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอ ดีทั้งหมด โดยประสิทธิภาพในการกำจัดดังกล่าวมีค่าสูง ในระดับ 91.9 – 93.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าประ เติษภาพการกำจัดซีโอดีละลายถึงแม้จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้นแต่ก็เพิ่มขึ้นเพียง เล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงค่าตัวเลขประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายของทุกระดับความเข้มข้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงค่าสูงเท่ากับ 96-97.4 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แนวโน้มการเพิ่มดังกล่าวไม่ถือว่ามีนัยสำคัญ

และสำหรับอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 2 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ทั้งหมดจะมีค่าอยู่ในช่วง 92.3 - 94.3 เปอร์เซ็นต์ และไม่ได้แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใดๆที่ชัดเจนเมื่อความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟตสูงขึ้นในช่วงที่ใช้ในงานวิจัยเช่นเดียวกัน และสำหรับค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ละลายซึ่งอยู่ในช่วง 95.9 - 97.9 เปอร์เซ็นต์ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้น แต่แนวโน้มการเพิ่มดังกล่าวไม่ถือว่ามีความสำคัญ ซึ่งเป็นแนวโน้มที่มีลักษณะร่วมกันของทั้งสองอัตราส่วนเกี่ยวกับค่าประสิทธิภาพกำจัดซีโอไซด์ละลาย และเมื่อพิจารณาในระหว่างอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตพบว่า การแปรค่าอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตเท่ากับ 2 และ 4 ไม่แสดงผลต่างอย่างเพียงพอ ที่จะสรุปถึงผลของตัวแปรอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ละลาย แต่จะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ทั้งหมดโดยที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 2 จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะผลของค่าซีโอไซด์ของแข็งแขวนลอยที่อัตราส่วน 4 มีมากกว่าอัตราส่วน 2 เนื่องจากผลของก๊าซเกิดขึ้นมากกว่าทำให้มีซีโอไซด์แขวนลอยออกจากระบบมากขึ้นนั่นเอง

โดยเมื่อสรุปภาพรวมเกี่ยวกับอิทธิพลของระดับความเข้มข้นซีโอไซด์ต่อซัลเฟต ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ในงานวิจัยนี้พบว่าผลของการเพิ่มระดับความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟต ในทั้งอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 และ 2 ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีความสำคัญน้อยมาก ขณะที่การเพิ่มระดับความเข้มข้นดังกล่าวไม่ทำให้เกิดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใดๆ อย่างมีความสำคัญเช่นเดียวกันในกรณีของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ทั้งหมด ซึ่งกล่าวได้ว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟต ในขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ที่ได้ซึ่งมีค่าสูง โดยผลของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ของทุกๆ การทดลองมีค่าสูงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ทั้งในเชิงการกำจัดซีโอไซด์ทั้งหมดและการกำจัดซีโอไซด์ละลาย โดยเหตุผลสำหรับผลของค่าประสิทธิภาพดังกล่าว จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยพื้นฐาน 2 ส่วนคือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อม และปัจจัยควบคุมการทำงานของแบคทีเรียซึ่งต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เช่น ค่าพีเอชอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจากการเติมค่าสภาพค่าอย่างพอเพียง, ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม, ไม่มีผลของสารพิษต่างๆ ถึงแม้จะมีซัลไฟด์เกิดขึ้นแต่ก็ยังไม่ถึงระดับที่ทำให้เกิดการยับยั้ง, การเติมธาตุอาหารที่จำเป็นอย่างเพียงพอ นอกจากนี้การควบคุมอัตราไหลน้ำเข้าอย่างสม่ำเสมอ, ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.26 กก.ซีโอไซด์/ลบ.ม.-วัน ซึ่งอยู่ในช่วงต่ำ และปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่มีปริมาณมาก และสามารถเก็บกักอยู่ในระบบได้ รวมทั้งชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้ คือน้ำตาลทรายซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้ง่าย ล้วนเป็นเหตุผลที่สำคัญต่อค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอไซด์ของผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัย ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมและปัจจัยควบคุมการทำงานอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นภายในระบบไม่อยู่ในช่วงที่ทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย การเพิ่มบทบาทมากขึ้นของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการบำบัดไร้อากาศไม่มีผลกระทบต่อภาพรวมของระบบในเชิงของการใช้สารอาหารอินทรีย์แต่อย่างใด

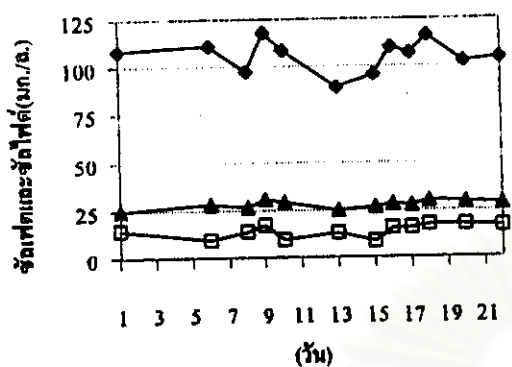
4.3.2 ชัลดเฟด, เปอร์เซ็นต์ชัลดเฟดรีดักชัน และชัลดไฟด์

ข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าความเข้มข้นชัลดเฟดของน้ำเข้าและออกจากระบบ, ค่าเปอร์เซ็นต์ชัลดเฟดรีดักชัน และค่าเฉลี่ยชัลดไฟด์ทั้งหมดน้ำออกและชุดดักก๊าซ ในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและชัลดเฟดแสดงในตารางที่ 4.9 โดยรูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงค่าความเข้มข้นชัลดเฟดน้ำเข้าและน้ำออกพร้อมกับค่าชัลดไฟด์ทั้งหมดน้ำออก ของชุดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชัลดเฟด 4 และ 2 ตามลำดับ ขณะที่รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดชัลดเฟดรีดักชันของชุดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชัลดเฟด 4 และ 2 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

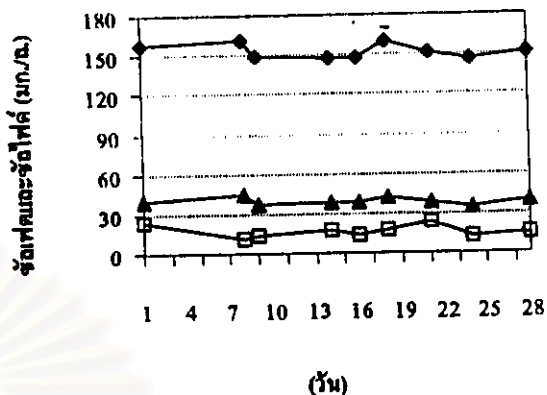
ตารางที่ 4.9 สรุปผลการทดลองค่าชัลดเฟดและชัลดไฟด์

ความเข้มข้น ซีโอดีความคุม (มก./ล.)	ความเข้มข้นชัลดเฟด(มก./ล.)				ความเข้มข้นชัลดไฟด์(มก./ล.)				เปอร์เซ็นต์ ชัลดเฟดรีดักชัน	
	น้ำเข้า		น้ำออก		น้ำออกทั้งหมด		ชุดดักก๊าซ			
	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
400	106	206	13.9	18.3	27.9	54.3	4.5	7.5	86.8	91.1
SD.	± 8	± 12	± 3.3	± 5.2	± 1.8	± 2.9	± 0.7	± 1.1	± 2.9	± 2.4
N	(12)	(11)	(12)	(11)	(12)	(11)	(10)	(10)	(12)	(11)
600	153	310	16.4	20.1	39	84.7	6.6	22.5	89.3	93.5
SD.	± 6	± 13	± 4.4	± 7.1	± 2.8	± 3.8	± 0.6	± 3.5	± 2.8	± 2.2
N	(9)	(12)	(9)	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(9)	(12)
800	208	418	16.8	23.7	55.2	114.9	13.2	49.7	92	94.3
SD.	± 9	± 21	± 7.2	± 8.9	± 3.6	± 7.4	± 2.1	± 2.8	± 3.3	± 2.1
N	(8)	(11)	(8)	(11)	(12)	(11)	(12)	(10)	(8)	(11)
1000	255	512	20.7	25.3	67.7	134	21.3	83.2	91.9	95.1
SD.	± 8	± 14	± 7	± 5	± 2.8	± 5.3	± 3.1	± 5.6	± 2.6	± 0.9
N	(10)	(11)	(10)	(11)	(10)	(11)	(10)	(10)	(10)	(11)
1200	304	621	22.4	30.5	78.7	167.5	31	121	92.7	95.1
SD.	± 10	± 26	± 5.4	± 7.8	± 4.3	± 11	± 3.3	± 11	± 1.7	± 1.1
N	(12)	(11)	(12)	(11)	(12)	(11)	(10)	(10)	(12)	(11)

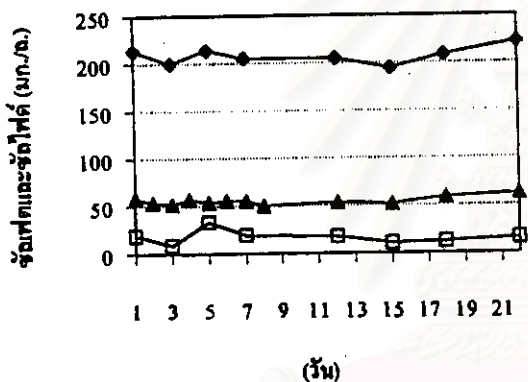
● ชัดเฟตน้ำขี้ □ ชัดเฟตน้ำออก ▲ ชัดไฟค้ำน้ำออก



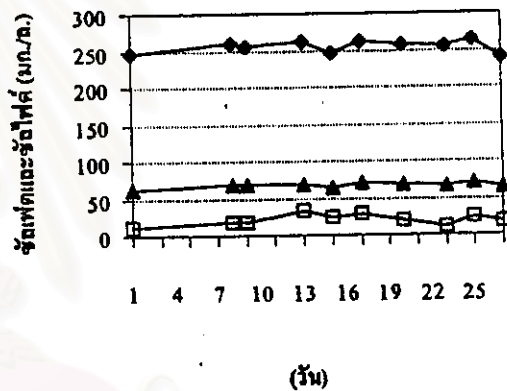
(ก) ซีโอดี 400มก./ล. ชัดเฟต 100มก./ล.



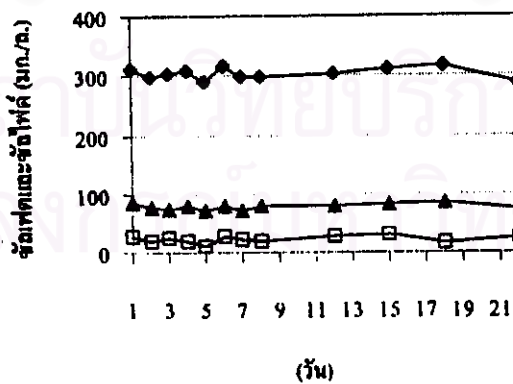
(ข) ซีโอดี 600มก./ล. ชัดเฟต 150มก./ล.



(ค) ซีโอดี 800มก./ล. ชัดเฟต 200มก./ล.

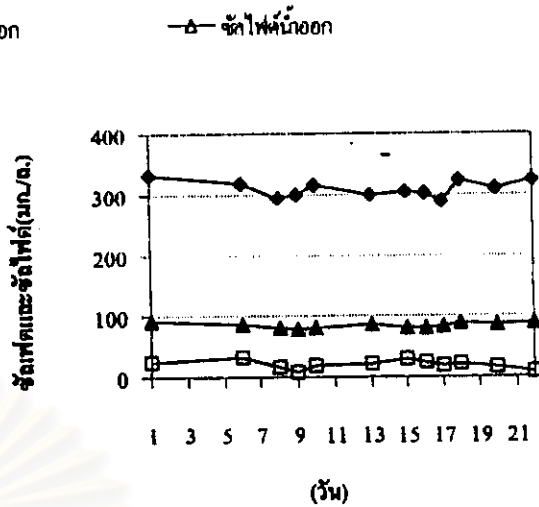
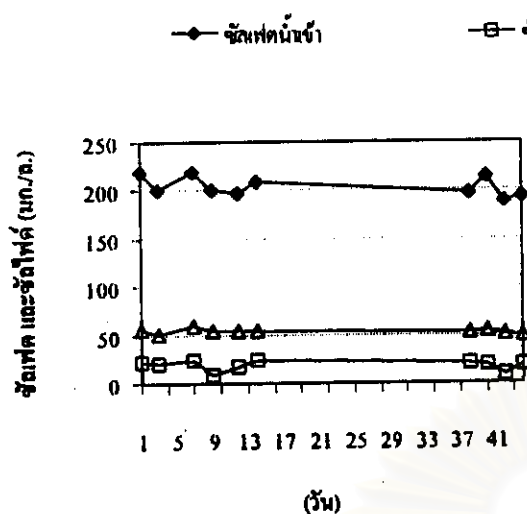


(ง) ซีโอดี 1000มก./ล. ชัดเฟต 250มก./ล.



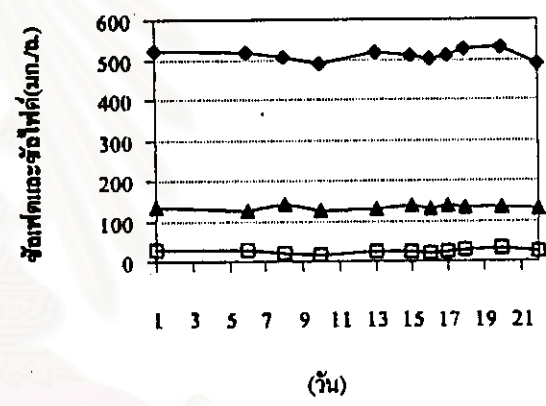
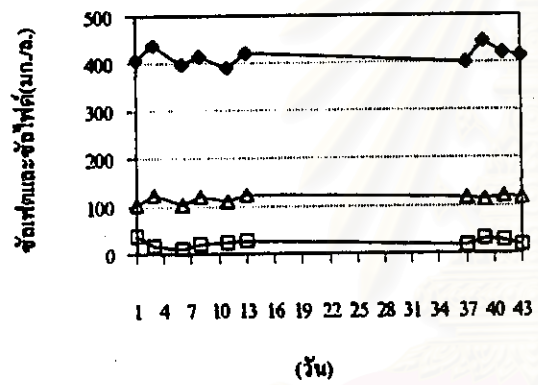
(จ) ซีโอดี 1200มก./ล. ชัดเฟต 300มก./ล.

รูปที่ 4. 10 ค่าชัดเจนและชัดไฟค้ำตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชัดเจน 4



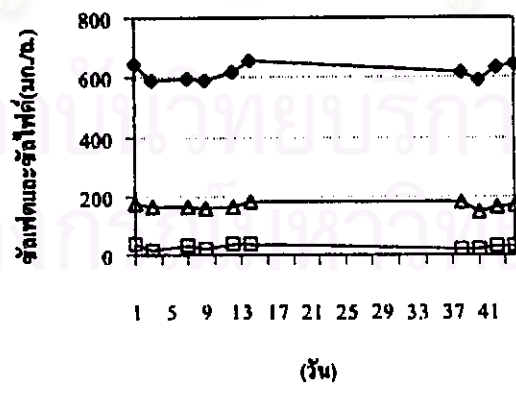
(ก) จีไอดี 400มก./ถ. จีไอฟัด 200มก./ถ.

(ข) จีไอดี 600มก./ถ. จีไอฟัด 300มก./ถ.



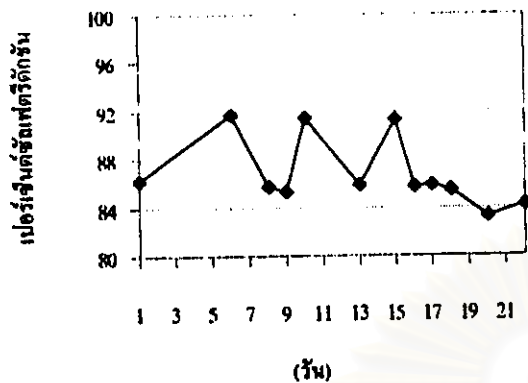
(ค) จีไอดี 800มก./ถ. จีไอฟัด 400มก./ถ.

(ง) จีไอดี 1000มก./ถ. จีไอฟัด 500มก./ถ.

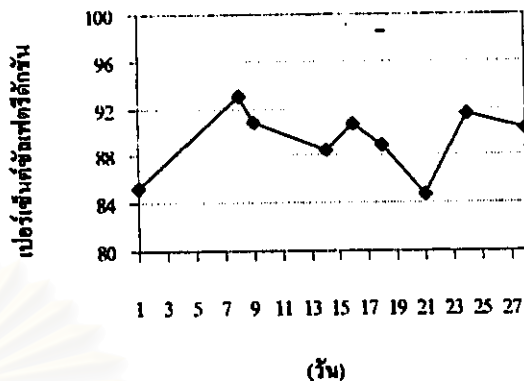


(จ) จีไอดี 1200มก./ถ. จีไอฟัด 600มก./ถ.

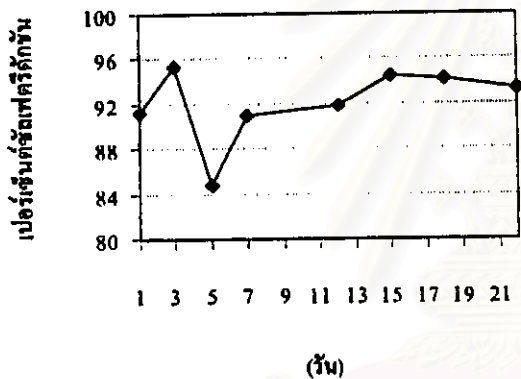
รูปที่ 4.11 ค่าจีไอฟัดและจีไอฟัดที่ลดลงการทดลองที่อัตราส่วนจีไอดีต่อจีไอฟัด 2



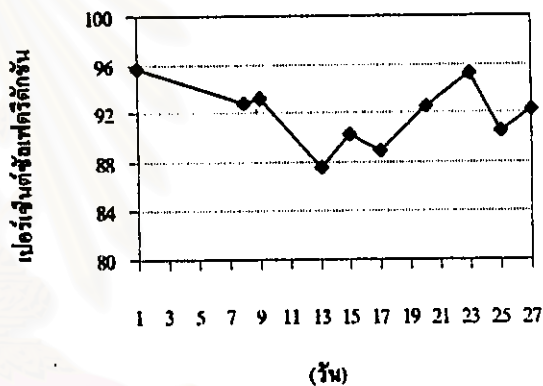
(ก) ซีโอดี 400มก./ล. ซัลดเฟต 100มก./ล.



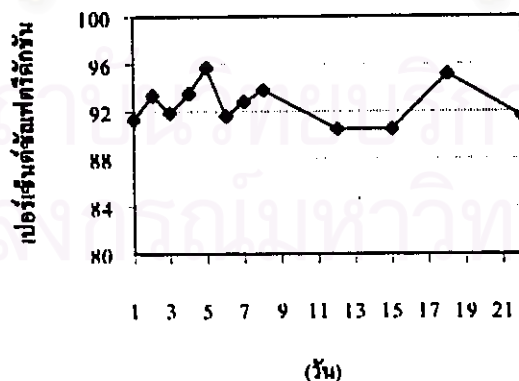
(ข) ซีโอดี 600มก./ล. ซัลดเฟต 150มก./ล.



(ค) ซีโอดี 800มก./ล. ซัลดเฟต 200มก./ล.

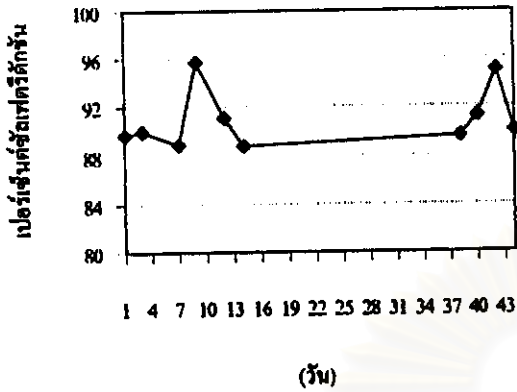


(ง) ซีโอดี 1000มก./ล. ซัลดเฟต 250มก./ล.

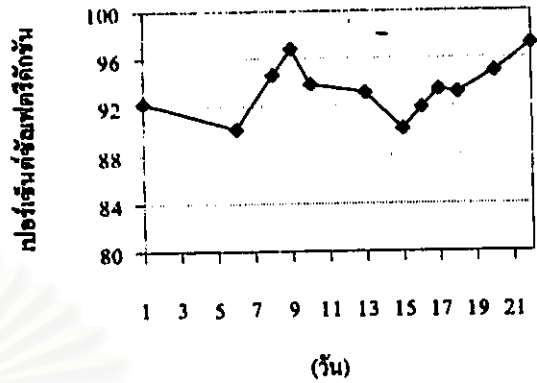


(จ) ซีโอดี 1200มก./ล. ซัลดเฟต 300มก./ล.

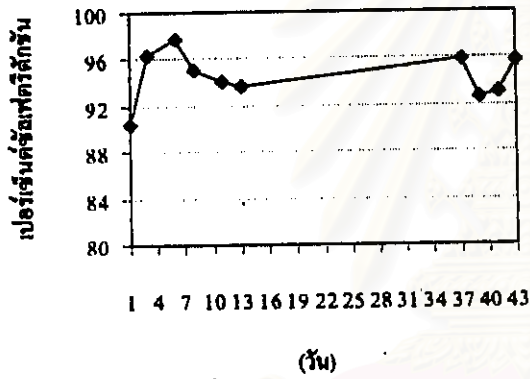
รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ซัลดเฟตที่รั้งกัน ตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลดเฟต 4



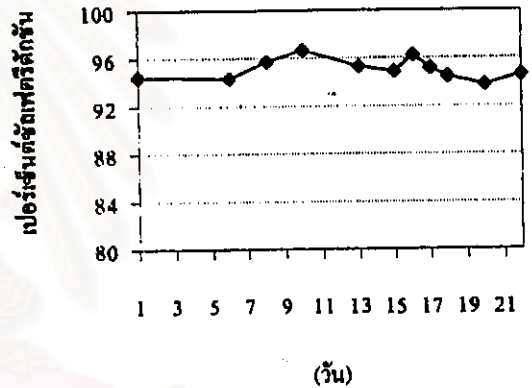
(ก) ซีโอดี 400มก./ถ. ชั้ดเฟต 200มก./ถ.



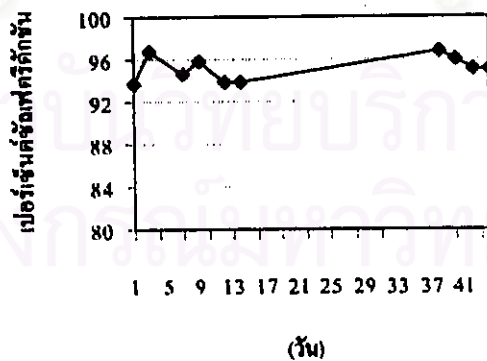
(ข) ซีโอดี 600มก./ถ. ชั้ดเฟต 300มก./ถ.



(ค) ซีโอดี 800มก./ถ. ชั้ดเฟต 400มก./ถ.



(ง) ซีโอดี 1000มก./ถ. ชั้ดเฟต 500มก./ถ.

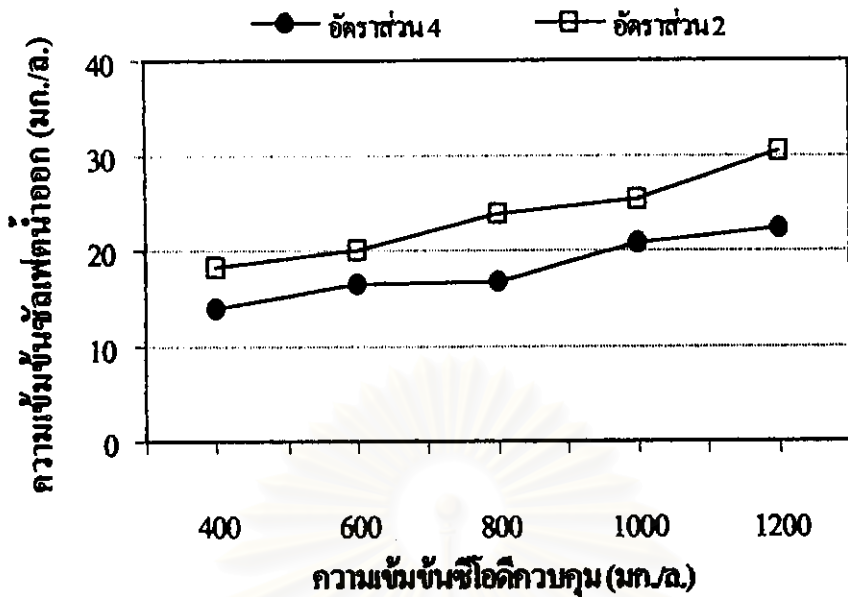


(จ) ซีโอดี 1200มก./ถ. ชั้ดเฟต 600มก./ถ.

รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ชำฝักรอดชีวิต ตลอดการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อชั้ดเฟต 2

จากตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำเข้า สำหรับอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 มีค่าเท่ากับ 106, 153, 208, 255 และ 304 มก./ล. โดยมีค่าควบคุมอยู่ที่ 100, 150, 200, 250 และ 300 มก./ล.ตามลำดับ และสำหรับที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำเข้ามีค่าเท่ากับ 206, 310, 418, 512 และ 621 มก./ล. สำหรับค่าควบคุม 200, 300, 400, 500 และ 600 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยจริงที่ได้จากการทดลอง มีความเบี่ยงเบนจากค่าควบคุมในแต่ละระดับความเข้มข้นเล็กน้อย ซึ่งมีเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย, การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์และการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ทำให้ค่าที่ได้ไม่ตรงกับค่าควบคุมที่ต้องการ อย่างไรก็ตามก็ตามถือว่าค่าเฉลี่ยที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าควบคุมในระดับที่ยอมรับได้ โดยมีการเบี่ยงเบนมากที่สุดเท่ากับ +6 % สำหรับค่า 106 มก./ล. และเมื่อนำค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำเข้าจริง และค่าเฉลี่ยซีโอดีน้ำเข้าจริงมาคำนวณอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตจริงเฉลี่ยจะได้ค่าเท่ากับ 3.81, 4.07, 3.97, 4.04, และ 4.03 เมื่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเท่ากับ 106, 153, 208, 255 และ 304 มก./ล. ตามลำดับและเท่ากับ 2.00, 1.97, 1.95, 2.01 และ 1.98 เมื่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าเท่ากับ 206, 310, 418, 512 และ 621 มก./ล.ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำออกที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.9, 16.4, 16.8, 20.7 และ 22.4 มก./ล. โดยมีเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันเท่ากับ 86.8, 89.3, 92.0, 91.9 และ 92.7 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยซัลไฟด์ทั้งหมดเท่ากับ 27.9, 39.0, 55.2, 67.7 และ 78.7 มก./ล. สำหรับค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำเข้า 106, 153, 208, 255 และ 304 มก./ล.ตามลำดับ ขณะที่สำหรับการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นซัลเฟตน้ำออกมีค่าเท่ากับ 18.3, 20.1, 23.7, 25.3 และ 30.5 มก./ล. โดยมีเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันเท่ากับ 91.1, 93.5, 94.3, 95.1 และ 95.1 เปอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยซัลไฟด์ทั้งหมดเท่ากับ 54.3, 84.7, 115, 134 และ 168 มก./ล. สำหรับค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำเข้า 206, 310, 418, 512 และ 621 มก./ล.ตามลำดับ

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำออก ในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต ต่างแสดงแนวโน้มลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่อซัลเฟตน้ำเข้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำออกที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวมีอัตราต่ำกว่าเมื่อเทียบกับลักษณะการเพิ่มขึ้นของซัลเฟตน้ำเข้าทำให้ผลของเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันไม่ได้ลดลง แต่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตเพิ่มขึ้น รวมทั้งค่าเฉลี่ยซัลไฟด์ทั้งหมดก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้าควบคุม การเพิ่มค่าซัลเฟตน้ำเข้า มีผลให้ซัลเฟตน้ำออก, เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันและค่าเฉลี่ยซัลไฟด์ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงบทบาทและความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารกับแบคทีเรียไร้อากาศกลุ่มอื่นๆ ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการบำบัดไร้อากาศในกรณีที่มีซัลเฟตอยู่ในน้ำเสีย เพื่อให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตได้ใช้เป็นสารรับอิเล็กตรอนโดยรูปที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำออกของทุกระดับความเข้มข้นในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยซัลเฟตน้ำออกตามระดับความเข้มข้นซีโอดีความคุม

ถึงที่น่าสนใจคือ เพราะเหตุใดจึงยังมีซัลเฟตน้ำออกเหลือทิ้งที่บทบาทของซัลเฟตคือสารรับอิเล็กตรอน สำหรับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและมีปริมาณซัลเฟตที่เดิมให้ระบบอยู่ในช่วงจำกัดเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตในหน่วย(มก. ซีโอดี/ล./ มก. ซัลเฟต/ล.) โดยตัวเลขทางทฤษฎีสำหรับอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตที่มีค่าซัลเฟตพอดีสำหรับใช้เป็นสารรับอิเล็กตรอนให้กับ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต คือ 0.67 (Visser, A 1993) ซึ่งเมื่อได้ศึกษารายงานการวิจัยหลายๆงานที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในประเด็นของการเหลือซัลเฟตในน้ำออกถึงแม้จะมีปริมาณซัลเฟตอยู่ในช่วงจำกัด ตัวอย่างเช่นงานของ Fang, H.H.P. และคณะ (1997) Isa Z และคณะ (1986a และ b) และงานของ Harada, H. และคณะ (1994) พบว่าการพบซัลเฟตเหลือในน้ำออกเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับทุกๆงานวิจัย โดยส่วนหนึ่งอาจเป็นเหตุผลทางด้านไคนetikในการใช้ซัลเฟตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยเมื่อพิจารณาถึงสมการโมนอ (Monod, J 1949) (อ้างถึงใน Metcalf & Eddy, 1991) ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในการอธิบายกลไกในเชิงไคนetikในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ดังนี้

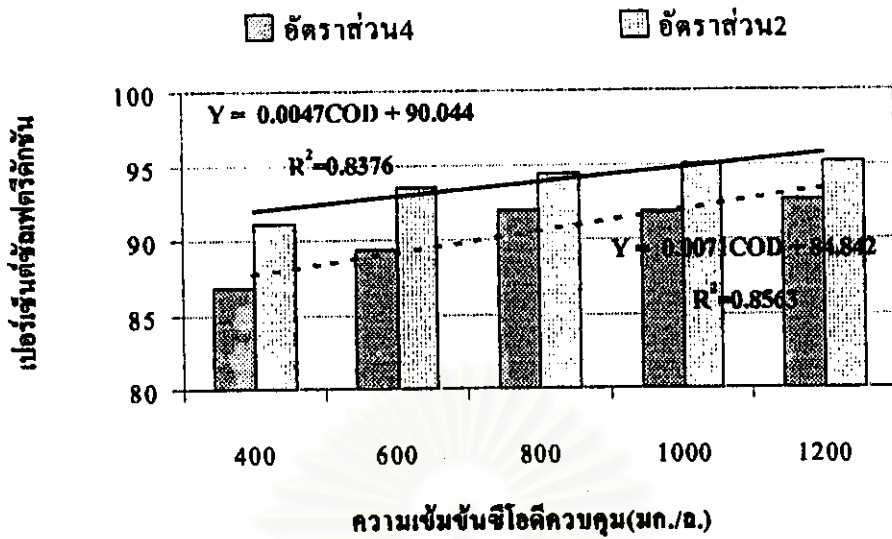
$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{(K_s + S)} \dots\dots\dots(4.1)$$

- μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เวลา⁻¹)
 μ_{\max} = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงสุด (เวลา⁻¹)
 S = ความเข้มข้นของสารอาหารที่พิจารณาในระบบ (มวลสารอาหาร/ปริมาตร)
 K_s = ความเข้มข้นของสารอาหารที่พิจารณาเมื่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ สูงสุด(มวลสารอาหาร/ปริมาตร)

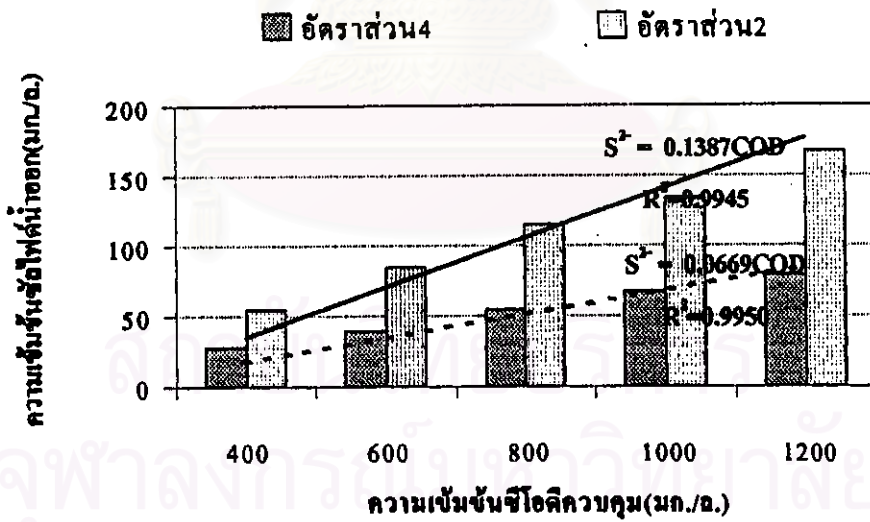
จากสมการ ไมโน (4.1) สามารถอธิบายได้ว่า การไม่มีสารอาหารหรือสารรับอิเล็กตรอนเหลือใน ตัวกลางที่มีแบคทีเรียอยู่ ($S = 0$) ผลก็คือแบคทีเรียจะไม่มีอัตราการเจริญเติบโต ($\mu = 0$) หรืออาจกล่าว ได้ว่าแบคทีเรียตายนั่นเอง นั่นหมายความว่าจะต้องมีสารอาหารหรือสารรับอิเล็กตรอนที่แบคทีเรีย จำเป็นต้องใช้เหลืออยู่ในตัวกลางจำนวนหนึ่งเสมอเพื่อเป็นแรงขับให้เกิดการดึงสารอาหารเข้าสู่เซลล์ของ แบคทีเรีย และสำหรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเซลล์ฟลอคน้ำออกเมื่อความเข้มข้นเซลล์ฟลอคน้ำเข้าเพิ่มขึ้น ซึ่ง มีลักษณะเช่นเดียวกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าซีโอดีละลาย โดยน่าจะเป็นเหตุผลในเชิงโคเนติก เช่น เดียวกันคือ แบคทีเรียจะมีความฟุ่มเฟือยในการใช้สารอาหารหรือสารรับอิเล็กตรอนมากขึ้น เมื่อมีสาร อาหารหรือสารรับอิเล็กตรอนเข้าสู่ระบบมากขึ้น

ในเชิงของการเกิดเซลล์ฟลอคติ่ง การได้ค่าเปอร์เซ็นต์เซลล์ฟลอคติ่งในช่วงสูงตามค่าที่ได้จาก ผลการทดลอง ในกรณีที่มีปริมาณเซลล์ฟลอคอยู่ในช่วงจำกัด ไม่ใช่สิ่งที่น่าแปลกใจเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ชี้ ให้เห็นถึงความสามารถเฉพาะตัวของแบคทีเรียรีดิวิซ์เซลล์ฟลอคที่เหนือกว่า แบคทีเรียผลิตภัณฑ์ ในการ แย่งใช้สารอาหาร คือทั้งปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์และปัจจัยทางโคเนติกส์ (Visser,A. 1993), (Widdie,F.1988) และ (Yoda,M.และคณะ 1987) ขณะเดียวกันในกรณีอื่นๆ ที่เปอร์เซ็นต์เซลล์ฟลอคติ่ง มีค่าต่ำ อาจไม่ได้หมายความว่าแบคทีเรียรีดิวิซ์เซลล์ฟลอคทำงานด้อยลงไป แต่อาจเป็นเพราะต้องอยู่ในกรณี ที่มีเซลล์ฟลอคมากเกินไป จนสารอินทรีย์เป็นตัวจำกัดบทบาทการใช้เซลล์ฟลอคเป็นสารรับอิเล็กตรอน ซึ่งใน กรณีดังกล่าวแบคทีเรียรีดิวิซ์เซลล์ฟลอคอาจมีสัดส่วนการใช้สารอินทรีย์มากกว่า แบคทีเรียผลิตภัณฑ์อย่างมากได้

สำหรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับการเกิดเซลล์ฟลอคติ่งและการเพิ่มของความเข้มข้น เซลล์ฟลอคทั้งหมด เมื่อระดับความเข้มข้นซีโอดีและเซลล์ฟลอคเพิ่มขึ้นทั้งในอัตราส่วนซีโอดีต่อเซลล์ฟลอค 4 และ 2 แสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 แนวโน้มของระดับการเกิดค่าพีอีกรีกซ์เมื่อความเข้มข้นซีไอดีและค่าพีอีกรีกซ์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 แนวโน้มของความเข้มข้นซีไอดีไฟด์ทั้งหมดเมื่อความเข้มข้นซีไอดีและค่าพีอีกรีกซ์เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้น ของทั้งระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันและ ความเข้มข้นซัลไฟด์ เมื่อระดับความเข้มข้นซีโอไลต์และซัลเฟตเพิ่มขึ้น และแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังกล่าวมี ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชันกับ ปริมาณซีโอไลต์ที่อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อซัลเฟต 4 และ 2 แสดงโดยสมการที่ 4.2 และ 4.3

$$Y = 0.0071\text{COD} + 84.842 \quad ; R^2=0.8563 \dots\dots\dots(4.2) \quad \text{สำหรับอัตราส่วน4}$$

$$Y = 0.0047\text{COD} + 90.044 \quad ; R^2=0.8376 \dots\dots\dots(4.3) \quad \text{สำหรับอัตราส่วน2}$$

โดย $Y =$ เปอร์เซ็นต์การเกิดซัลเฟตรีดักชัน (เปอร์เซ็นต์)

$\text{COD} =$ ความเข้มข้นซีโอไลต์ควบคุม (มก./ล.)

และสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นกับปริมาณซีโอไลต์ที่อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อ ซัลเฟต 4 และ 2 แสดงโดยสมการที่ 4.4 และ 4.5

$$S = 0.0669\text{COD} \quad ; R^2=0.9950 \dots\dots\dots(4.4) \quad \text{สำหรับอัตราส่วน4}$$

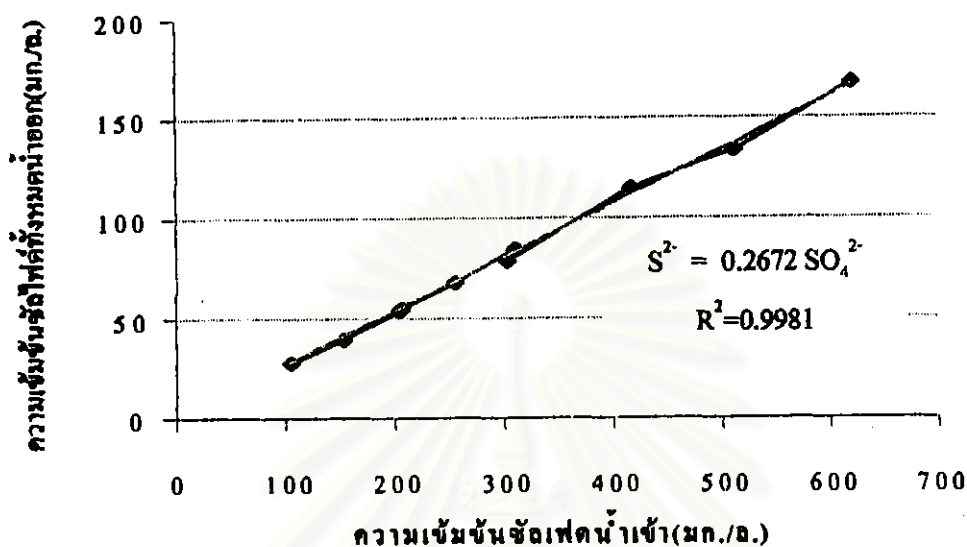
$$S = 0.1387\text{COD} \quad ; R^2=0.9945 \dots\dots\dots(4.5) \quad \text{สำหรับอัตราส่วน2}$$

โดย $S =$ ความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น (มก./ล.)

$\text{COD} =$ ความเข้มข้นซีโอไลต์ควบคุม (มก./ล.)

สำหรับสมการแสดงความโน้มเอนการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นซัลไฟด์และระดับการเกิดซัลเฟตรีดักชัน ตาม การเพิ่มขึ้นของค่าซีโอไลต์ควบคุม(ซึ่งก็คือการการเพิ่มขึ้นของค่าซัลเฟตควบคุมด้วยเช่นกัน) ในแต่ละ อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อซัลเฟตที่ได้จากผลการทดลอง สามารถนำมาใช้ตอบคำถามที่ตั้งขึ้นสำหรับวัตถุประสงค์ข้อหนึ่งของงานวิจัยนี้ได้อย่างชัดเจน นั่นคือเปอร์เซ็นต์การเกิดซัลเฟตรีดักชันจะแปรตามระดับ ความเข้มข้นของซีโอไลต์และซัลเฟตน้ำเข้าที่เพิ่มขึ้นในขอบเขตของระดับความเข้มข้นของซีโอไลต์และซัล- เฟตน้ำเข้าที่ใช้ในงานวิจัย อย่างไรก็ตามสมการแสดงความโน้มเอนดังกล่าวจะไม่สามารถนำมาสรุปเป็นภาพ รวมสำหรับทุก ๆ ระดับความเข้มข้นซีโอไลต์และซัลเฟตได้ โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณซัลเฟตน้ำเข้าสูง ซึ่งความเข้มข้นซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงขึ้นในระดับที่ทำให้เป็นพิษได้โดยจะทำให้เกิดการยับยั้งการ ทำงานของทั้ง แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและ แบคทีเรียผลิตมีเทน นั้นหมายความว่าในการนำสมการที่ได้ มาใช้จะต้องกำหนดช่วงของระดับความเข้มข้นซีโอไลต์และซัลเฟตที่เหมาะสมเพื่อ ไม่ให้เกิดผลกระทบ

เนื่องจากพิษของซัลไฟด์ และเมื่อนำผลของความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าและความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งหมด น้ำออกของทุก ๆ การทดลองมาพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้าและความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งหมดน้ำออก

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้ามีผลต่อค่าความเข้มข้นซัลไฟด์น้ำ ออกอย่างชัดเจน โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นซัลไฟด์น้ำออกและความเข้มข้น ซัลเฟตน้ำเข้าแสดงโดยสมการที่ 4.6

$$S^{2-} = 0.2672 SO_4^{2-} ; R^2=0.9981 \dots \dots \dots (4.6)$$

โดย S^{2-} = ความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งหมดน้ำออก (มก./ล.)

SO_4^{2-} = ความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า (มก./ล.)

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจะมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณซัลเฟตน้ำเข้ามากที่สุด โดยค่าซีไอคิมีความสำคัญรองลงไป (พิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า) นั่นคือถ้าอัตราส่วน ซีไอคิต่อซัลเฟตอยู่ในช่วงที่มีซัลเฟตจำกัด (มากกว่า 0.67) การเพิ่มทั้งระดับความเข้มข้นซีไอคิและซัล-

เฟด หรือการเพิ่มเฉพาะซัลเฟด โดยผลของการเพิ่มดังกล่าวจะต้องไม่ทำให้อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟด หลังการเพิ่มต่ำกว่า 0.67 ส่วนมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับซัลเฟดที่เติมได้ และเช่นเดียวกันจะต้องพิจารณาผลจากความเป็นพิษของซัลไฟด์ร่วมด้วยเสมอ นั่นคือจะต้องมีการกำหนดช่วงที่จะไม่ให้เกิดผลกระทบเนื่องจากการยับยั้งจากความเป็นพิษของซัลไฟด์ต่อแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟด เสมอในการนำเสนอการ 4.6 ไปใช้จริง

สำหรับประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากวิถีภาคน้ำจะมีค่าไม่ถึงร้อยละ 20 ถึงแม้ระบบจะมีการเกิดซัลเฟดรีดักชันสูงมากกว่าร้อยละ 80 ก็ตาม ทั้งนี้เพราะซัลเฟดที่ถูกรีดิวซ์จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปซัลไฟด์ ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ดังนั้นจะมีซัลไฟด์หนีออกจากวิถีภาคน้ำไปอยู่ในวิถีภาคก๊าซในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยตารางที่ 4.10 แสดงค่าประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซัลเฟอร์

ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากวิถีภาคน้ำ

ความเข้มข้น ซีโอดี ควบคุม (มก./ล.)	อัตราส่วน 4				อัตราส่วน 2			
	ความเข้มข้น (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด ซัลเฟอร์(%)	ความเข้มข้น (มก./ล.)			ประสิทธิภาพ การกำจัด ซัลเฟอร์(%)
	ซัลเฟด		ซัลไฟด์ น้ำออก		ซัลเฟด		ซัลไฟด์ น้ำออก	
	น้ำเข้า	น้ำออก		น้ำเข้า	น้ำออก			
400	106	13.9	27.9	7.9	206	18.3	54	12.5
600	153	16.4	39	12.8	310	20.1	84.7	11.5
800	208	16.8	55.2	12.3	418	23.7	114.9	11.9
1000	255	20.7	67.7	12.2	512	25.3	134	16.5
1200	304	22.4	78.7	15.0	621	30.5	167.5	14.2

นั่นคือ บทบาทของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟดในกระบวนการบำบัดไร้อากาศมีขีดความสามารถในเชิงของการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากวิถีภาคน้ำภายหลังผ่านระบบได้ไม่มากนัก

4.3.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ, อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ และค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซชีวภาพ

ข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่สถานะมาตรฐาน(หน่วย มล./วัน), อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่สถานะมาตรฐาน(หน่วย มล./มก.ซีโอดี-ละลายที่ถูกกำจัด) และค่าความดันพาร์เซิลของทุกๆการทดลองในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตแสดงในตารางที่ 4.11 โดยรูปที่ 4. 18 และ 4.19 แสดงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อวันที่สถานะมาตรฐานร่วมกับอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพต่อค่าซีโอดีละลายที่ถูกกำจัดที่สถานะมาตรฐาน ของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ปริมาณก๊าซทั้งหมด, อัตราการเกิดก๊าซที่สถานะมาตรฐาน และค่าความดันพาร์เซิล

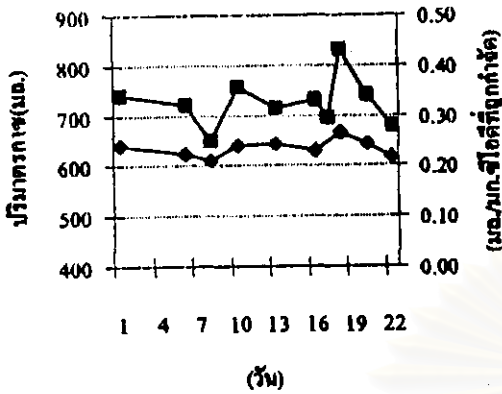
ความเข้มข้น ซีโอดีความสูง (มก./ล.)	ปริมาณก๊าซ ทั้งหมด ¹		อัตราการเกิดก๊าซ ชีวภาพ ²		ความดันพาร์เซิล (%)					
					CH ₄		CO ₂		H ₂ S	
	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
400	727	593	0.235	0.188	96.8	96.1	3.03	3.44	0.21	0.41
SD	± 49	± 27	± 0.016	± 0.011	± 0.7	± 0.7	± 0.68	± 0.73	± 0.03	± 0.08
N	(10)	(10)	(9)	(10)	(10)	(4)	(10)	(4)	(10)	(4)
600	1230	962	0.256	0.211	95.7	92.8	4.15	6.38	0.19	0.83
SD	± 65	± 52	± 0.008	± 0.012	± 1.0	± 1.4	± 1.04	± 1.37	± 0.01	± 0.10
N	(9)	(10)	(9)	(9)	(9)	(10)	(9)	(10)	(9)	(10)
800	1662	1214	0.265	0.192	93.7	92.1	5.99	6.44	0.27	1.42
SD	± 97	± 84	± 0.012	± 0.008	± 0.5	± 1.4	± 0.51	± 1.42	± 0.03	± 0.03
N	(9)	(10)	(7)	(10)	(9)	(4)	(9)	(4)	(9)	(4)
1000	2030	1684	0.266	0.212	92.0	90.5	7.60	7.77	0.37	1.73
SD	± 86	± 54	± 0.010	± 0.008	± 0.6	± 1.4	± 0.55	± 1.39	± 0.04	± 0.07
N	(10)	(10)	(4)	(8)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
1200	2468	2022	0.253	0.214	91.3	86.5	8.23	11.4	0.44	2.09
SD	± 135	± 92	± 0.019	± 0.010	± 0.7	± 2	± 0.74	± 2.01	± 0.05	± 0.18
N	(10)	(10)	(4)	(8)	(10)	(4)	(10)	(4)	(10)	(4)

¹ ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่สถานะมาตรฐาน (หน่วย มล./วัน)

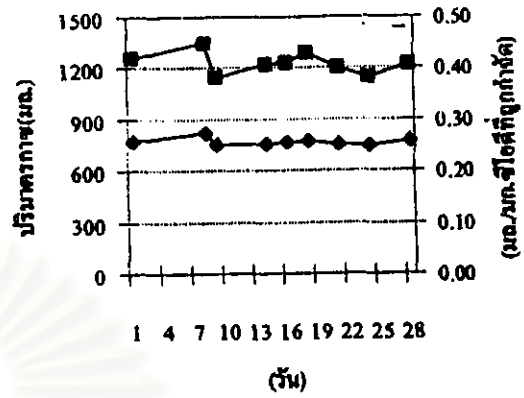
² อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่สถานะมาตรฐาน (หน่วย มล./มก.ซีโอดีละลายที่ถูกกำจัด)

—■— ปริมาตร

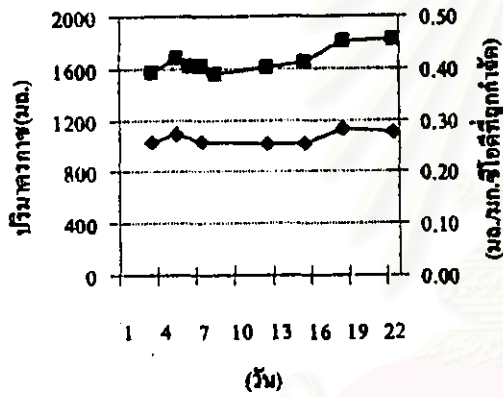
—●— อัตราการผิต



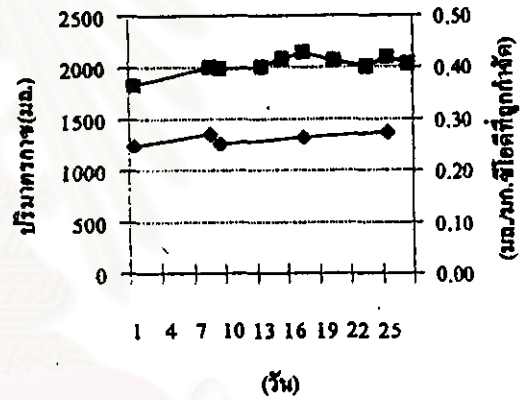
(ก) ซีโอลี 400นก./ด. ชัดเฟต 100นก./ด.



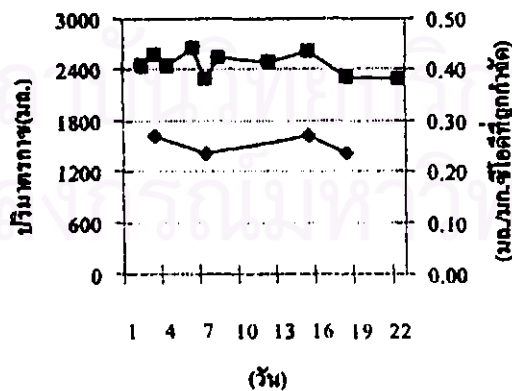
(ข) ซีโอลี 600นก./ด. ชัดเฟต 150นก./ด.



(ค) ซีโอลี 800นก./ด. ชัดเฟต 200นก./ด.

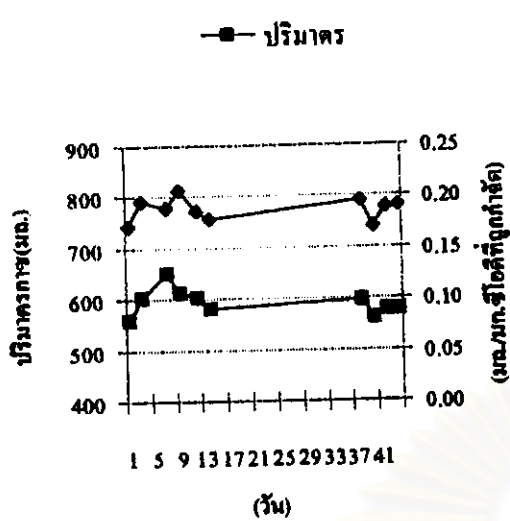


(ง) ซีโอลี 1000นก./ด. ชัดเฟต 250นก./ด.

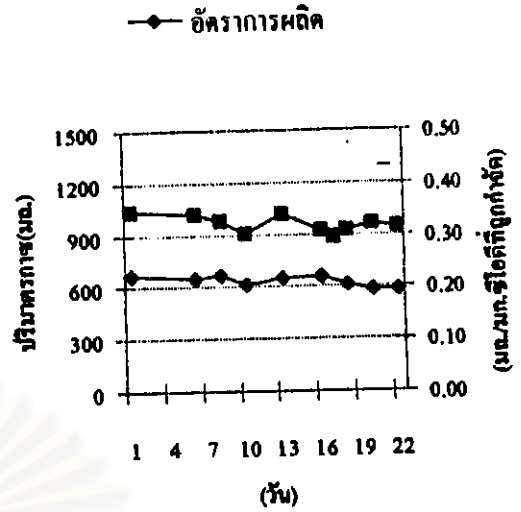


(จ) ซีโอลี 1200นก./ด. ชัดเฟต 300นก./ด.

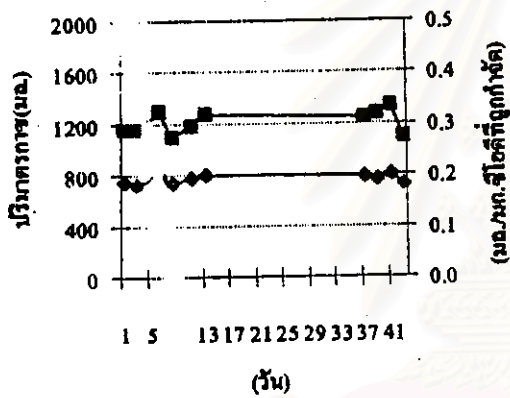
รูปที่ 4.18 ค่าปริมาตรก๊าซ และอัตราการผิตก๊าซทั้งหมดตลอดการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน ที่อัตราส่วนซีโอลีต่อชัดเฟต 4



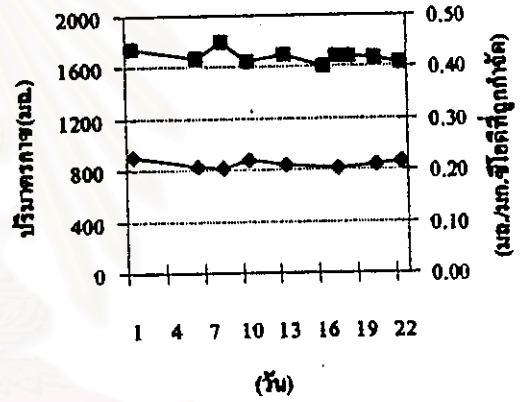
(ก) ซีโอดี 400มก./ด. จัดเฟต 200มก./ด.



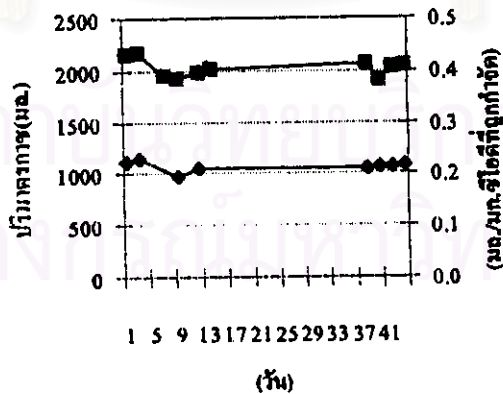
(ข) ซีโอดี 600มก./ด. จัดเฟต 300มก./ด.



(ค) ซีโอดี 1000มก./ด. จัดเฟต 400มก./ด.



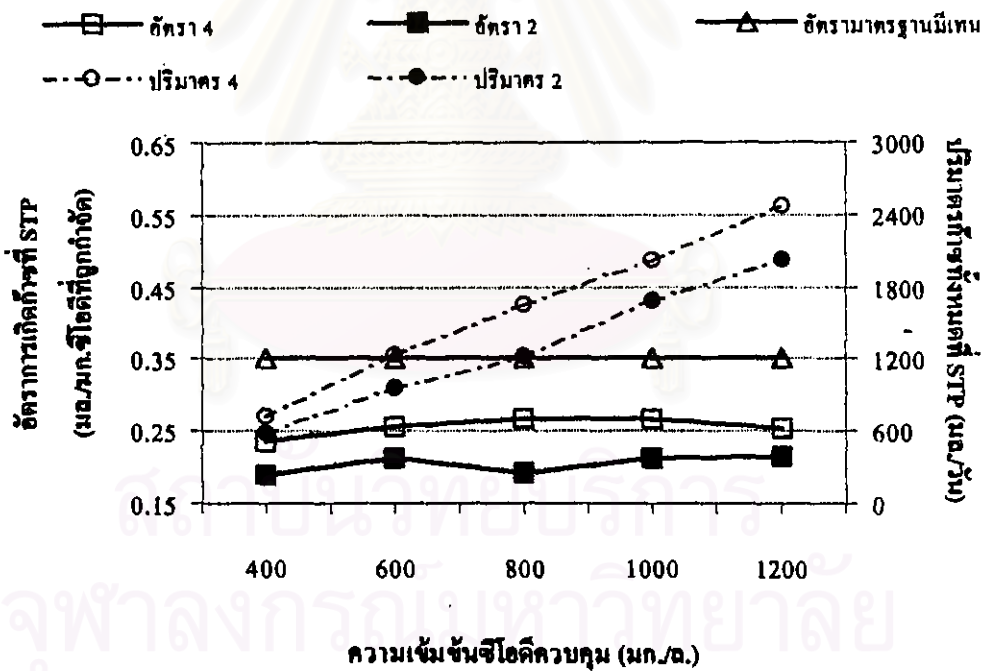
(ง) ซีโอดี 1000มก./ด. จัดเฟต 500มก./ด.



(จ) ซีโอดี 1200มก./ด. จัดเฟต 600มก./ด.

รูปที่ 4.19 ค่าปริมาตรก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซทั้งหมดตลอดการทดลองที่สภาวะมาตรฐาน ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อจัดเฟต 2

โดยต่อไปนี้จะเรียก ข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดต่อวันที่สภาวะมาตรฐาน ว่า ปริมาณก๊าซทั้งหมด และ ข้อมูลอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐานต่อค่าซีโอดีที่ละลายที่ถูกกำจัด จะเรียกว่า อัตราการเกิดก๊าซทั้งหมด จากข้อมูลค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 727, 1230, 1662, 2030 และ 2468มก./วัน โดยมีอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดเท่ากับ 0.235, 0.256, 0.265, 0.266 และ 0.253 มก./มก.ซีโอดีที่ละลายที่ถูกกำจัด สำหรับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ สำหรับที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 593, 962, 1214, 1684 และ 2022 มก./วัน โดยมีอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดเท่ากับ 0.188, 0.211, 0.192, 0.212 และ 0.214 มก./มก.ซีโอดีที่ละลายที่ถูกกำจัด สำหรับระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 412/206 , 597/310, 814/418 ,1028/512 และ 1214/621 มก./ล ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซทั้งหมด และ อัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตของทั้งสองค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต



รูปที่ 4. 20 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด และอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน

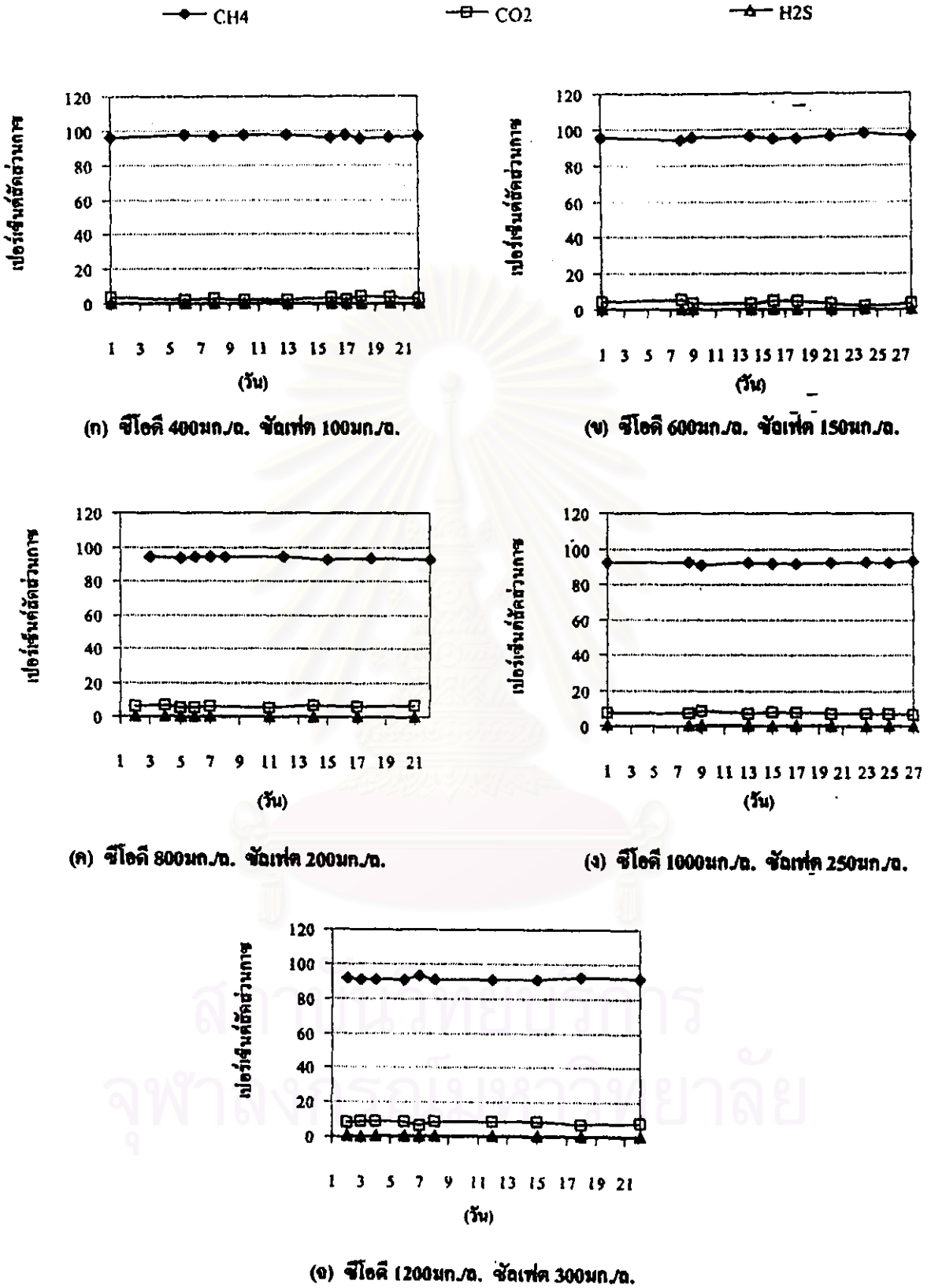
จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาในส่วนของปริมาณก๊าซทั้งหมดจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟตมีค่าสูงขึ้นในแต่ละอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต นั่นคือในอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตหนึ่งๆที่แบคทีเรียในระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟต ทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นซีโอไซด์และซัลเฟตที่เพิ่มขึ้นดังกล่าว ซึ่งเป็นเหตุการณ์ปกติเนื่องจากแบคทีเรียต้องย่อยสลายสารอาหารที่เข้าสู่ระบบมากขึ้นและจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน ,คาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักของการย่อยสลายสารอาหารในกระบวนการไร้อากาศเกิดมากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซทั้งหมดในระหว่างอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต พบว่าการแปรค่าซัลเฟตเพิ่มขึ้น โดยทำให้อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตลดลงจาก 4 เหลือ 2 จะทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดมีค่าลดลงโดยมีค่าลดลงเท่ากับ 18.4, 21.8, 26.9, 17.0 และ 20.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับความเข้มข้นซีโอไซด์ 400, 600, 800, 1000 และ 1200 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งถ้าตัดข้อมูลค่า 26.9 เปอร์เซ็นต์ออกจะเห็นได้ว่าการแปรค่าซัลเฟตเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 เหลือ 2 จะทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ลดลงในแต่ละความเข้มข้นซีโอไซด์เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ลดลงอยู่ในช่วง 17.0 – 21.8 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.8 เปอร์เซ็นต์

สำหรับอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาในแต่ละอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต โดยที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 ค่าอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 0.235– 0.266 โดยมีค่าเฉลี่ย 0.255 มล./มก.ซีโอไซด์ละลายที่ถูกกำจัด และที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 มีค่าอยู่ในช่วง 0.188 – 0.214 โดยมีค่าเฉลี่ย 0.203 มล./มก.ซีโอไซด์ละลายที่ถูกกำจัด ซึ่งเห็นได้ว่าอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดต่อซีโอไซด์ละลายที่ถูกกำจัดในแต่ละอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบในระหว่างอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตจะเห็นได้ว่าอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดต่อซีโอไซด์ละลายที่ถูกกำจัดมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตลดลงจาก 4 เป็น 2 ซึ่งเมื่อนำค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดต่อซีโอไซด์ละลายที่ถูกกำจัดของอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 เปรียบเทียบกับค่าที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 2 พบว่าอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดลดลง 20.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ ลักษณะการลดลงของปริมาณก๊าซทั้งหมดเมื่ออัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตลดลงจาก 4 เป็น 2 เช่นเดียวกัน ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 18.8 เปอร์เซ็นต์

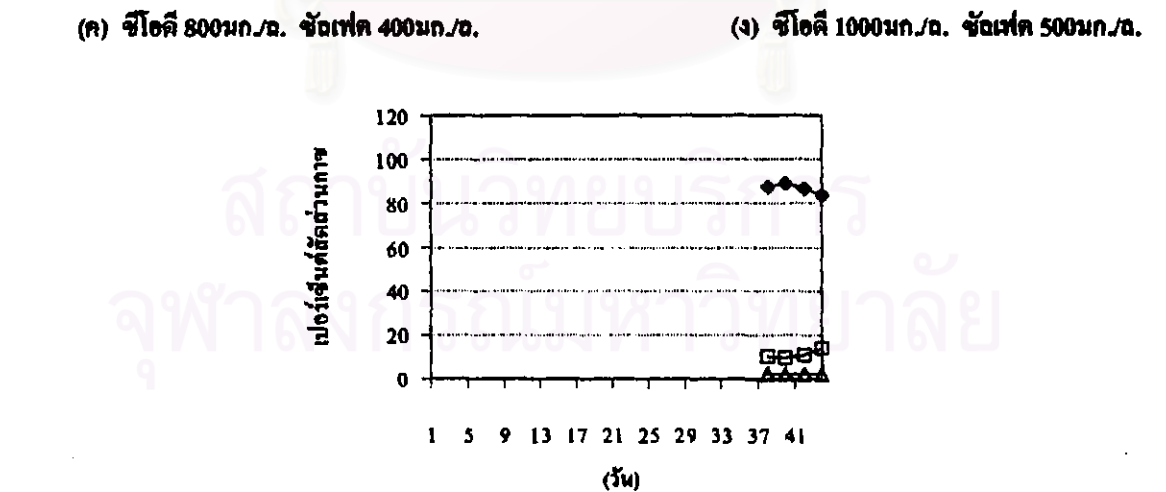
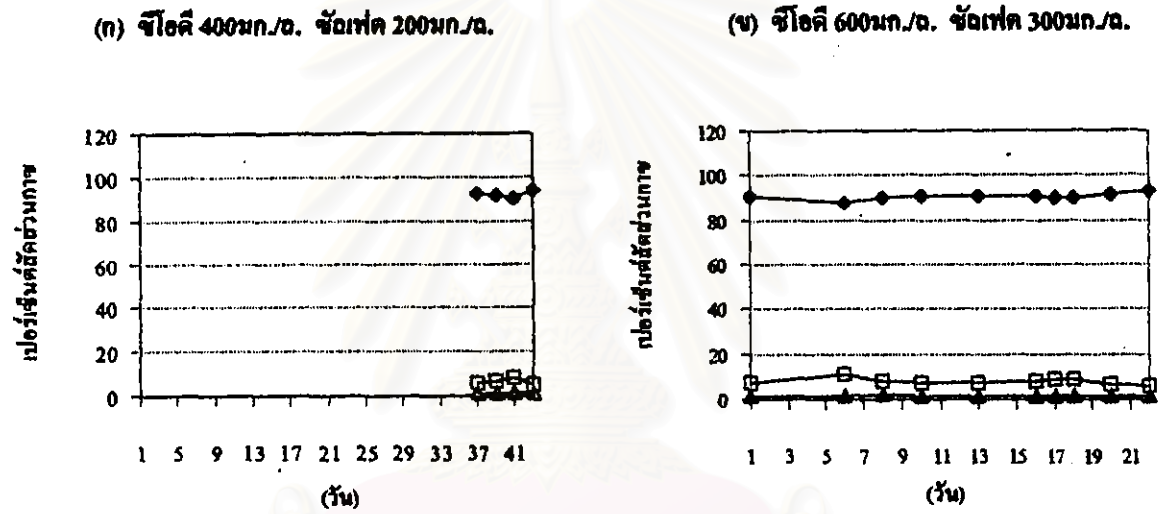
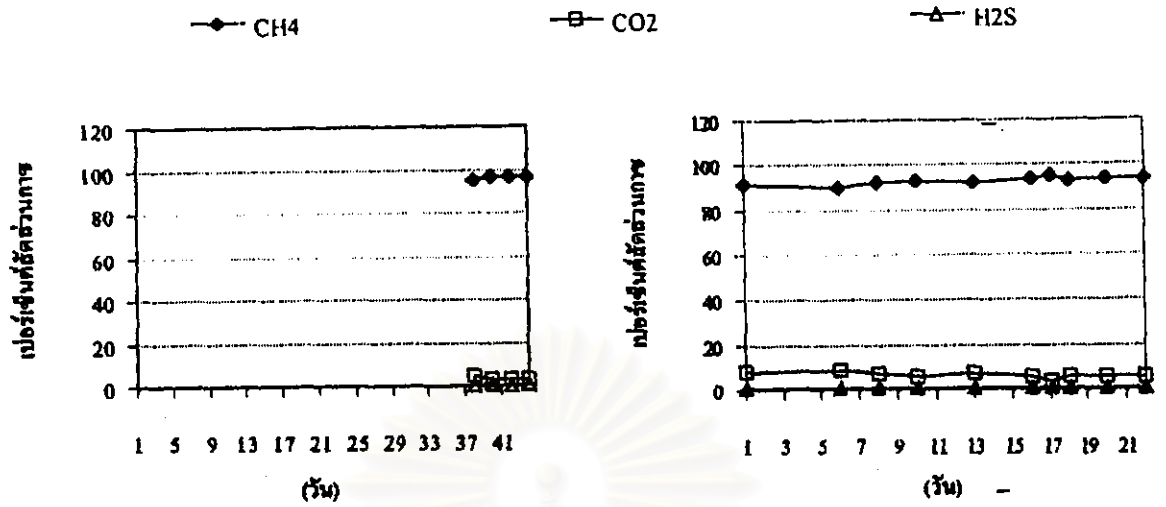
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตมีผลต่อปริมาณก๊าซทั้งหมดและอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดอย่างชัดเจน โดยเมื่อค่าอัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟตลดลง ปริมาณและอัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดจะมีค่าต่ำลงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณซัลเฟตให้มากขึ้นในระบบ เป็นการส่งเสริมให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ขณะเดียวกันจะเป็นการจำกัดบทบาทของแบคทีเรียผลิตมีเทนให้ลดลง โดยสังเกตได้จากสัดส่วนของสารอินทรีย์ถูกใช้โดยแบคทีเรีย

รีดิวิซ์ซัทเฟดเพิ่มมากขึ้น ในกรณีดังกล่าวก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียผลิตมีเทนจะมีปริมาณลดลง แต่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียรีดิวิซ์ซัทเฟดจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการละลายน้ำ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซมีเทนอย่างมาก ทำให้ส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในวัฏภาคน้ำ แทนที่จะอยู่ในวัฏภาคก๊าซดังในกรณีของก๊าซมีเทน ผลก็คือปริมาณของก๊าซทั้งหมดมีค่าลดลง และมีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซทั้งหมดในทำนองเดียวกัน ซึ่งจากภาพดังกล่าวทำให้สามารถตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับการควบคุมระบบ ของกระบวนการบำบัดไร้อากาศจากผลการทดลองในประเด็นของก๊าซชีวภาพได้ว่า การที่ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากระบบไร้อากาศมีค่าน้อยอาจไม่ได้เกิดจากสาเหตุความล้มเหลวของระบบเพียงสาเหตุเดียว โดยสาเหตุอื่นๆสาเหตุหนึ่งเกิดจากการมีบทบาทของแบคทีเรียรีดิวิซ์ซัทเฟดนั่นเอง ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสารประกอบของซัลเฟอร์ต่างๆที่อยู่ในรูปออกซิไดส์ที่อยู่ในน้ำเสียที่เข้าระบบ และการตรวจสอบติดตามปริมาณซัลไฟด์ในน้ำออกเป็นสำคัญ

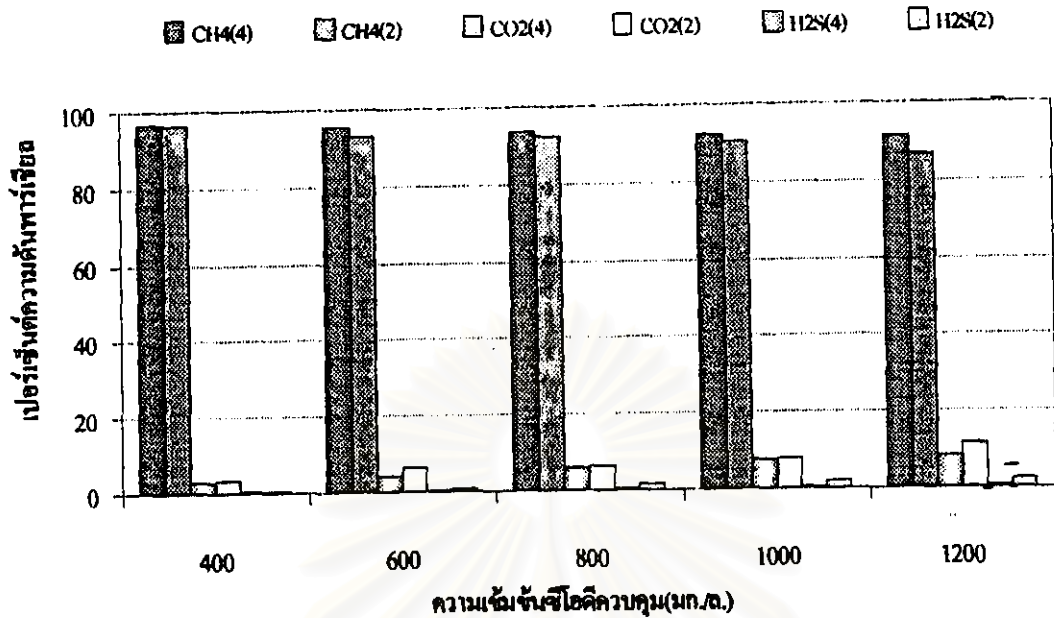
สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยความดันหารเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองซึ่งแสดงในตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความดันหารเฉลี่ยของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าเท่ากับ 96.8/3.03/0.21, 95.7/4.15/0.19, 93.7/5.99/0.27, 92/7.6/0.37 และ 91.3/8.23/0.44 สำหรับระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟด 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ล. ตามลำดับที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟด 4 และสำหรับที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟด 2 ค่าเฉลี่ยความดันหารเฉลี่ยของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าเท่ากับ 96.1/3.44/0.41, 92.8/6.38/0.83, 92.1/6.44/1.42, 90.5/7.77/1.73 และ 86.8/11.4/2.09 สำหรับระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟด 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ล ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงค่าความดันหารเฉลี่ยของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตลอดการทดลองทุกการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟด 4 และ 2 ตามลำดับ และรูปที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยความดันหารเฉลี่ยของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟดของทั้งสองค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟด



รูปที่ 4.21 ค่าความดันพาร์เซียดของ CH₄, CO₂ และ H₂S ตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อจักร์เฟต 4



รูปที่ 4.22 ค่าความดันพาร์เซ็ลของ CH₄, CO₂ และ H₂S ตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอลิต์ต่อซัดเฟต 2



รูปที่ 4. 23 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากรูปที่ 4.23 เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อซัลเฟต จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟตเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อซัลเฟต พบว่าเมื่อค่าความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของก๊าซมีเทนมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน ทั้งนี้เหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นที่อัตราส่วนซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อซัลเฟตเดียวกันนั้น อูราฮา เศรษฐ์ธีรภิง และ มั่นสิน คัมพุดเวศม์ (2542) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายในการประเมินความเข้มข้นของก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในกระบวนการไร้อากาศ โดยอาศัยกฎของเฮนรี และกฎการแตกตัวของกรดอนของ $H_2CO_3^*$ และ H_2S ซึ่งสามารถนำมาใช้อธิบายในกรณีนี้ได้ กล่าวคือ ในส่วนของกฎของเฮนรี เมื่อเปรียบเทียบโดยค่าคงที่เฮนรีของก๊าซทั้ง 3 ชนิด คือก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $13.6 \cdot 10^{-4}$, $345.5 \cdot 10^{-4}$ และ $1032 \cdot 10^{-4}$ โมล/ลิตร-บรรยากาศ ที่ $25^\circ C$ (มั่นสิน คัมพุดเวศม์, 2538) ตามลำดับ โดยความสามารถการละลายน้ำของก๊าซต่างๆ จะเพิ่มขึ้นตามค่าคงที่เฮนรีที่สูงขึ้น ดังนั้นจากค่าคงที่ดังกล่าวจะเห็นได้ว่าก๊าซมีเทนจะมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ขณะที่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีความสามารถในการละลาย

น้ำสูงมาก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถการละลายน้ำปานกลาง และเมื่อประกอบกับความสามารถการแตกตัวเมื่อละลายน้ำของ $H_2CO_3^*$ และ H_2S ซึ่งมีลักษณะสมบัติเป็นกรดอ่อน โดยมีค่าคงที่การแตกตัวกรดอ่อนที่ $25^\circ C$ เท่ากับ $4.45 \cdot 10^{-7}$ และ $9.77 \cdot 10^{-8}$ โมล/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงความสามารถการแตกตัวที่ต่ำกว่าของ $H_2CO_3^*$ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแยกตามกลุ่มของก๊าซที่ละลายน้ำได้น้อยและแตกตัวไม่ได้ คือ ก๊าซมีเทน และกลุ่มของก๊าซที่ละลายน้ำได้มากและแตกตัวได้ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะเห็นได้ว่า ที่พีเอชและอุณหภูมิหนึ่งๆ ถึงแม้ความสามารถการละลายน้ำ และการแตกตัวกรดอ่อนของ $H_2CO_3^*$ และ H_2S จะมีค่าสูง แต่ก็จะมีขีดจำกัดบนของปริมาณ $H_2CO_3^*$ และ H_2S ทั้งในรูปแบบแตกตัวและไม่แตกตัวในการละลายน้ำเสมอ ขณะที่ความสามารถการละลายน้ำของก๊าซมีเทนซึ่งมีค่าต่ำอย่างคงที่ ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นซีโอไลต์และซัลเฟตที่ถูกย่อยสลายมีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีผลให้ก๊าซทั้ง 3 ชนิดเกิดมากขึ้น จะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่บรรยากาศในสัดส่วนที่มากขึ้น ขณะที่ก๊าซมีเทนซึ่งมักจะมีสัดส่วนในบรรยากาศสูงค่อนข้างคงที่ไม่ว่าจะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ดังนั้น ความดันพาร์เชียลก๊าซมีเทนจะมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าความดันพาร์เชียลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นซีโอไลต์และซัลเฟตที่ถูกย่อยสลายมีค่าสูงขึ้นตามผลที่ได้จากการการทดลอง สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นซัลเฟตมากขึ้นในแต่ละความเข้มข้นซีโอไลต์นั้น เนื่องจากการเพิ่มซัลเฟตเป็นการส่งเสริมให้แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ขณะเดียวกันเป็นการจำกัดบทบาทของแบคทีเรียผลิตมีเทนให้ลดลง โดยสังเกตได้จากสัดส่วนสารอินทรีย์ถูกแย่งใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเพิ่มขึ้น ในกรณีดังกล่าวก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียผลิตมีเทนจะมีปริมาณลดลง แต่ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถอธิบายได้โดยอาศัยสมการการย่อยสลายอะซิเตตและไฮโดรเจนของทั้งแบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในตารางที่ 2.8 บทที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการย่อยไฮโดรเจน 1 โมลเกิด โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ถึงแม้จะไม่มีการผลิตอออนไบคาร์บอเนต แต่ก็ไม่มีการใช้อออนไบคาร์บอเนต 1 อออน เป็นสารรับอิเล็กตรอนดังเช่นการย่อยโดยแบคทีเรียผลิตมีเทน สำหรับการย่อย อะซิเตต โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต 1 อออน ให้ ไบคาร์บอเนต 2 อออน ขณะที่เมื่อย่อยโดยแบคทีเรียผลิตมีเทนจะให้ไบคาร์บอเนตเพียง 1 อออนเท่านั้น นั่นหมายความว่า การย่อยสารอาหาร โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะให้อออนไบคาร์บอเนต มากกว่าการย่อยโดยแบคทีเรียผลิตมีเทนเสมอ ซึ่งปริมาณอออนไบคาร์บอเนตที่เกิดมากขึ้นจะมีผลต่อสมดุลของระบบคาร์บอเนตในน้ำ และจะส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น ดังนั้นที่อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อซัลเฟต 2 ซึ่งแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตมีสัดส่วนการย่อยสารอินทรีย์มากกว่าที่อัตราส่วน 4 ความดันพาร์เชียลก๊าซมีเทนจะมีค่าลดลง ขณะที่ความดันพาร์เชียลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีค่าสูงขึ้น

จากค่าตัวเลขความดันพาร์เซิลของก๊าซทั้ง 3 ชนิด คือก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ของทุกๆการทดลองซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 86.5-96.8, 3.03-11.40 และ 0.19-2.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทนมีค่าสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากมีความสามารถการละลายน้ำต่ำมาก ขณะที่ความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็จะต่ำมากเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีความสามารถการละลายน้ำสูงมาก โดยที่เกลือจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในส่วนของค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทนซึ่งได้ค่าอยู่ในช่วงสูงถึงก่่าว เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากงานวิจัยของไคยา ซินเวทิจาวมิชย์ (2540) ซึ่งได้ค่าความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงสูงมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน (ซีไอเคีประมาณ 500 มก./ล.) โดยใช้เครื่องออร์แททเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ และสำหรับความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งอยู่ในช่วงต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากงานวิจัยของ Mizuno และคณะ (1994) ซึ่งได้ค่าความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.11 - 4.83 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ Harada และคณะ (1993) ซึ่งได้ค่าความดันพาร์เซิลของไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.1 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ โดยใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามในส่วนของความดันพาร์เซิลของก๊าซมีเทน ค่าที่ได้ในช่วงสูงถึงก่่าวควรมีการตรวจสอบให้ละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ ซึ่งมักจะได้อ่านค่าอยู่ในช่วงประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ และมักพบก๊าซไนโตรเจนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นด้วยเสมอ (Stafford, Hawkes และ Horton, 1980) อย่างไรก็ตามเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบก๊าซชีวภาพให้มีเพียง 3 ชนิดเท่านั้น คือก๊าซมีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเทคนิคในการวัดสัดส่วนของก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ จะใช้หลักการของเครื่องออร์แทท ดังนั้นถ้าในก๊าซชีวภาพที่ได้มีองค์ประกอบของก๊าซไนโตรเจนจริง สัดส่วนของก๊าซมีเทนที่ได้ก็จะมีค่าลดลง โดยภายหลังเสร็จสิ้นการทดลอง พบว่าสามารถใช้โทลูอินดักก๊าซมีเทนได้ (Stafford และ คณะ, 1980) ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบปริมาณของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพได้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับการดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ใช้โทลูอินแทนสารละลายต่างในกรณีการดักก๊าซมีเทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 สภาพค่างทั้งหมด, กรดไขมันระเหย, และค่าพีเอช

จุดประสงค์หลักสำหรับการติดตามผลของค่าสภาพค่าง, กรดไขมันระเหย, ค่าพีเอชและอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดเป็นไปเพื่อสังเกตเสถียรภาพของระบบ เนื่องจากตัวแปรต่างๆดังกล่าวเป็นตัวแปรพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการควบคุมกระบวนการบำบัดไร้อากาศ และสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วเพื่อให้เห็นกับการแก้ไขปัญหาค่าความล้มเหลวของระบบที่อาจจะเกิดขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้เนื่องจากปริมาณค่างที่เติมในน้ำเสียสังเคราะห์มีเพียงพอ ค่าการบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วงต่ำประกอบกับปริมาณเชื้อในระบบมีมาก ดังนั้นโอกาสที่ระบบจะล้มเหลวมีโอกาสน้อย ซึ่งถ้าจะมีโอกาสเกิดขึ้นก็จะเกิดจากผลของการยับยั้งเนื่องจากพิษของซัลไฟด์ อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งหมดในน้ำออกจากผลการทดลองที่ได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 184 มก./ล. (ในการทดลองที่ความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตน้ำเข้าเท่ากับ 1254 และ 602 มก./ล., คอลัมน์ที่ 2 วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2542) ซึ่งก็ยังคงต่ำกว่าค่าในช่วง 200-1500 มก./ล. (Stronach, Rudd, และ Lester, 1986 อ้างถึงใน Pohland, 1992) ซึ่งเป็นค่าทั่วไปที่ใช้อ้างอิงเกี่ยวกับระดับความเป็นพิษของซัลไฟด์ และจากผลการติดตามการทำงานของระบบโดยรวมก็ไม่มีอาการที่แสดงถึงความล้มเหลวของระบบ ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริงจะสามารถสังเกตได้จากค่าสภาพค่างทั้งหมดในน้ำออกจะลดลง, กรดไขมันระเหยที่มีการสะสมตัวเพิ่มขึ้น, อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดสูงขึ้น และค่าพีเอชน้ำออกต่ำลง

โดยข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าสภาพค่างทั้งหมด (หน่วย; มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต), อัตราส่วนค่าสภาพค่างทั้งหมดต่อซีโอดี(หน่วย; มก./ล.ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต / มก./ล ซีโอดี). และเปอร์เซ็นต์การเพิ่มค่าสภาพค่างทั้งหมด ของทุกๆการทดลองในแต่ละอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตแสดงในตารางที่ 4.12 โดยรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงค่าสภาพค่างทั้งหมดและค่ากรดไขมันระเหยที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ จากข้อมูลในตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออก ของค่าสภาพค่างทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 318/444, 463/673 , 600/836, 723/1036 และ 834/1232 (น้ำเข้า/น้ำออก) มก./ล.ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มค่าสภาพค่างทั้งหมดเมื่อเทียบกับน้ำเข้าเท่ากับ 39.6, 45.1, 39.2, 43.4 และ 47.7 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนค่าสภาพค่างทั้งหมดต่อซีโอดีน้ำเข้า 0.78, 0.74, 0.73, 0.71 และ 0.68 สำหรับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ล. ตามลำดับ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 ขณะที่ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยน้ำเข้า และน้ำออกของค่าสภาพค่างทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 317/521, 462/782 , 590/1055 , 720/1253 และ 853/1540 (น้ำเข้า/น้ำออก) มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มค่าสภาพค่างทั้งหมด เมื่อเทียบกับน้ำเข้าเท่ากับ 64.7, 69.2, 79.1, 74.0 และ 80.8 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนค่าสภาพค่างทั้งหมดต่อซีโอดีในน้ำเข้า 0.74, 0.78, 0.70,

0.70 และ 0.70 สำหรับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 412/206, 597/310, 814/418 ,1028/512 และ 1214/621 มก./ล ตามลำดับ

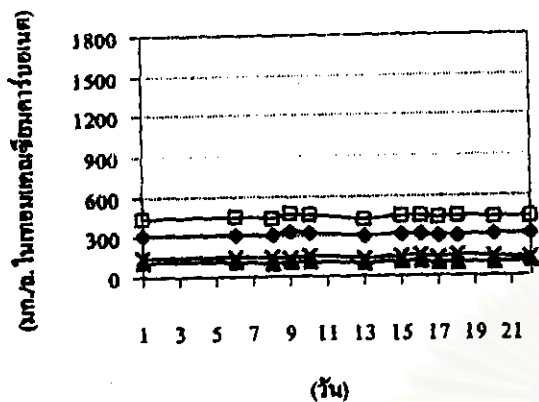
ตารางที่ 4.12 ค่าสภาพต่างทั้งหมด ,อัตราส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดต่อซีโอดีและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มค่าสภาพต่างทั้งหมด

ความเข้มข้น ซีโอดีควมคุม (มก./ล.)	ค่าสภาพต่างทั้งหมด ^a				อัตราส่วนค่าสภาพต่าง ทั้งหมดต่อซีโอดี ^b		เปอร์เซ็นต์การเพิ่มค่า สภาพต่างทั้งหมด (%)	
	น้ำเข้า		น้ำออก					
	4	2	4	2	4	2	4	2
400	318	317	444	521	0.78	0.74	39.6	64.7
SD	±8	±12	±13	±24	±0.02	±0.09	±1.9	±7.5
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(9)	(11)	(12)	(10)
600	463	462	673	782	0.74	0.78	45.1	69.2
SD	±6	±6	±15	±39	±0.01	±0.03	±1.8	±7.8
N	(9)	(12)	(8)	(12)	(8)	(9)	(8)	(12)
800	600	590	836	1055	0.73	0.70	39.2	79.1
SD	±12	±10	±63	±19	±0.02	±0.09	±9.2	±2.8
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(8)	(11)	(12)	(10)
1000	723	720	1036	1253	0.71	0.70	43.4	74
SD	±12	±25	±50	±68	±0.02	±0.03	±7.8	±8.6
N	(10)	(12)	(10)	(12)	(7)	(8)	(10)	(12)
1200	834	853	1232	1540	0.68	0.70	47.7	80.8
SD	±24	±24	±52	±45	±0.01	±0.02	±3.7	±7.2
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(8)	(9)	(12)	(10)

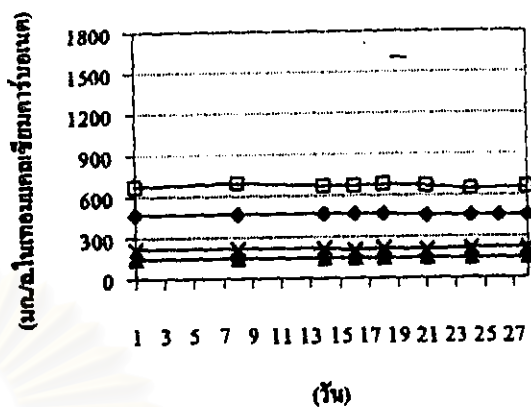
^a ค่าสภาพต่างทั้งหมด (หน่วย: มก./ล.ในทอมแมกซ์เจ็อมคาร์บอนเนต)

^b อัตราส่วนค่าสภาพต่างทั้งหมดต่อซีโอดี (หน่วย: มก./ล.ในทอมแมกซ์เจ็อมคาร์บอนเนต / มก./ล ซีโอดี).

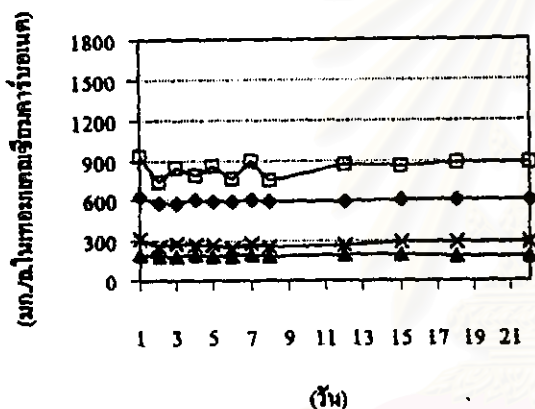
● ค่าสภาพด่างทั้งหมดน้ำเข้า □ ค่าสภาพด่างทั้งหมดน้ำออก ▲ กรดไขมันระเหยน้ำเข้า * กรดไขมันระเหยน้ำออก



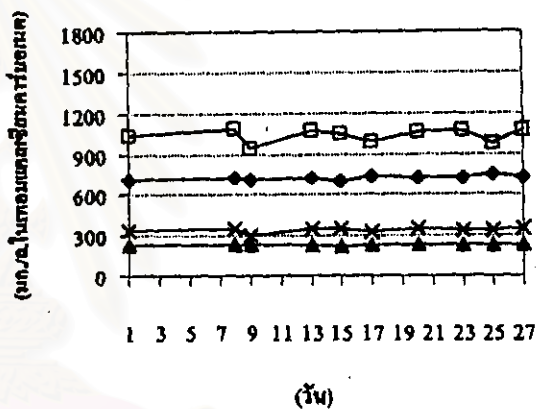
(ก) ซีโอดี 400มก./ด. จั๋วเฟต 100มก./ด.



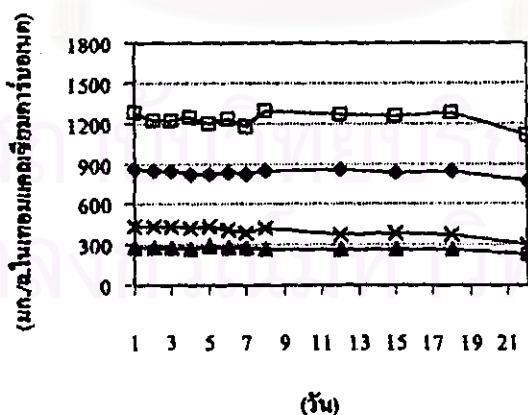
(ข) ซีโอดี 600มก./ด. จั๋วเฟต 150มก./ด.



(ค) ซีโอดี 800มก./ด. จั๋วเฟต 200มก./ด.



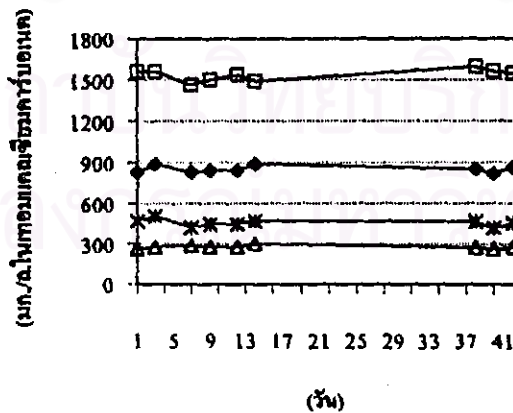
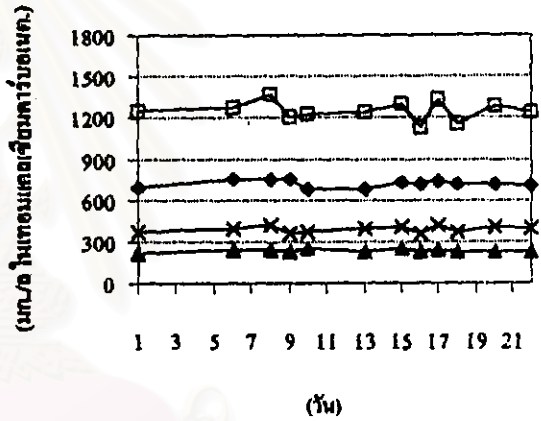
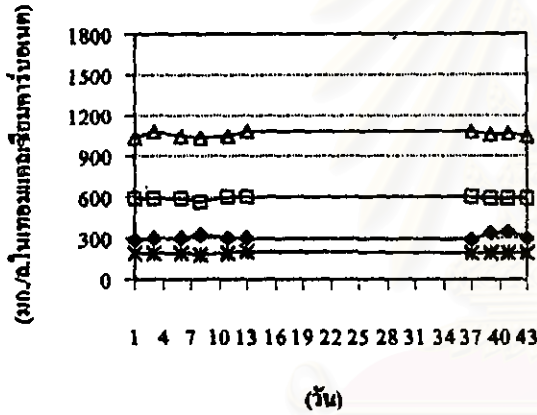
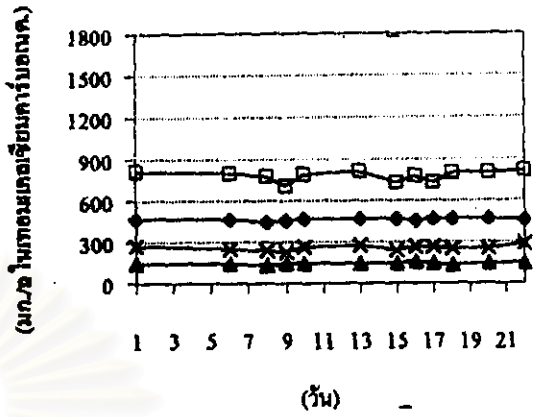
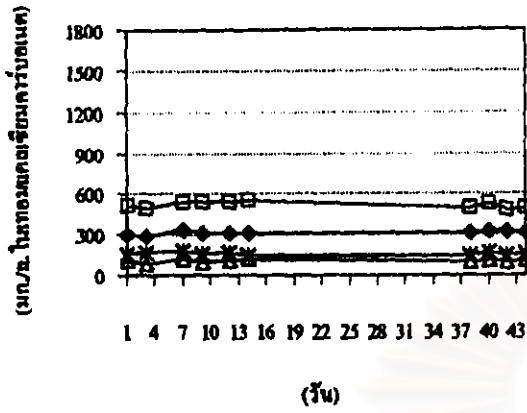
(ง) ซีโอดี 1000มก./ด. จั๋วเฟต 250มก./ด.



(จ) ซีโอดี 1200มก./ด. จั๋วเฟต 300มก./ด.

รูปที่ 4.24 ค่าสภาพด่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย ตลอดจนการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อจั๋วเฟต 4

ค่าสภาพต่างทั้งหมดน้ำเข้า
 ค่าสภาพต่างทั้งหมดน้ำออก
 กรดไขมันระเหยน้ำเข้า
 กรดไขมันระเหยน้ำออก



รูปที่ 4.25 ค่าสภาพต่างทั้งหมดและกรดไขมันระเหย ตลอดจนการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อจัดเฟด 2

สำหรับกระบวนการไร้อากาศที่มีปฏิกิริยาซัลเฟดรีดักชันร่วมด้วย ค่าสภาพค่างทั้งหมดที่สร้างขึ้นและวัดได้ในน้ำออกประกอบด้วยสภาพค่างในรูปของสภาพค่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^- alkalinity), สภาพค่างไบซัลไฟด์ (HS^- alkalinity) และสภาพค่างจากเกลือของกรดไขมันระเหย (volatile acid alkalinity) ทั้งนี้พิจารณาจากนิยามของค่าสภาพค่างซึ่งนิยามว่า ค่าสภาพค่าง คือความสามารถในการดำเนินการเปลี่ยนแปลงพีเอชของระบบเมื่อมีการเติมกรดเข้าสู่ระบบ (Metcalf & Eddy, 1991) ซึ่งในความเป็นจริงอิออนอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น ไคไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$), อะซิเตต (CH_3COO^-) หรือแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นต้น จะมีลักษณะสมบัติเป็นค่าสภาพค่างได้ด้วยเช่นกัน โดยเงื่อนไขสำคัญที่กำหนดบทบาทของอิออนแต่ละชนิดให้มีมากหรือน้อยในการทำหน้าที่บัฟเฟอร์ของระบบที่พิจารณา คือ ค่าพีเอชสุดท้ายของระบบที่ต้องการ และค่า pK_a ของกรดอ่อนของอิออนนั้นๆ โดยพิจารณาจาก ค่าที่เท่ากันหรือใกล้เคียงของค่าพีเอชสุดท้ายของระบบที่ต้องการ และค่า pK_a ของกรดอ่อนของอิออนนั้นๆ (Pohland และ Suidan, 1987) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่า pK_a (25°C) ของ H_2CO_3^* มีค่าเท่ากับ 6.3 และ ของ H_2S มีค่าเท่ากับ 7.1 (Snoeyink และ Jenkins, 1980) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเปรียบเทียบกับค่า pK_a (25°C) ของ CH_3COOH มีค่าเท่ากับ 4.7 [ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำให้ค่าพีเอชของระบบไร้อากาศต่ำลงเหลือเท่ากับ 5 ได้ ในกรณีที่ระบบกัม-เหลว และ CH_3COO^- จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เป็นกำลังบัฟเฟอร์ของระบบในสภาวะดังกล่าว และได้รับการนิยามให้เป็น "volatile acid alkalinity" (Pohland และ Bloodgood, 1963 อ้างถึงใน Pohland, 1992)] ดังนั้นสำหรับทั้ง HCO_3^- และ HS^- ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ระบบไร้อากาศสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อิออนทั้งสองต่างก็จะมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่บัฟเฟอร์ ในช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ของทั้งแบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรีย-รีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.8-7.2 ขณะที่ในช่วงพีเอชดังกล่าว CH_3COO^- จะมีบทบาทน้อยมากในการทำหน้าที่เป็นกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ เนื่องจากจะไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูป CH_3COOH ได้

โดยอาศัยข้อมูลค่าสภาพค่างทั้งหมด, ค่าซีโอไซด์ละลาย และค่าซัลไฟด์ละลายในรูปแตกตัว ที่แสดงในตารางที่ 4.13 จะสามารถคำนวณแยกชนิดค่าสภาพค่างแต่ละประเภทได้ดังแสดงในตารางที่ 4.14 จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าสภาพค่างทั้งหมดน้ำออกที่วัดได้จากงานวิจัยนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสภาพค่างไบคาร์บอเนต (HCO_3^- alkalinity) โดยมีค่าสภาพค่างไบซัลไฟด์ (HS^- alkalinity) เกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง ขณะที่ค่าสภาพค่างจากเกลือของกรดไขมันระเหย (volatile acid alkalinity) จะมีปริมาณน้อยมาก เนื่องจากผลค่าซีโอไซด์ละลายที่วัดได้มีค่าต่ำ และถือว่าไม่มีค่าสภาพค่างคาร์บอเนต (CO_3^{2-} alkalinity) และค่าสภาพค่างไฮดรอกไซด์ (OH^- alkalinity) เนื่องจากค่าพีเอชน้ำออกสูงไม่ถึง 8.3 โดยมีค่าประมาณ 6.8

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลค่าสภาพต่างทั้งหมด, ค่าซีโอดีละลาย และค่าซัลไฟด์ละลายในรูปแบบแตกตัว

ความเข้มข้น ซีโอดีรวม (มก./ล.)	อัตราส่วน 4			อัตราส่วน 2		
	Total Alk (mg/l as CaCO ₃)	HS ⁻ (mg/l)	COD _{alk} (mg/l)	Total Alk (mg/l as CaCO ₃)	HS ⁻ (mg/l)	COD _{alk} (mg/l)
400	444	12.1	16.3	521	26.4	16.9
600	673	18.3	21.8	782	40.6	22.4
800	836	24.6	31.3	1055	60.0	22.6
1000	1036	30.9	28.4	1253	64.4	29.4
1200	1232	36.7	32.4	1540	85.0	24.9

*ค่าซัลไฟด์ละลายในรูปแบบแตกตัว HS⁻ ได้จากหัวข้อ 4.9 สมดุลมวลซัลเฟอร์

ตารางที่ 4.14 ค่าสภาพต่างน้ำออกทั้งหมด แยกชนิดแต่ละประเภท

ความเข้มข้น ซีโอดี รวม (มก./ล.)	ค่าสภาพต่างอัตราส่วน 4 (mg/l as CaCO ₃)				ค่าสภาพต่างอัตราส่วน 2 (mg/l as CaCO ₃)			
	Total (1)	HS ⁻ (2)	VFA ^a (3)	HCO ₃ ^{-b} (4)	Total (1)	HS ⁻ (2)	VFA ^a (3)	HCO ₃ ^{-b} (4)
400	444/(100)	18.9/(4.3) ^c	12.7/(2.9)	412/(92.9)	521/(100)	41.2/(7.9)	13.2/(2.5)	467/(89.6)
600	673/(100)	28.5/(4.2)	17.0/(2.5)	627/(93.2)	782/(100)	63.4/(8.1)	17.5/(2.2)	701/(89.7)
800	836/(100)	38.5/(4.6)	24.5/(2.9)	773/(92.5)	1055/(100)	93.8/(8.9)	17.7/(1.7)	943/(89.4)
1000	1036/(100)	48.3/(4.7)	22.2/(2.1)	965/(93.2)	1253/(100)	100.6/(8.0)	23.0/(1.8)	1129/(90.1)
1200	1232/(100)	57.4/(4.7)	25.3/(2.1)	1149/(93.3)	1540/(100)	132.8/(8.6)	19.5/(1.3)	1388/(90.1)

$$^a \text{HS}^- \text{ alk (mg/l as CaCO}_3\text{)} = (\text{HS}^- \text{ (mg/l)})/32 \cdot 50$$

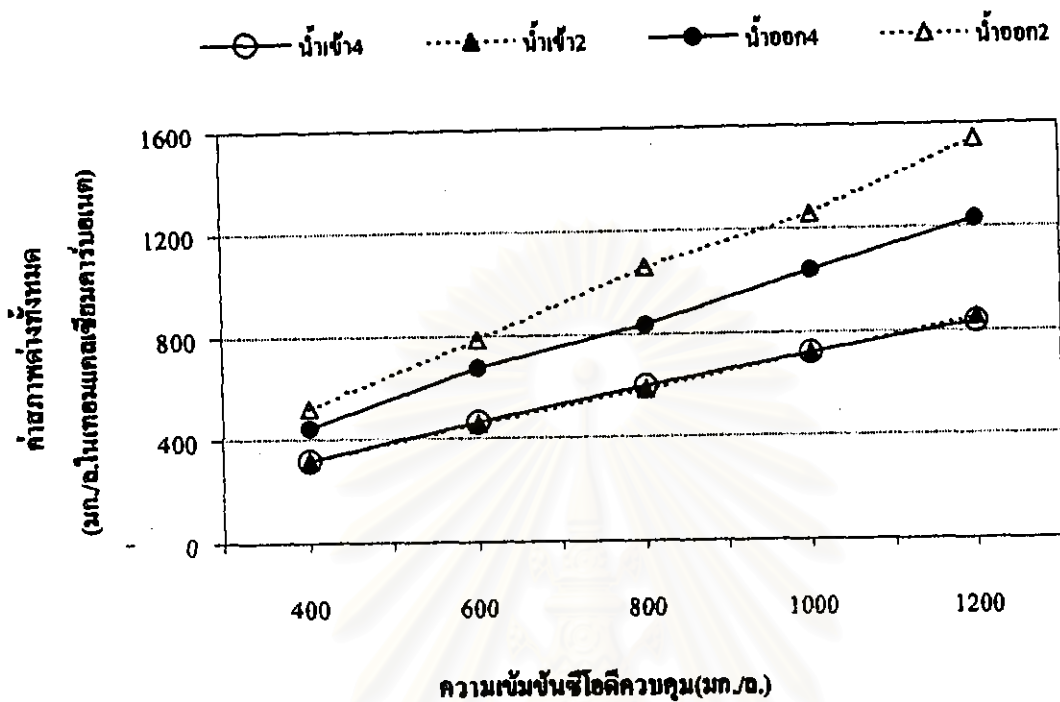
$$^b \text{VFA alk (mg/l as CaCO}_3\text{)} = (\text{COD (mg/l)})/32 \cdot 0.5 \cdot 50$$

(กำหนดให้ซีโอดีละลายทั้งหมดอยู่ในรูป อะซิเตต และ 1 โมลอะซิเตต เทียบเท่า 2 โมลซีโอดี)

$$^c \text{HCO}_3^- \text{ alk (mg/l as CaCO}_3\text{)} = \text{Total alk} - \text{HS}^- \text{ alk} - \text{VFA alk}$$

*18.4/(4.3) หมายถึง ค่าสภาพต่าง HS⁻ เท่ากับ 18.9 mg/l as CaCO₃, คิดเป็น 4.3 เปอร์เซ็นต์ของค่าสภาพต่างทั้งหมด

สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยสภาพค่างทั้งหมดคในน้ำเข้าและน้ำออก ของระดับความเข้มข้น ซีโอติควมคุมต่างๆที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 และ 2 แสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยสภาพค่างทั้งหมดน้ำเข้าและน้ำออกตามระดับความเข้มข้นซีโอติ

จากข้อมูลค่าเฉลี่ยสภาพค่างและรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่า ค่าสภาพค่างทั้งหมดน้ำออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าน้ำเข้า และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าสภาพค่างน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเข้าเกิดจาก ระบบผลิตสภาพค่างในชั้น mineralization (การทำให้เป็นแร่) ได้มากกว่าที่ถูกทำลายไปในชั้น acidification (การสร้างกรดไขมันระเหย) สำหรับแนวคิดการผลิตสภาพค่างของระบบไร้อากาศในชั้น mineralization โดยการผลิต HCO_3^- และ HS^- และทำลาย H^+ นี้ แต่เดิมยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างชัดเจนนักสำหรับผู้วิจัย และเข้าใจว่าระบบไม่สามารถผลิตสภาพค่างขึ้นมาได้ถ้าน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบเป็นประเภทน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต แต่ถ้าเป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำเสียที่มีโปรตีน เป็นต้น ระบบจึงจะสามารถผลิตสภาพค่างขึ้นได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองซึ่งค่าสภาพค่างน้ำออกมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งที่แหล่งคาร์บอนที่ใช้ คือ น้ำตาลทราย ทำให้ต้องวิเคราะห์ทางทฤษฎีถึงการสร้างค่าสภาพกรดและค่าสภาพค่างที่เกิดขึ้นในกระบวนการไร้อากาศจาก 2 ชั้นคอน คือ ชั้น acidification และ ชั้น mineralization ทำให้พบว่า ในชั้น acidification

ระบบจะผลิตค่าสภาพกรด และมีการทำลายค่าสภาพด่าง ขณะที่ในขั้น mineralization ระบบจะสามารถผลิตได้ทั้งค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง โดยผู้วิจัยเชื่อว่าคาร์บอนอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในขั้น mineralization จากการย่อยอะซิเตด(CH_3COO^-) จะอยู่ในรูปอออนไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ไม่ได้อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยตั้งสมมติฐานขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชที่แบคทีเรียในขั้น mineralization จะอยู่ในระบบได้ จะต้องมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงกลาง ซึ่งกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากขั้น acidification ส่วนใหญ่จะแตกตัวอยู่ในรูป CH_3COO^- และคาร์บอนอนินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อย CH_3COO^- โดยแบคทีเรียผลิตมีเทน หรือแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต จะต้องอยู่ในรูป HCO_3^- จึงจะทำให้สมการของปฏิกิริยาเกิดสมดุลในส่วนของประจุไฟฟ้า แต่การที่พบก๊าซ CO_2 ในวัฏภาคก๊าซเกิดจากการเข้าสู่สมดุลของระบบคาร์บอเนตจาก HCO_3^- ที่เกิดขึ้น และดำเนินการหนีของก๊าซ CO_2 เข้าสู่วัฏภาคก๊าซมาร่วมพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง พบว่าจะทำให้ค่าสภาพกรดของระบบมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีผลเปลี่ยนแปลงต่อค่าสภาพด่าง

ในการแสดงถึงการทำงานของระบบไร้อากาศที่สามารถสร้างค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต จะพิสูจน์ด้วยการคำนวณข้อมูลซีไอคีนน้ำเข้าจากผลการทดลอง โดยอาศัยสมการการย่อยสลายน้ำตาลทรายในขั้น acidification โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์เกิดเป็นเฉพาะกรดอะซิติก, ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสมการการย่อยอะซิเตด และย่อยก๊าซไฮโดรเจน ในขั้นทำให้เป็นแร่ mineralization โดยแบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต เกิดเป็น ก๊าซมีเทน, อออนไบคาร์บอเนต และอออนไบซัลไฟด์ โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขการคำนวณทั้งหมดดังนี้

รายละเอียดและเงื่อนไขการคำนวณการผลิตค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่างจากการย่อยสลายน้ำตาลทรายในกระบวนการไร้อากาศ โดยใช้ข้อมูลซีไอคีนน้ำเข้าจากผลการทดลอง

1. กำหนดให้ ในขั้นตอน acidification ถือว่าน้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$) จะถูกเปลี่ยนเป็น VFA ทั้งหมด 100% โดย น้ำตาลทรายที่ถูกเปลี่ยนเป็น VFA จะเปลี่ยนเป็นเฉพาะ กรดอะซิติก นอกจากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. การย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการไร้อากาศ ประมาณได้ว่า 70% ของก๊าซมีเทนที่ได้เกิดจากการย่อยสลายผ่านทางกรดอะซิติก และอีก 30% ได้จากการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน (Pohland, 1992) ดังนั้นสามารถสร้างสมการการย่อยสลายน้ำตาลทราย ในขั้น acidification ได้ โดยมีสมการดังนี้



โดย น้ำตาลทราย 1 มิลลิโมลหนัก 326 มก. และ เทียบเท่าซีไอดี 12.5 มิลลิโมล หรือ 400 มก.

กรดอะซิติก 1 มิลลิโมลหนัก 60 มก. และ เทียบเท่าซีไอดี 2.0 มิลลิโมล หรือ 64 มก.

ไฮโครเจน 1 มิลลิโมลหนัก 2 มก. และ เทียบเท่าซีไอดี 0.5 มิลลิโมล หรือ 16 มก.

3. ในขั้น acidification ค่า pH ของระบบจะลดลงจากการแตกตัวของกรดอะซิติก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากแบคทีเรียในระบบยังทำงานอยู่ได้ ดังนั้น ค่า pH จะไม่ลดต่ำลงต่ำมาก (เพราะปริมาณค่าที่เดิมเริ่มต้น) โดย assume ให้มีค่า pH ต่ำที่สุด = 6.5 เพื่อพิจารณาการแตกตัวของ CH_3COOH และ CO_2

4. ในการพิจารณาการแตกตัวของกรดอ่อน สามารถคำนวณได้โดยอาศัยค่า pK_a ของกรดอ่อนที่พิจารณา และค่า pH ของระบบ โดยค่า pK_a ของกรดอะซิติก และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับกรดคาร์บอนิกที่ 25°C เท่ากับ 4.7 และ 6.3 ตามลำดับ (Snoeyink และ Jenkins, 1980) และพิจารณาการแตกตัวได้จากอัตราส่วนระหว่าง $\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{CH}_3\text{COOH}$ และ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$ โดยแสดงตัวอย่างที่ pH 7, 6.5 และ 6.0 ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 อัตราส่วนระหว่าง $\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{CH}_3\text{COOH}$ และ $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ที่ pH 7, 6.5 และ 6.0

ค่า pH	อัตราส่วน ที่ 25°C	
	$\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$
7.0	$[10^{-4.7}]/[10^{-7.0}] = 199^*$	$[10^{-6.3}]/[10^{-7.0}] = 5.0$
6.5	$[10^{-4.7}]/[10^{-6.5}] = 63$	$[10^{-6.3}]/[10^{-7.0}] = 1.58$
6.0	$[10^{-4.7}]/[10^{-6.0}] = 20$	$[10^{-6.3}]/[10^{-7.0}] = 0.5$

* 199 หมายความว่า ที่ pH 7 มี จำนวน โมล CH_3COO^- เป็น 199 เท่าของจำนวน โมล CH_3COOH เป็นต้น

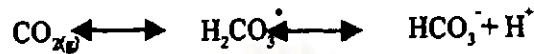
5. ค่า Alkalinity = $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$ โดยทุกเทอมมีหน่วย mg/l as CaCO_3

ค่า Acidity = $\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ - \text{OH}^-$ โดยทุกเทอมมีหน่วย mg/l as CaCO_3

โดยความเป็นกรด (H_2CO_3^*) จะประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระประมาณ 99% และกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เนื่องจากกรดคาร์บอนิกมีความคงตัวต่ำมาก สำหรับสภาพค่า CH_3COO^- จะมีบทบาทต่อเมื่อค่า pH ของระบบมีค่าต่ำ และเนื่องจากกำหนดให้ค่า pH เป็น 6.5 ทำให้สภาพค่า CH_3COO^- ดังกล่าวไม่สามารถคิดเป็นกำลังบัฟเฟอร์ในระบบที่พิจารณา

6. พิจารณาตาราง 4.15 ที่ pH 6.5 CH_3COOH แยกตัวได้เกือบสมบูรณ์ มี จำนวนโมล CH_3COO^- เป็น 63 เท่าของจำนวนโมล CH_3COOH โดยจะมีผลทำให้ค่า สภาพต่างตกลงจากเทอม H^+ ขณะที่เทอม H^+ ดังกล่าว กลับจะทำให้ค่า สภาพกรด เพิ่มขึ้น

7. การละลายของ CO_2 ในน้ำไม่ทำให้ค่า สภาพต่าง ของระบบเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ค่า สภาพกรด เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดการละลายของ CO_2 และการแตกตัวของ H_2CO_3 ในน้ำดังสมการ



7.1 จากสมการดังกล่าวค่าสภาพกรด ที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ ผลรวมของค่าสภาพกรด ของอไอออนแต่ละชนิด คือ $(\text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+)$ ที่อยู่ในสถานะสมดุลของการแตกตัวในวัฏภาคน้ำ ซึ่งเทียบเท่ากับปริมาณ ค่าสภาพกรด ที่คำนวณได้จาก CO_2 ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ผนด้วย ปริมาณค่าสภาพกรด ที่คำนวณได้จาก CO_2 ที่หนีไปอยู่ในวัฏภาคก๊าซ อย่างไรก็ตาม กำหนดให้ไม่มีก๊าซ CO_2 หนีไปอยู่ในวัฏภาคก๊าซ จึงทำให้ค่าสภาพกรด ที่เพิ่มขึ้นที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย

7.2 สำหรับค่าสภาพต่าง ผลของการละลายและการแตกตัวของก๊าซ CO_2 เกิดเป็นอไอออน H_2CO_3^* , HCO_3^- และ H^+ นั้น ถึงแม้ดูเหมือนว่าค่าสภาพต่าง จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก HCO_3^- แต่ก็จะมีค่าลดลงจาก H^+ ใน ปริมาณที่เท่ากัน ดังนั้น การละลายของ CO_2 ในน้ำจะไม่ทำให้ ค่าสภาพต่าง ของระบบเปลี่ยนแปลง โดยเทอมของ H_2CO_3^* จะไม่มีผลต่อการคำนวณค่าสภาพต่าง (จากข้อ 5)

8 ตัวอย่างการคำนวณ การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ค่าสภาพกรดและ ค่าสภาพต่าง ในขั้น 100% acidification จากการย่อยน้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$) โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากชุดการทดลอง ซีไอดี 412 มก./ล. และซัลเฟต 206 มก./ล.

8.1 น้ำตาลทราย ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{10}$) 1 mMol มีน้ำหนักเท่ากับ 326 มก

8.2 น้ำตาลทราย 1 มก. เทียบเท่า ค่าซีไอดี เท่ากับ 1.227 มก.

8.3 ดังนั้น ซีไอดีจากน้ำตาลทราย 412 มก./ล. = น้ำตาลทราย $(412/1.227)/326 = 1.03 \text{ mMol/l}$

8.4 จากข้อกำหนด 2 น้ำตาลทราย 1 โมล เปลี่ยนเป็น กรดอะซิติก 4.375 โมล ก๊าซไฮโดรเจน 7.5 โมล และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.25 โมล

8.5 ดังนั้น น้ำตาลทราย 1.03 mMol/l เปลี่ยนเป็น กรดอะซิติก = $4.375 \times 1.03 = 4.51 \text{ mMol/l}$, ก๊าซไฮโดรเจน = $7.5 \times 1.03 = 7.73 \text{ mMol/l}$ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = $3.25 \times 1.03 = 3.35 \text{ mMol/l}$

8.6 ค่าสภาพกรด และค่าสภาพต่าง ของ H^+ และ CO_2 1 mMol/l = 50 mg/l as CaCO_3 เท่ากัน

8.7 ดังนั้น ค่าสภาพกรดจากกรดอะซิติกที่เกิดขึ้น = $4.51 \times 50 = 226 \text{ mg/l as CaCO}_3$ (กำหนดให้กรดอะซิติกแตกตัวได้สมบูรณ์ จากข้อกำหนด 6) และค่าสภาพกรด จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น =

$3.35 \times 50 = 168 \text{ mg/l as CaCO}_3$, (จากข้อกำหนด 7.1) และค่าสภาพกรดที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด = $394 \text{ mg/l as CaCO}_3$,

8.8 ขณะที่ ค่าสภาพด่าง จะลดลงจากการแตกตัวของกรดอะซิติกที่เกิดขึ้น = $4.51 \times 50 = -226 \text{ mg/l as CaCO}_3$, และการละลายของ CO_2 ในน้ำจะไม่ทำให้ค่าสภาพด่าง ของระบบเปลี่ยนแปลง ดังค่าสภาพด่าง ที่ลดลงทั้งหมด = $-226 \text{ mg/l as CaCO}_3$,

ด้วยวิธีการคำนวณข้างต้น สามารถหาการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง ของทุกการทดลอง ได้ โดยแสดงในตาราง ที่ 4.16

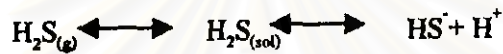
ตาราง ที่ 4.16 การคำนวณค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง เมื่อผ่านขั้น 100% acidification

COD/ SO ₄ ²⁻	100% ACIDIFICATION					ผลการเปลี่ยนแปลง Acidity และ Alkalinity					
	COD _m	น้ำตาล (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₂)	HAc	CO ₂	H ₂	Acidity (mg/l as CaCO ₃)			Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)		
	(mg/l)	mMol/l	MMol/l	MMol/l	mMol/l	CO ₂	HAc	sum	CO ₂	HAc	sum
2	412	1.03	4.51	3.35	7.73	168	226	394	0	-226	-226
2	597	1.49	6.53	4.85	11.20	243	327	570	0	-327	-327
2	814	2.03	8.90	6.61	15.26	331	445	776	0	-445	-445
2	1028	2.57	11.24	8.35	19.28	418	562	980	0	-562	-562
2	1214	3.03	13.28	9.86	22.76	493	664	1157	0	-664	-664
4	404	1.01	4.42	3.28	7.58	164	221	385	0	-221	-221
4	622	1.56	6.81	5.06	11.67	253	340	593	0	-340	-340
4	825	2.06	9.02	6.70	15.46	335	451	786	0	-451	-451
4	1010	2.52	11.04	8.20	18.93	410	552	962	0	-552	-552
4	1221	3.05	13.36	9.92	22.90	496	668	1164	0	-668	-668

9. ในขั้น mineralization จะเป็นการเปลี่ยนอะซิเตด และก๊าซไฮโดรเจน เป็นก๊าซมีเทน โดย MPB หรือ เปลี่ยนเป็นซัลไฟด์ โดย SRB และกำหนดให้ SRB มีความสามารถในการแย่งใช้สารอาหารทั้ง 2 ชนิด ได้ดีกว่า MPB รวมทั้งจะเลือกใช้ก๊าซไฮโดรเจน ก่อนกรดอะซิติก (Visser, 1994)

10. เนื่องจากกำหนดให้ค่า pH ระบบต่ำสุด = 6.5 (จากข้อ 3) และที่ค่า pH 6.5 กรดอะซิติกแตกตัวได้เกือบสมบูรณ์อัตราส่วน $\text{CH}_3\text{COO}^-/\text{CH}_3\text{COOH}=63$ (ที่ 25°C) ดังนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ CH_3COO^- (อะซิเตด) ซึ่งจะถูกใช้ต่อไปโดย SRB และ MPB

11. สำหรับในขั้นตอน mineralization โดย SRB และ MPB จะมีผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับ ค่าสภาพกรด และ ค่าสภาพด่าง ที่เพิ่มขึ้นมา คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็นก๊าซที่ละลายน้ำได้ดีมาก และสามารถแตกตัวได้ ดังสมการ



การละลายของ H_2S ในน้ำไม่ทำให้ค่าสภาพด่าง ของระบบเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ค่าสภาพกรด เพิ่มขึ้น โดยมีเหตุผลเช่นเดียวกับกรณีของ CO_2 โดยไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายที่ไม่แตกตัว $\text{H}_2\text{S}_{(sol)}$ มีลักษณะสมบัติเป็นค่าสภาพกรด ขณะที่ อีออนไบซัลไฟด์ (HS^-) จะมีลักษณะสมบัติเป็นทั้ง ค่าสภาพกรด และ ค่าสภาพด่าง โดย $\text{H}_2\text{S}_{(sol)}$ และ HS^- 1 mMol/l มีค่าเทียบเท่า = 50 mg/l as CaCO_3 เช่นเดียวกัน

12. ดังนั้นสมการคำนวณค่าสภาพกรด และ ค่าสภาพด่าง จะปรับเป็น ดังนี้

$$\text{Alkalinity} = \text{HS}^- + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+ \quad \text{โดยทุกเทอมมีหน่วย mg/l as CaCO}_3$$

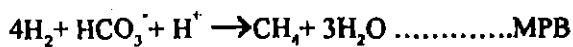
$$\text{Acidity} = \text{H}_2\text{CO}_3^* + \text{H}_2\text{S}_{(sol)} + \text{HS}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ - \text{OH}^- \quad \text{โดยทุกเทอมมีหน่วย mg/l as CaCO}_3$$

13. สมการการย่อยสลาย อะซิเตด และก๊าซไฮโดรเจน โดย MPB และ SRB เป็นดังนี้

การย่อยสลาย อะซิเตด



การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน



โดยตารางที่ 4.17 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่างจากการย่อย อะซิเตด และ ก๊าซ H_2 โดย MPB และ SRB

ตารางที่ 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง จากการย่อย สารอาหาร โดย MPB และ SRB

สารอาหาร	แบคทีเรีย	ACIDITY(MOL)				ALKALINITY(MOL)			
		HS ⁻	HCO ₃ ⁻	H ⁺	Σ	HS ⁻	HCO ₃ ⁻	H ⁺	Σ
อะซิเตด	MPB	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1
1 โมล CH_3COO^-	SRB	+1	+2	0	+3	+1	+2	0	+3
ก๊าซไฮโดรเจน	MPB	0	-1	-1	-2	0	-1	+1	0
4 โมล H_2	SRB	+1	0	-1	0	+1	0	+1	+2

14. ในขั้น mineralization ข้อมูลค่าซีไอได้น้ำออกมีประโยชน์ในการคำนวณปริมาณอะซิเตดที่ถูกใช้จริง โดยกำหนดให้ ซีไอได้น้ำออกในรูปก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมดถูกใช้โดยแบคทีเรีย ขณะที่สัดส่วนการใช้ซีไอได้น้ำออกระหว่าง MPB และ SRB มีประโยชน์ในการกำหนดปริมาณซีไอได้น้ำออกที่จะถูกย่อยสลายในรูปสภาวะเคมีต่างๆจากข้อ 13.

15 ตัวอย่างการคำนวณ การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ค่าสภาพกรด และ ค่าสภาพด่างในขั้น mineralization โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากชุดการทดลอง ซีไอได้น้ำออก 412 มก./ล. และซัลเฟต 206 มก./ล. ($COD/SO_4^{2-} = 2$)

15.1 ค่าซีไอได้น้ำออก = 16.9 มก./ล. และเป็นซีไอได้น้ำออกในรูปอะซิเตด

15.2 กรดอะซิติก และอะซิเตด 1 มก. เทียบเท่า ค่าซีไอได้น้ำออกเท่ากับ 1.07 มก. เท่ากัน

15.3 กรดอะซิติก (CH_3COOH) 1 mMol มีน้ำหนักเท่ากับ 60 มก

15.4 จำนวนกรดอะซิติกที่คำนวณจากซีไอได้น้ำออก = $(16.9/1.07)/60 = 0.263 \text{ mMol/l}$

15.5 จำนวนโมลอะซิเตดที่ถูกย่อยสลายโดย SRB และ MPB ทั้งหมด = จำนวนโมลกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากขั้น acidification - จำนวนโมลกรดอะซิติกที่คำนวณจากซีไอได้น้ำออก = $4.51 - 0.263 = 4.25 \text{ mMol/l}$

15.6 % SRB = 35.8% และ % MPB = 64.2 %

15.7 ดังนั้น ค่าซีไอได้น้ำออกในรูปก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากขั้น acidification ถูกใช้โดย SRB ทั้งหมด และ ซีไอได้น้ำออกในรูปอะซิเตดบางส่วนที่ถูกย่อยโดย SRB มีจำนวน = $\{[(35.8-30)/[(35.8-30)+64.2]]\} * 4.25 = 0.35 \text{ mMol/l}$

15.8 ซีไอได้น้ำออกในรูปอะซิเตดที่ถูกย่อยโดย MPB มีจำนวน = $4.25 - 0.35 = 3.90 \text{ mMol/l}$

15.9 นั่นคือซัลไฟด์ทั้งหมดที่ถูกย่อยจะถูก SRB ย่อยสลายในรูปก๊าซไฮโดรเจน 7.73 mMol/l ในรูปอะซิเตต 0.35 mMol/l และจะถูก MPB ย่อยสลายในรูปอะซิเตต 3.90 mMol/l

15.10 การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 4 โมลโดย SRB จะใช้ H^+ 1 โมล และผลิต HS^- 1 โมล ดังนั้น การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 7.73 mMol/l โดย SRB จะใช้ $H^+ = 7.73/4 = 1.93$ mMol/l และผลิต $HS^- = 7.73/4 = 1.93$ mMol/l

15.11 การย่อยสลายอะซิเตต 1 โมลโดย SRB จะผลิต HCO_3^- 2 โมล และ HS^- 1 โมล ดังนั้นการย่อยสลายอะซิเตต 0.35 mMol/l โดย SRB จะผลิต $HCO_3^- = 0.35*2 = 0.70$ mMol/l และผลิต $HS^- = 0.35*1 = 0.35$ mMol/l

15.12 การย่อยสลายอะซิเตต 1 โมลโดย MPB จะผลิต HCO_3^- 1 โมล ดังนั้น การย่อยสลายอะซิเตต 3.90 mMol/l โดย MPB จะผลิต $HCO_3^- = 3.90*1 = 3.90$ mMol/l

15.13 นั่นคือ ในการย่อยสลายทั้งหมด จะใช้ $H^+ = 1.93$ mMol/l ผลิต $HS^- = 1.93 + 0.35 = 2.28$ mMol/l และผลิต $HCO_3^- = 0.70 + 3.90 = 4.60$ mMol/l

15.14 ดังนั้นในขั้น mineralization ค่าสภาพกรดของระบบที่เปลี่ยนแปลง = $-1.93 + 2.28 + 4.60 = +4.95$ mMol/l = $4.95*50 = +247.5$ mg/l as $CaCO_3$ และค่าสภาพด่างของระบบที่เปลี่ยนแปลง = $2.28 + 4.60 - (-1.93) = +8.81$ mMol/l = $8.81*50 = +440.5$ mg/l as $CaCO_3$

16 ตัวอย่างการคำนวณ การเปลี่ยนแปลงปริมาณค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง ในขั้น mineralization โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากรูการทดลอง ซัลไฟด์ 404 มก./ล. และซัลเฟต 106 มก./ล. ($COD/SO_4^{2-} = 4$)

16.1 ค่าซัลไฟด์น้ำออก = 16.3 มก./ล. และเป็นซัลไฟด์ในรูปอะซิเตต

16.2 จำนวนกรดอะซิติกที่คำนวณจากซัลไฟด์น้ำออก = $(16.3/1.07)/60 = 0.254$ mMol/l

16.3 จำนวนโมลอะซิติกที่ถูกย่อยสลายโดย SRB และ MPB ทั้งหมด = จำนวนโมลกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นจากขั้น acidification - จำนวนโมลกรดอะซิติกที่คำนวณจากซัลไฟด์น้ำออก = $4.42 - 0.254 = 4.17$ mMol/l

16.4 % SRB = 18.3% และ % MPB = 81.7%

16.5 ดังนั้น ค่าซัลไฟด์ในรูปอะซิเตตที่ถูกย่อยสลาย ถูกใช้โดย MPB ทั้งหมด และ ซัลไฟด์ในรูปก๊าซไฮโดรเจน บางส่วนที่ถูกย่อยโดย MPB มีจำนวน = $[(81.7-70)/((81.7-70)+18.3)]*7.58 = 2.96$ mMol/l

16.6 ซัลไฟด์ในรูปก๊าซไฮโดรเจน ที่ถูกย่อยโดย SRB มีจำนวน = $7.58 - 2.96 = 4.62$ mMol/l

16.7 นั่นคือซัลไฟด์ทั้งหมดที่ถูกย่อยจะถูก SRB ย่อยสลายในรูปก๊าซไฮโดรเจน 4.62 mMol/l และจะถูก MPB ย่อยสลายในรูปอะซิเตต 4.17 mMol/l ในรูปก๊าซไฮโดรเจน 2.96 mMol/l

16.8 การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 4 โมลโดย SRB จะใช้ H^+ 1 โมล และผลิต HS^- 1 โมล ดังนั้น การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 4.62 mMol/l โดย SRB จะใช้ $H^+ = 4.62/4 = 1.16$ mMol/l และผลิต $HS^- = 4.62/4 = 1.16$ mMol/l

16.9 การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 4 โมลโดย MPB จะใช้ H^+ 1 โมล และ HCO_3^- 1 โมล ดังนั้น การย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจน 2.96 mMol/l โดย MPB จะใช้ $H^+ = 2.96/4 = 0.74$ mMol/l และ $HCO_3^- = 2.96/4 = 0.74$ mMol/l

16.10 การย่อยสลายอะซิเตด 1 โมลโดย MPB จะผลิต HCO_3^- 1 โมล ดังนั้น การย่อยสลายอะซิเตด 4.17 mMol/l โดย MPB จะผลิต $HCO_3^- = 4.17 * 1 = 4.17$ mMol/l

16.11 นั่นคือ ในการย่อยสลายทั้งหมด จะใช้ $H^+ = 1.16 + 0.74 = 1.9$ mMol/l ผลิต $HS^- = 1.16$ mMol/l และผลิต $HCO_3^- = 4.17 - 0.74 = 3.43$ mMol/l

16.12 ดังนั้นในขั้น mineralization ค่าสภาพกรดของระบบที่เปลี่ยนแปลง = $-1.9 + 1.16 + 3.43 = +2.69$ mMol/l = $2.69 * 50 = +134.5$ mg/l as $CaCO_3$ และค่าสภาพด่างของระบบที่เปลี่ยนแปลง = $1.16 + 3.43 - (-1.9) = +6.49$ mMol/l = $6.49 * 50 = +324.5$ mg/l as $CaCO_3$

ด้วยวิธีการคำนวณข้างต้นสามารถหาการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรดและค่าสภาพด่างในขั้น mineralization โดย SRB และ MPB ของทุกการทดลองได้ โดยแสดงในตารางที่ 4.18 และสรุปรวมในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 การคำนวณการเปลี่ยนแปลง ค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่าง ในชั้น mineralization

RA-TIO	COD _{IN} MG/L	% SRB	SRB MINERALIZATION												
			H ₂	Acidity ^a		Alkalinity ^a		HAc	Acidity ^a		Alkalinity ^a		Σ ^a		
			mMol/l	HS ⁻	H ⁺	HS ⁻	H ⁺	mMol/l	HCO ₃ ⁻	HS ⁻	HCO ₃ ⁻	HS ⁻	Acid	Alk	
2	412	35.8	7.7	96.6	-96.6	96.6	96.6	0.3	34.7	17.4	34.7	17.4	52.1	245.3	
2	597	36.6	11.2	140.0	-140.0	140.0	140.0	0.6	58.4	29.2	58.4	29.2	87.6	367.6	
2	814	38.4	15.3	190.7	-190.7	190.7	190.7	1.0	101.9	51.0	101.9	51.0	152.9	534.3	
2	1028	36.4	19.3	240.9	-240.9	240.9	240.9	1.0	98.4	49.2	98.4	49.2	147.6	629.4	
2	1214	38.4	22.8	284.5	-284.5	284.5	284.5	1.5	154.1	77.0	154.1	77.0	231.1	800.1	
4	404	18.3	4.6	57.9	-57.9	57.9	57.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	115.8	
4	622	17.0	6.6	82.8	-82.8	82.8	82.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	165.6	
4	825	17.7	9.1	114.3	-114.3	114.3	114.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	228.6	
4	1010	18.6	11.8	147.1	-147.1	147.1	147.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	294.2	
4	1221	18.3	14.0	175.0	-175.0	175.0	175.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	350	
RA-TIO	COD _{IN} MG/L	% MPB	MPB MINERALIZATION												
			H ₂	Acidity ^a		Alkalinity ^a		HAc	Acidity ^a		Alkalinity ^a		Σ ^a		
			mMol/l	HCO ₃ ⁻	H ⁺	HCO ₃ ⁻	H ⁺	mMol/l	HCO ₃ ⁻	H ⁺	HCO ₃ ⁻	H ⁺	Acid	Alk	
2	412	64.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	194.1	0.0	194.1	0.0	194.1	194.1	
2	597	63.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	278.9	0.0	278.9	0.0	278.9	278.9	
2	814	61.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	375.3	0.0	375.3	0.0	375.3	375.3	
2	1028	63.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	488.5	0.0	488.5	0.0	488.5	488.5	
2	1214	61.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	566.0	0.0	566.0	0.0	566	566	
4	404	81.7	2.9	-36.9	-36.9	-36.9	36.9	4.2	207.5	0.0	207.5	0.0	133.7	207.5	
4	622	83.0	5.0	-63.0	-63.0	-63.0	63.0	6.4	322.1	0.0	322.1	0.0	196.1	322.1	
4	825	82.3	6.3	-79.0	-79.0	-79.0	79.0	8.5	424.9	0.0	424.9	0.0	266.9	424.9	
4	1010	81.4	7.2	-89.5	-89.5	-89.5	89.5	10.6	528.5	0.0	528.5	0.0	349.5	528.5	
4	1221	81.7	8.9	-111.2	-111.2	-111.2	111.2	12.8	641.0	0.0	641.0	0.0	418.6	641	

^a หน่วย mg/l as CaCO₃

ตารางที่ 4.19 สรุปค่าสภาพกรดและค่าสภาพด่างทั้งในขั้น acidification และ mineralization

RA	COD _{IN} TIO MG/L	ACIDIFICATION						MINERALIZATION							
		Acidity (mg/l as CaCO ₃)			Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			Acidity (mg/l as CaCO ₃)				Alkalinity (mg/l as CaCO ₃)			
		CO ₂	HAc	sum	CO ₂	HAc	sum	HCO ₃ ⁻	HS ⁻	H ⁺	sum	HCO ₃ ⁻	HS ⁻	H ⁺	sum
2	412	168	226	393	0	-226	-226	229	114	-97	246	229	114	97	439
2	597	243	327	569	0	-327	-327	337	169	-140	367	337	169	140	647
2	814	331	445	776	0	-445	-445	477	242	-191	528	477	242	191	910
2	1028	418	562	980	0	-562	-562	587	290	-241	636	587	290	241	1118
2	1214	493	664	1157	0	-664	-664	720	362	-285	797	720	362	285	1366
4	404	164	221	385	0	-221	-221	171	58	-95	134	171	58	95	323
4	622	253	340	593	0	-340	-340	259	83	-146	196	259	83	146	488
4	825	335	451	786	0	-451	-451	346	114	-193	267	346	114	193	654
4	1010	410	552	962	0	-552	-552	439	147	-237	350	439	147	237	823
4	1221	496	668	1164	0	-668	-668	530	175	-286	419	530	175	286	991

หมายเหตุ ตัวเลขที่ได้เป็นการคำนวณที่มีจุดประสงค์เพื่อต้องการแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่า Alkalinity และ Acidity เท่านั้น!!! โดย
การคำนวณดังกล่าวไม่พิจารณาของ CO₂ และ H₂S ออกจากปฏิกรณ์น้ำเข้าสู่หม้อรวมพิจารณา

จากตารางที่ 4.19 แสดงผลรวมการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่างทั้งหมดจากการคำนวณ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถสร้างค่าสภาพกรด และค่าสภาพด่างได้ โดยค่าสภาพกรดสร้างขึ้นได้ทั้งในขั้น acidification และ mineralization ขณะที่ค่าสภาพด่างถูกทำลายในขั้น acidification และจะสร้างเพิ่มในขั้น mineralization โดยปริมาณ ค่าสภาพด่าง ที่สร้างเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ถูกทำลาย ดังนั้นโดยรวมทั้ง 2 ขั้นตอนระบบจึงสามารถสร้างค่าสภาพด่างเพิ่มขึ้นได้ ถึงแม้จะเป็นน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตก็ตาม ซึ่งจะนำมาอธิบายผลการทดลองที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพด่างน้ำออก และจากผลการคำนวณแสดงการสร้างเพิ่มค่าสภาพด่างในขั้น mineralization จากการย่อยน้ำเสียคาร์โบไฮเดรต ข้างต้น ทำให้มองได้ว่าปริมาณด่างที่เติมให้กับระบบไร้อากาศที่ไม่มีการแยกเป็นถังสร้างกรดและถังสร้างก๊าซ จะต้องใช้ด่างในปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากต้องเผื่อปริมาณด่างสำหรับส่วนที่จะถูกทำลายในขั้น acidification เพื่อให้ค่าพีเอชของระบบเหมาะสมต่อแบคทีเรียในขั้น mineralization ซึ่งมีค่าประมาณ 7 ขณะที่สำหรับระบบที่มีการแยกเป็น ถังสร้างกรด และถังสร้างก๊าซ จะเติมด่างลงในถังสร้างกรดในปริมาณที่น้อยกว่า เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถเจริญเติบโตได้ที่ค่าพีเอชในช่วงค่า 5.8-6.2 ได้ (Lettinga และคณะ 1991) และปริมาณด่างที่เติมในถังสร้างก๊าซก็จะมีปริมาณน้อยลงจนอาจถึงระดับไม่เติมด่างได้ในบางกรณี

สำหรับลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพค่างน้ำออก เมื่อระดับความเข้มข้นของซีไอดี และซัลเฟตเพิ่มขึ้น ในแต่ละอัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต ถือว่าเป็นลักษณะปกติเมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อิออนของ HCO_3^- และ HS^- ที่เกิดก็จะมากขึ้น นอกจากนั้นเหตุผลสำหรับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าสภาพค่างทั้งหมดน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเข้าที่สูงกว่าของการทดลองที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 (เพิ่มในช่วง 64.7 - 80.8 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับที่อัตราส่วน 4 (เพิ่มในช่วง 39.2 - 47.7 เปอร์เซ็นต์) นั้น สามารถพิจารณาจากสมการการย่อยสลายอะซิเตดและไฮโดรเจนของทั้งแบคทีเรียคลิมีเทน และแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟต ในข้อ 13 ของรายละเอียดการคำนวณ และตารางแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ค่าสภาพกรด และค่าสภาพค่างในตารางที่ 4.17 ซึ่งเห็นได้ว่าการย่อยสลายอาหารโดยแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตจะมีโอกาสในการสร้างสภาพค่างให้กับระบบได้มากกว่าเสมอ ดังนั้นที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 ซึ่งแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตจะมีสัดส่วนการย่อยสลายอินทรีย์มากกว่าที่อัตราส่วน 4 ค่าสภาพค่างที่เกิดขึ้นก็ย่อมจะมีค่ามากกว่าด้วยเช่นกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลกรดไขมันระเหย (หน่วย; มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต) และ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด (หน่วย; มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต / มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต). ในแต่ละระดับความเข้มข้น ซีไอดีและซัลเฟต ของทุกการทดลองแสดงในตารางที่ 4.20 โดยรูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงค่าอัตราส่วน กรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด และค่าพีเอชของทุกการทดลองที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

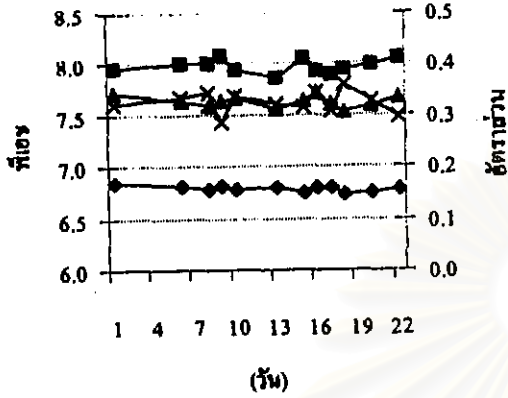
ตารางที่ 4.20 ข้อมูลค่ากรดไขมันระเหย และ อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด

ความเข้มข้น ซีไอดีควมคุม (มก./ก.)	กรดไขมันระเหย ^a				กรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด ^b			
	น้ำเข้า		น้ำออก		น้ำเข้า		น้ำออก	
	4	2	4	2	4	2	4	2
400	104	104	144	159	0.326	0.329	0.325	0.305
SD	±6	±7	±10	±13	±0.012	±0.019	±0.021	±0.021
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)
600	147	145	214	258	0.317	0.313	0.318	0.331
SD	±4	±8	±2	±17	±0.005	±0.017	±0.007	±0.016
N	(8)	(12)	(8)	(12)	(8)	(12)	(8)	(12)
800	187	192	273	309	0.312	0.326	0.327	0.292
SD	±4	±5	±19	±21	±0.006	±0.006	±0.009	±0.019
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)
1000	227	233	338	387	0.314	0.323	0.326	0.309
SD	±5	±8	±16	±21	±0.003	±0.013	±0.008	±0.007
N	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)
1200	270	277	401	458	0.324	0.325	0.325	0.297
SD	±13	±8	±40	±27	±0.011	±0.008	±0.028	±0.015
N	(12)	(10)	(12)	(10)	(12)	(12)	(12)	(10)

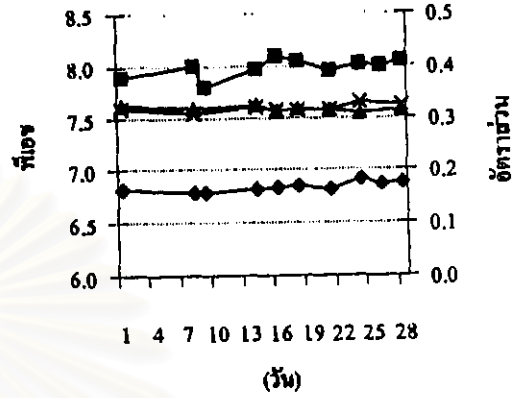
^aกรดไขมันระเหย (หน่วย; มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต)

^bอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด (หน่วย; มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต / มก./ก. ในทอมแคตซีมคาร์บอนเนต).

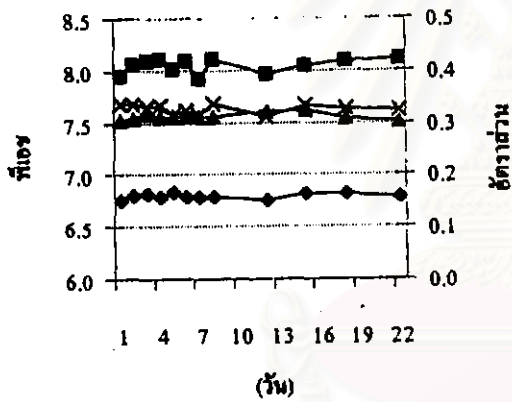
■ ทีเอชน้ำเข้า ● ทีเอชน้ำออก ▲ อัตราส่วนน้ำเข้า ✕ อัตราส่วนน้ำออก



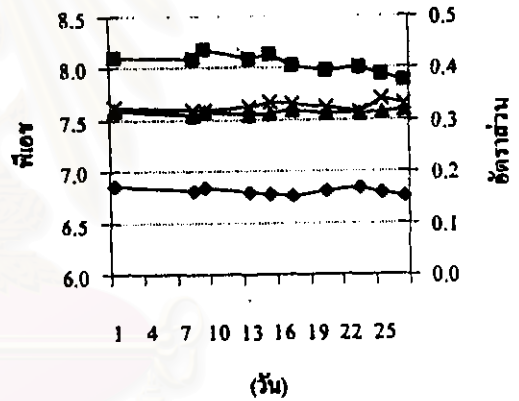
(ก) ซีโอดี 400มก./ล. จัลดเฟต 100มก./ล.



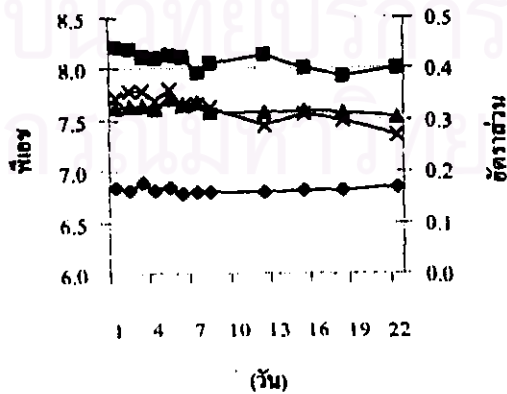
(ข) ซีโอดี 600มก./ล. จัลดเฟต 150มก./ล.



(ค) ซีโอดี 800มก./ล. จัลดเฟต 200มก./ล.



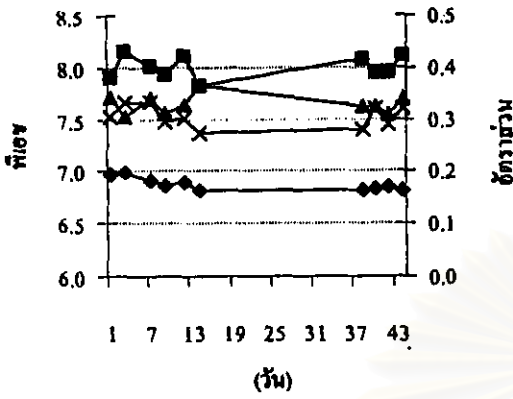
(ง) ซีโอดี 1000มก./ล. จัลดเฟต 250มก./ล.



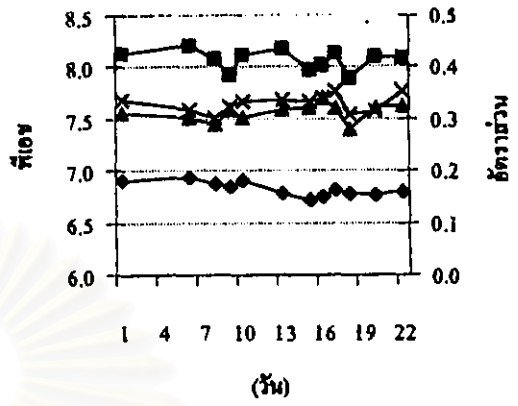
(จ) ซีโอดี 1200มก./ล. จัลดเฟต 300มก./ล.

รูปที่ 4.27 ค่าพีเอช และ อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพค่างทั้งหมดตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อจัลดเฟต 4

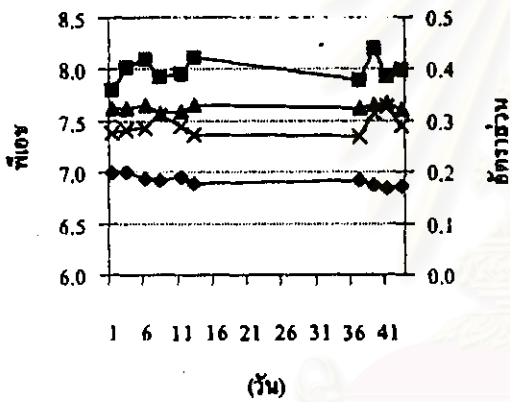
■ ทีเอชน้ำเข้า ● ทีเอชน้ำออก ▲ อัตราส่วนน้ำเข้า ✕ อัตราส่วนน้ำออก



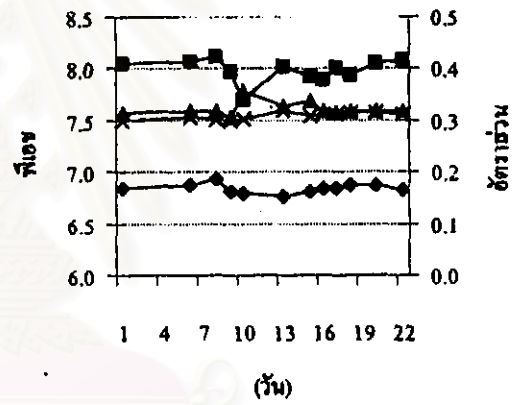
(ก) ซีโอดี 400มก./ล. ซัลเฟต 200มก./ล.



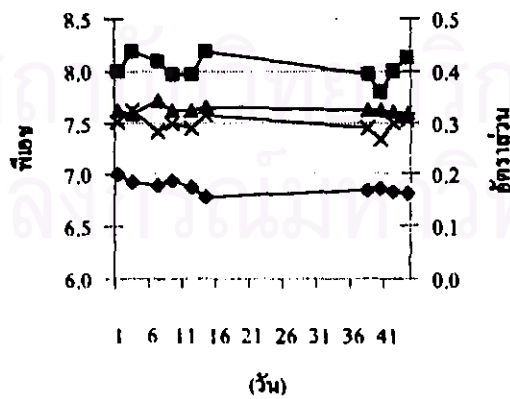
(ข) ซีโอดี 600มก./ล. ซัลเฟต 300มก./ล.



(ค) ซีโอดี 800มก./ล. ซัลเฟต 400มก./ล.



(ง) ซีโอดี 1000มก./ล. ซัลเฟต 500มก./ล.



(จ) ซีโอดี 1200มก./ล. ซัลเฟต 600มก./ล.

รูปที่ 4.28 ค่าทีเอช และ อัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อสภาพต่างทั้งหมดตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2

จากตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออกของกรดไขมันระเหยมีค่าเท่ากับ 104/144, 147/214, 187/273, 227/338 และ 270/401 มก./ก. ในทอมแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304 มก./ก ตามลำดับ ที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และสำหรับที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยน้ำเข้าและน้ำออกของกรดไขมันระเหยมีค่าเท่ากับ 104/159, 145/258, 192/309, 233/387 และ 277/458 มก./ก. ในทอมแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟต 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ก ตามลำดับ

ในสภาพความเป็นจริงไม่ควรวัดค่ากรดไขมันระเหยในน้ำเสียดังเคราะห์ได้ เนื่องจากน้ำเสียดังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น และนำมาวิเคราะห์เกิดจากการใช้น้ำคาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนเท่านั้น และการเก็บตัวอย่างน้ำเสียดังเคราะห์เพื่อทำการวิเคราะห์จะทำเมื่อน้ำเสียดังเคราะห์เพิ่งเตรียมเสร็จใหม่ๆ ดังนั้นจะไม่เกิดการหมักขึ้น นั่นก็คือ จะไม่มีกรดไขมันระเหยอยู่ในตัวอย่างน้ำเข้า อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีและรายละเอียดขั้นตอนของการวิเคราะห์ที่ใช้ (แสดงในบทที่ 3) จะทำให้สามารถคำนวณค่าของปริมาณกรดไขมันระเหยได้เสมอถึงแม้ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวจะเป็นน้ำประปาก็ตาม อย่างไรก็ตามวิธีและขั้นตอนที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่ากรดไขมันระเหยในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีโคเรทแบบถักซึ่งจะเป็นวิธีที่ใช้เวลาสั้นและสามารถคำนวณผลได้อย่างรวดเร็ว โดยจุดประสงค์หลักของการนำค่ากรดไขมันระเหยที่ได้จากวิธีดังกล่าวไปใช้ คือการพิจารณาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่ากรดไขมันระเหยที่ได้ประจำวันและจะนำไปคำนวณร่วมกับค่าสภาพค่างทั้งหมด เพื่อคำนวณหาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดเมื่อพิจารณาความล้มเหลวของระบบที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมเพียงพอ โดยพิจารณาถึงความทันท่วงทีของค่าที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ใช้เวลาสั้นและจุดประสงค์หลักของการนำไปใช้

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลของค่ากรดไขมันระเหยที่ได้จะพิจารณาที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหรือการสะสมของค่ากรดไขมันระเหยประจำวัน และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดในน้ำออก สำหรับการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหรือการสะสมของค่ากรดไขมันระเหยของแต่ละการทดลอง จะพิจารณาได้อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.24 และ 4.25 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงค่ากรดไขมันระเหยของทุกๆ การทดลองที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ และจะเห็นได้ว่าค่ากรดไขมันระเหยน้ำออกมีค่าค่อนข้างคงที่ในทุกๆ การทดลอง โดยไม่มีแนวโน้มการสะสมของค่ากรดไขมันระเหยซึ่งสอดคล้องกับผลการทำงานของระบบที่เป็นปกติทุกๆ การทดลอง และไม่มีอาการล้มเหลวของระบบเกิดขึ้นสำหรับอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดของแต่ละการทดลอง ที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 จะพิจารณาได้จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่างทั้งหมดน้ำออกที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 เท่ากับ 0.325, 0.318, 0.327, 0.326 และ 0.325 สำหรับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208,

1010/255 และ 1221/304 มก./ล ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วนซีไอคือซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนดังกล่าวของน้ำออก แต่ละการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.305, 0.331, 0.292, 0.309 และ 0.297 สำหรับความเข้มข้นซีไอ-ดีและซัลเฟต 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ล ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพต่างทั้งหมดในแต่ละวัน ของทุกๆการทดลองก็ไม่มีค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองมากนักซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอ และเสถียรภาพของระบบ นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพต่างทั้งหมดที่ได้ จะมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.312 – 0.327 และ 0.292 – 0.331 สำหรับน้ำเข้า และน้ำออก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาพร้อมกับประสิทธิภาพของระบบที่สามารถผลิตน้ำออกที่มีค่าซีไอคือละลายต่ำมาก ซึ่งหมายถึงปริมาณกรดไขมันระเหยที่มีอยู่จริงในน้ำออกก็ควรมีปริมาณต่ำมากเช่นกัน และจากตารางที่ 4.14 ซึ่งแสดงค่าสภาพต่างน้ำออกทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในรูปสภาพต่างไบคาร์บอเนต ดังนั้นอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพต่างทั้งหมดดังกล่าวที่ได้ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 ทั้งน้ำเข้า และน้ำออกนั้น ในความเป็นจริงอาจเป็นค่าของอัตราส่วนสภาพต่างไบคาร์บอเนตที่ยังมีอยู่ในน้ำจากการไตเตรทในช่วงพีเอช 5.75 จนถึง 4.3 ต่อสภาพต่างทั้งหมดซึ่งไตเตรทจากพีเอชเริ่มต้น จนถึง 4.3 ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์ได้จากการคำนวณอัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลเกลือของกรดอ่อนต่อจำนวนโมลกรดอ่อน โดยเฉพาะอัตราส่วนระหว่าง $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$ ที่ค่าพีเอชที่ต้องพิจารณา โดยแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสภาพต่างไบคาร์บอเนตจากการไตเตรทในช่วงพีเอช 5.75 จนถึง 4.3 ต่อสภาพต่างทั้งหมด จากการไตเตรทจากพีเอชเริ่มต้น 6.8 จนถึง 4.3

ค่าพีเอช	อัตราส่วน @ 30 °C $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$	ผลรวมจำนวนโมล $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{CO}_3^*$	จำนวนโมล H_2CO_3^*	จำนวนโมล HCO_3^-	จำนวนโมล HCO_3^- ที่เปลี่ยนรูปในช่วงพีเอช	
					5.75 – 4.3	6.8 – 4.3
6.8	2.95	3.95 ^a	1.00 ^b	2.95 ^b	=0.82-0.04	=2.95-0.04
5.75	0.26	3.95	3.13	0.82	=0.78	=2.91
4.3	0.01	3.95	3.91	0.04		
อัตราส่วน จำนวนโมล HCO_3^- ที่เปลี่ยนรูปในช่วงพีเอช 5.75 – 4.3 ต่อ จำนวนโมล HCO_3^- ที่เปลี่ยนรูปในช่วงพีเอช 6.8 – 4.3					=0.78/2.91	=0.266 ^c

^aตัวเลขจำนวนโมล HCO_3^- และ H_2CO_3^* เท่ากับ 2.95 และ 1 เป็นตัวเลขที่กำหนดขึ้นจาก อัตราส่วน @ 30 °C $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3^*$ เท่ากับ 2.95

^bผลรวมจำนวนโมล $\text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{CO}_3^* = 3.95$ เป็นตัวเลขเริ่มต้นที่กำหนดขึ้นจาก ผลรวมของ 1 และ 2.95 และมีค่าคงที่ตลอด โดยถือว่าตลอดช่วงการไตเตรทไม่มีการหนีของ CO_2

^cจะได้ค่าตัวเลข = 0.266 เสมอ ถึงแม้กำหนดตัวเลขเริ่มต้นเป็น 29.5, 10 และ 39.5

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าสำหรับตัวอย่างน้ำที่มีสภาพค่าไบคาร์บอเนตเป็นหลัก ค่าอัตราส่วนสภาพค่าจากการไตเตรทในช่วงพีเอช 5.75 จนถึง 4.3 ค่อกำลังค่าซึ่งไตเตรทจากพีเอช 6.8 จนถึง 4.3 จะมีค่าเท่ากับ 0.266 เสมอ ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกับค่า 0.3 อันเป็นอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อค่าสภาพค่าทั้งหมดของทั้งน้ำเข้า และน้ำออก ที่แสดงในตารางที่ 4.20 ทำให้ตั้งข้อสังเกตได้ว่าสำหรับตัวอย่างน้ำจากระบบไร้อากาศที่สามารถผลิตค่าซีโอดีและถายน้ำออกได้ต่ำ วิธีไตเตรทแบบถัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะให้ค่ากรดไขมันระเหยที่ไม่ถูกต้องนัก

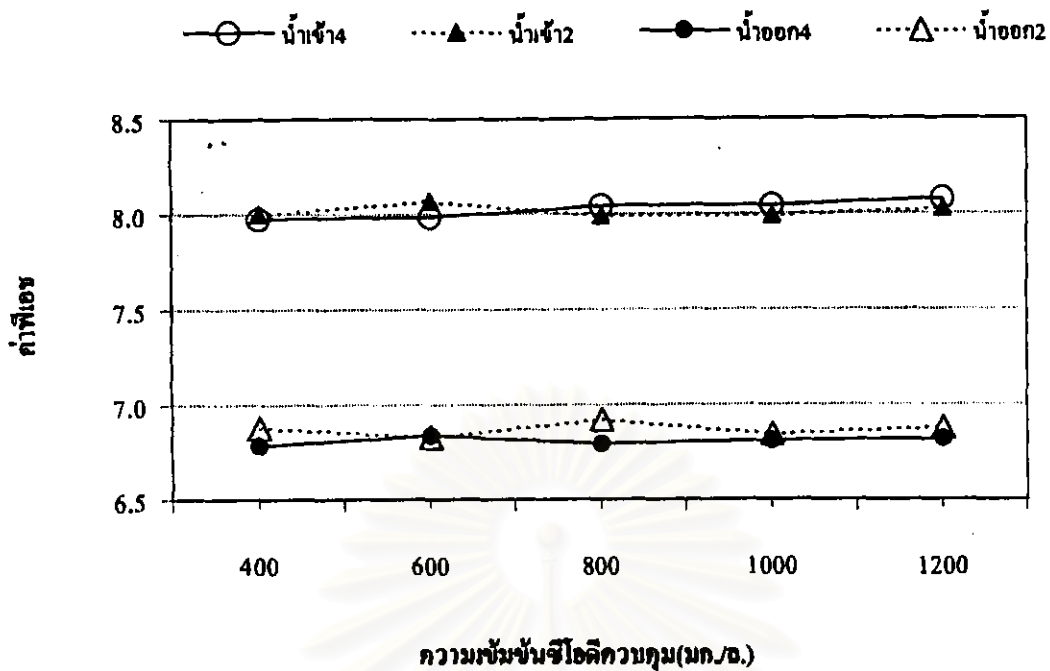
ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่ามาใช้ นั้น เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบบำบัดกระบวนการไร้อากาศชนิดถังหมักไร้อากาศ (Anaerobic Digester) โดยค่ากรดไขมันระเหยที่นำมาคำนวณจะต้องมีหน่วยเป็น มก./ล. ในเทอมกรดอะซิติก และค่าสภาพค่าต้องเป็นค่าสภาพค่าไบคาร์บอเนตและมีหน่วยเป็น มก./ล. ในเทอมแคลเซียมคาร์บอเนต โดยการนำมาใช้จะพิจารณาจากช่วงของค่าอัตราส่วนดังกล่าว โดยทราบได้ที่อัตราส่วนนี้มีค่าน้อยกว่า 0.4 ถือว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง และถ้าอัตราส่วนนี้สูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบอยู่ในขั้นที่พีเอชจะลดลงได้อย่างรวดเร็ว ถ้ามีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของกรดไขมันระเหย (มันถิ่น ดัชนีจุลเวศน์, 2537)

สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าพีเอชในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต ของทุกการทดลองแสดงในตารางที่ 4.22 โดยค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำเข้าและน้ำออกของชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 มีค่าเท่ากับ 7.98/6.79, 7.98/6.84, 8.05/6.79, 8.04/6.81, 8.08/6.82 สำหรับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าพีเอชน้ำเข้าและน้ำออกมีค่าเท่ากับ 8.00/6.88, 8.07/6.82, 7.99/6.92, 7.99/6.84, 8.03/6.88 สำหรับความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟต 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ล. ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลค่าพีเอช

ความเข้มข้น ซีโอดีความทึม (มก./ล.)	พีเอช			
	อัตราส่วน 4		อัตราส่วน 2	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
400	7.98	6.79	8.00	6.88
SD	±0.07	±0.03	±0.11	±0.06
N	(12)	(12)	(10)	(10)
600	7.98	6.84	8.07	6.82
SD	±0.08	±0.04	±0.10	±0.07
N	(10)	(10)	(12)	(12)
800	8.05	6.79	7.99	6.92
SD	±0.07	±0.02	±0.12	±0.06
N	(12)	(12)	(10)	(10)
1000	8.04	6.81	7.99	6.84
SD	±0.09	±0.03	±0.11	±0.05
N	(10)	(10)	(12)	(12)
1200	8.08	6.82	8.03	6.88
SD	±0.09	±0.03	±0.12	±0.06
N	(12)	(12)	(10)	(10)

โดยเมื่อพิจารณาที่ค่าพีเอชในแต่ละวันของน้ำเข้าและน้ำออกทุกๆการทดลอง ไม่มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลองมากนัก ซึ่งแสดงถึงความสม่ำเสมอของพีเอช โดยค่าพีเอชน้ำออกของทุกๆการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 6.79 – 6.92 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ถือว่า เหมาะต่อการเจริญเติบโตของทั้งแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟต โดยค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำออกในแต่ละการทดลองมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และรูปที่ 4.29 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอชของน้ำเข้า และน้ำออกของทุกๆการทดลอง



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำเข้า และน้ำออกตามระดับความเข้มข้นจีโอลิควม

สิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนของทุกๆ การทดลองคือ ค่าพีเอชน้ำออก ของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเข้า และเมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการทดลองในส่วนของค่าสภาพค่าที่มีค่าเพิ่มขึ้นในน้ำออกนั้น เหตุผลที่สอดคล้องกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือ ระบบจะต้องสร้างค่าสภาพกรดที่มากกว่าค่าสภาพค่าที่เพิ่มขึ้น จึงจะพบการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพค่าขณะที่ค่าพีเอชลดลง และจากข้อมูลในตารางที่ 4.16 และ 4.18 ซึ่งเป็นการคำนวณการเกิดของค่าสภาพกรด และค่าสภาพค่า จากการย่อยน้ำคาลทรายในกระบวนการไร้ออกซิเจน ซึ่งแสดงแนวโน้มการสร้างค่าสภาพกรดในปริมาณที่ มากกว่าค่าสภาพค่าที่สร้างขึ้น และสามารถนำมาสรุปรวมกับค่าพีเอชน้ำเข้า และน้ำออกจากระบบ โดยแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 สรุปการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรดและค่าสภาพด่างในชั้น acidification และ mineralization

RA-TIO	COD _{cr} MG/L	ACIDITY [^]			ALKALINITY [^]			Σ (ACID - ALK) [^]	ค่าพีเอช		
		Acidification	Mineralization	Σ	Acidification	Mineralization	Σ		น้ำ เข้า	น้ำ ออก	พด ต่าง
2	412	394	246	640	-226	439	213	427	8.00	6.88	1.12
2	597	570	367	937	-327	647	320	617	8.07	6.82	1.25
2	814	776	528	1304	-445	910	465	839	7.99	6.92	1.07
2	1028	980	636	1616	-562	1118	556	1060	7.99	6.84	1.15
2	1214	1157	797	1954	-664	1366	702	1252	8.03	6.88	1.15
4	404	385	134	519	-221	323	102	417	7.98	6.79	1.19
4	622	593	196	789	-340	488	148	641	7.98	6.84	1.14
4	825	786	267	1053	-451	654	203	850	8.05	6.79	1.26
4	1010	962	350	1312	-552	823	271	1041	8.04	6.81	1.23
4	1221	1164	419	1583	-668	991	323	1260	8.08	6.82	1.26

[^] หน่วย mg/l as CaCO₃

หมายเหตุ ค่าตัวเลขที่ได้เป็นการคำนวณที่มีจุดประสงค์เพื่อการแสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่า Alkalinity และ Acidity เท่านั้น!!! ซึ่งเพียงพอต่อการอธิบายเหตุการณ์ การลดลงของค่า pH ในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเข้า แต่กับวัดค่า Alkalinity ได้เพิ่มขึ้น โดยการคำนวณดังกล่าวไม่นำการหนีของ CO₂ และ H₂S ออกจากสภาพน้ำเข้าสู่คำนวณพิจารณา

จากตารางที่ 4.23--แสดงผลรวมการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพกรดและค่าสภาพด่างทั้งหมดในระบบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสร้าง ค่าสภาพกรดและค่าสภาพด่างได้ โดยค่าสภาพกรดสร้างขึ้นได้ทั้งในชั้น acidification และ mineralization ขณะที่ค่าสภาพด่างถูกทำลายในชั้น acidification และจะสร้างเพิ่มในชั้น mineralization โดยสังเกตได้ว่าค่าสภาพด่างน้ำออกมีค่ามากกว่า ค่าที่วัดได้ในน้ำเข้า และโดยภาพรวมค่าสภาพกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมด มีปริมาณมากกว่าค่าสภาพด่างที่สร้างขึ้น ซึ่งเป็นการอธิบายผลการทดลองที่แสดงถึงการลดลงของค่าพีเอช ในน้ำออกเมื่อเทียบกับน้ำเข้า แต่กับวัดค่าสภาพด่างได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบสามารถสร้างค่าสภาพกรดได้มากกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตามการคำนวณดังกล่าวไม่สามารถอธิบายค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำออกในแต่ละการทดลองที่มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งที่ผลต่างระหว่างค่าสภาพกรดกับค่าสภาพด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตเพิ่มขึ้น

เมื่อสรุปโดยภาพรวมจากผลการทดลองของหลายๆการทดลอง ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากผลการทดลองของการทำงานของระบบที่มีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่า ระบบจะให้ค่าสภาพค่างเพิ่มขึ้นในน้ำออก และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของซีโอติและซัลเฟตในแต่ละอัตราส่วน ซีโอติต่อซัลเฟต ค่าสภาพค่างที่เพิ่มขึ้นในน้ำออกก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มดังกล่าว และเมื่อเทียบในระหว่างอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต ค่าสภาพค่างที่เพิ่มขึ้นในน้ำออกจะมีค่าสูงกว่าในการทดลองที่มีความเข้มข้นซัลเฟตสูงกว่า เนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียรีดิวิซ์ซัลเฟตที่เพิ่มขึ้น และค่าพีเอชในน้ำออกจะต่ำลงเมื่อเทียบกับน้ำเข้า โดยค่าพีเอชน้ำออกอยู่ในช่วง 6.79 – 6.92 ซึ่งเหมาะสมต่อการทำงานของ แบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรียรีดิวิซ์ซัลเฟต สำหรับเหตุผลที่ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่วนหนึ่งเกิดจากปริมาณค่าสภาพค่างที่เดิมให้กับระบบมีค่ามากพอจากการเตรียมน้ำเสีย โดยในงานวิจัยนี้เลือกค่าสภาพค่างที่เดิมให้กับระบบจากอัตราส่วนค่าสภาพค่างทั้งหมดต่อซีโอติเท่ากับ 0.75 อย่างไรก็ตามการนำค่าอัตราส่วนดังกล่าวไปใช้จะต้องพิจารณาประกอบกับปัจจัยประกอบอื่นๆที่สำคัญ คือค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ และปริมาณเชื้อเริ่มต้นที่เดิมให้กับระบบ โดยในงานวิจัยนี้ ถือว่าค่าการะบรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้อยู่ในช่วงต่ำ รวมทั้งเชื้อเริ่มต้นที่เดิมให้กับระบบโดยส่วนใหญ่เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มีการจับตัวเป็นเม็ด (granular sludge) และมีปริมาณมาก

นอกจากนั้นได้แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายน้ำเสียคาร์โบไฮเดรตภายใต้สภาวะไร้อากาศสามารถสร้างค่าสภาพค่างขึ้นได้ในขั้น mineralization และสำหรับระบบที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้จนเกือบสมบูรณ์ ค่ากรดไขมันระเหยที่วัดได้ด้วยวิธีวิเคราะห์โดยใช้วิธีไตเตรทแบบกลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง

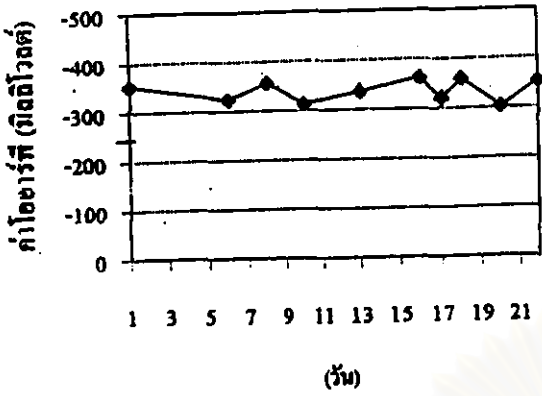
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.5 ไออาร์พี

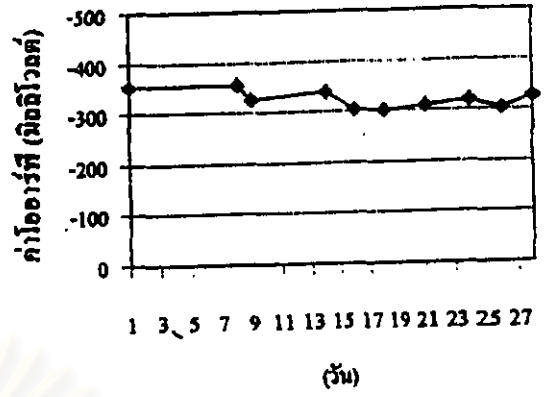
ข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าไออาร์พีของทุุกๆการทดลองแสดงเป็นตารางที่ 4.24 โดยรูปที่ 4.30 และ 4.31 แสดงค่าไออาร์พีของทุุกการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตควบคุมเท่ากับ 4 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4. 24 สรุปข้อมูลค่าไออาร์พี

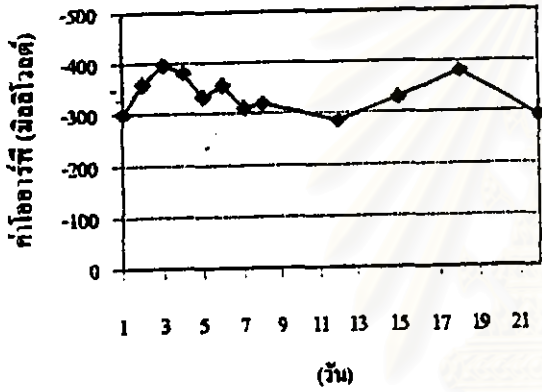
ความเข้มข้น ซีโอดีควบคุม(มก./ล.)	ข้อมูลไออาร์พีน้ำออก (มิลลิวัตต์)	
	4	2
400	-346	-338
SD	± 11	± 22
N	(10)	(10)
600	-344	-324
SD	± 25	± 21
N	(10)	(10)
800	-359	-337
SD	± 18	± 37
N	(10)	(12)
1000	-354	-348
SD	± 14	± 16
N	(10)	(10)
1200	-366	-341
SD	± 17	± 21
N	(10)	(12)



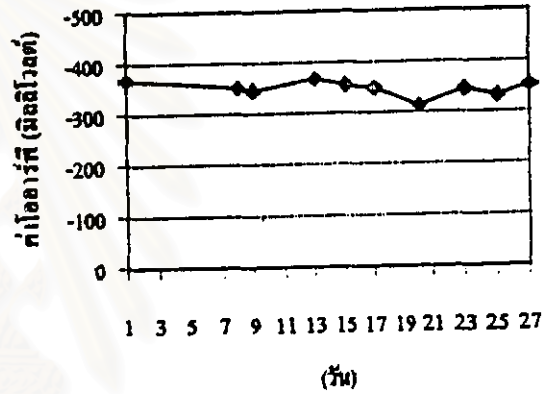
(ก) ซีไอเคี 400นก./ถ. จัฒพค 100นก./ถ.



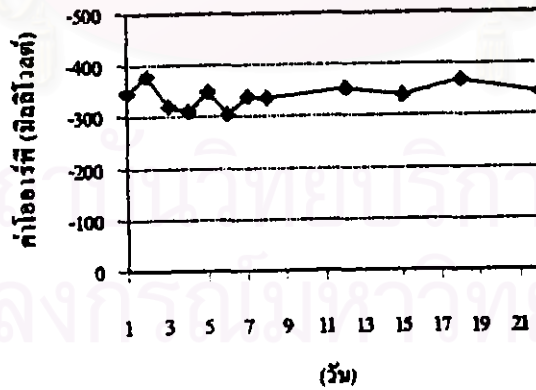
(ข) ซีไอเคี 600นก./ถ. จัฒพค 150นก./ถ.



(ค) ซีไอเคี 800นก./ถ. จัฒพค 200นก./ถ.

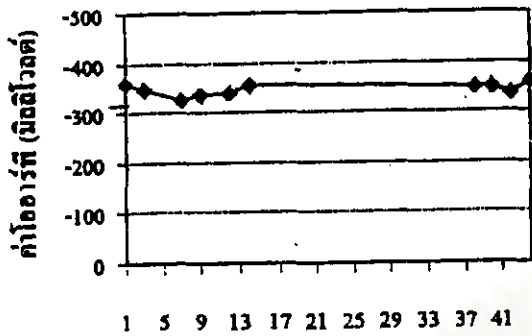


(ง) ซีไอเคี 1000นก./ถ. จัฒพค 250นก./ถ.



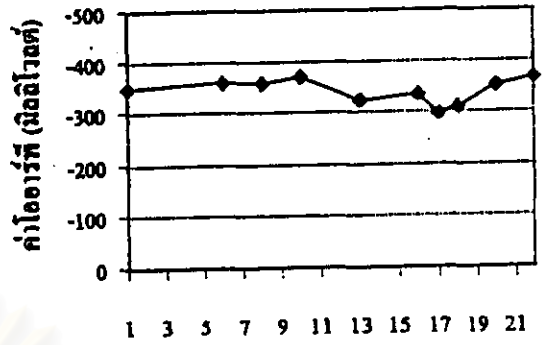
(จ) ซีไอเคี 1200นก./ถ. จัฒพค 300นก./ถ.

รูปที่ 4.30 ค่าไออาร์ที ตลอดจนการทดลอง ที่อัตราส่วนซีไอเคีต่อจัฒพค 4



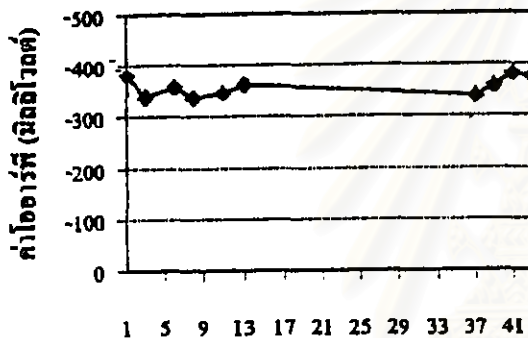
(วัน)

(ก) ซีโอ₂ 400มก./ด. จักรฟอส 200มก./ด.



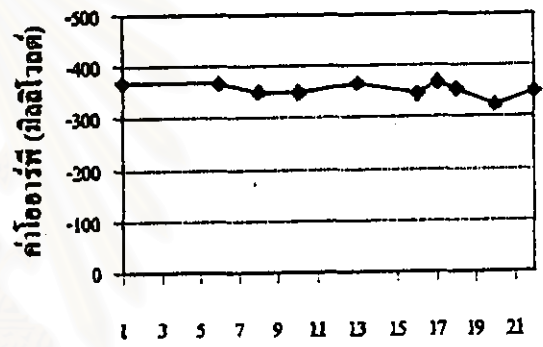
(วัน)

(ข) ซีโอ₂ 600มก./ด. จักรฟอส 300มก./ด.



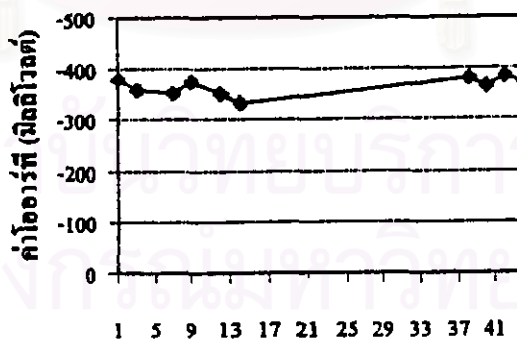
(วัน)

(ค) ซีโอ₂ 800มก./ด. จักรฟอส 400มก./ด.



(วัน)

(ง) ซีโอ₂ 1000มก./ด. จักรฟอส 500มก./ด.

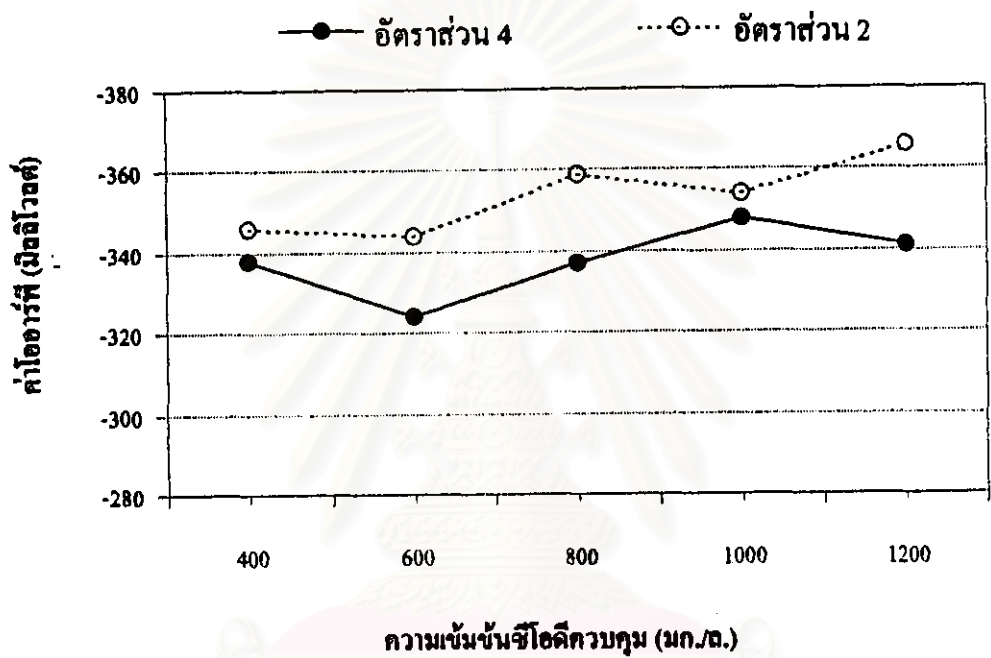


(วัน)

(จ) ซีโอ₂ 1200มก./ด. จักรฟอส 600มก./ด.

รูปที่ 4.31 ค่าไออาร์พี ตลอดจนการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอ₂ ต่อจักรฟอส 2

จากข้อมูลในตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยไออาร์ที่น้ำออกมีค่าเท่ากับ -338, -324, -337, -348 และ -341 มิลลิ-
 วัตต์ เมื่อความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตเท่ากับ 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304
 มก./ก. ตามลำดับ ที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4 ขณะที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 2 ค่าเฉลี่ยไออาร์ที่
 น้ำออก มีค่าเท่ากับ -346, -344, -359, -354 และ -366 มิลลิวัตต์ เมื่อความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตเท่า
 กับ 412/206 , 597/310 , 814/418 , 1028/512 และ 1214/621 มก./ก ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.32 แสดงค่า
 เฉลี่ยไออาร์ที่น้ำออก ของทุกการทดลองในแต่ละระดับความเข้มข้นซีไอดี และซัลเฟต



รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยไออาร์ที่น้ำออก ตามระดับความเข้มข้นซีไอดีความทวม

สถาบันวิทยบริการ

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความเข้มข้นซีไอดีและซัลเฟตสูงขึ้น ในแต่ละอัตราส่วนซีไอดีต่อ
 ซัลเฟต ค่าไออาร์ที่ก็มีแนวโน้มที่จะมีค่าเป็นลบสูงขึ้นตาม และเมื่อเปรียบเทียบตามค่าอัตราส่วนซีไอดี
 ต่อซัลเฟต จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟตมีค่าต่ำ(มีความเข้มข้นซัลเฟตสูงกว่าในแต่ละความ
 เข้มข้นซีไอดี) ค่าไออาร์ที่ก็จะมีความเป็นลบสูงขึ้นในการทดลองที่ความเข้มข้นซัลเฟตมีค่าสูงกว่า

ในทางทฤษฎีค่าไออาร์พีที่เป็นลบแสดงถึงศักยภาพของระบบในการเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน โดยสารรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการแย่งอิเล็กตรอนต่ำเป็นสารรับอิเล็กตรอน เช่น ซัลเฟต หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ขณะเดียวกันค่าไออาร์พีที่เป็นบวกแสดงถึงศักยภาพของระบบในการเกิดปฏิกิริยาถ่ายเทอิเล็กตรอน โดยมิสารรับอิเล็กตรอนที่มีความสามารถในการแย่งอิเล็กตรอนสูงเป็นสารรับอิเล็กตรอน เช่น ออกซิเจน หรือ คลอรีน เป็นต้น สำหรับกระบวนการไร้อากาศค่าไออาร์พีมีค่าลบอยู่ในช่วง -300 ถึง -500 มิลลิโวลต์ (Ag/Ag₂Cl₂ Reference Electrode) (มันถิ่น คัญกุลเวศม์, 2537) ตามลำดับ นอกจากนั้นเทคนิคที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียผลิตคิมิเทน และแบคทีเรียรีดิวิซ์ซัลเฟต ซึ่งเป็นแบคทีเรียไร้อากาศที่สำคัญก็คือ การเติมโซเดียมซัลไฟด์ในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะสมบัติเป็นสารรีดิวิซ์ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อรักษาให้ค่าไออาร์พีเป็นลบ และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนั้นๆ จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาอธิบายถึงผลการทดลองที่ได้ แสดงถึงความสอดคล้องในค่าไออาร์พีที่ได้ซึ่งมีค่าลบอยู่ในช่วง -324 ถึง -366 มิลลิโวลต์ นอกจากนั้นเหตุผลที่อาจเป็นไปได้สำหรับค่าไออาร์พีที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลองอาจเกิดจากปริมาณของซัลไฟด์ละลายที่เกิดขึ้นมีค่าไม่เท่ากัน โดยในการทดลองที่มีค่าซัลไฟด์น้ำออกมีค่าสูงค่าไออาร์พีจะมีแนวโน้มเป็นลบมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยไออาร์พี และปริมาณซัลไฟด์น้ำออก

ความเข้มข้น ซีโอติควม (มก./ล.)	ค่าไออาร์พี(mV)		ซัลไฟด์น้ำออก(มก./ล.)	
	4	2	4	2
400	-338	-346	27.9	54.3
600	-324	-344	39.0	84.7
800	-337	-359	55.2	114.9
1000	-348	-354	67.7	134
1200	-341	-366	78.7	167.5

4.4 สมดุลมวลซีโอดีและซัลเฟอร์จากผลการทดลอง

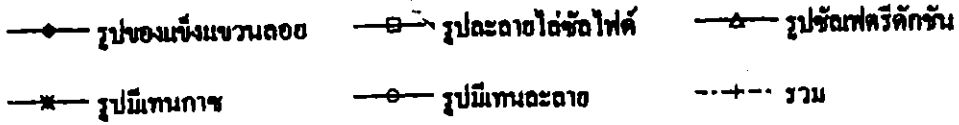
4.4.1 สมดุลมวลซีโอดี

จุดประสงค์สำหรับการพิจารณาสมดุลมวลของซีโอดีในงานวิจัยนี้ นอกเหนือจากเป็นการตรวจกลับถึงผลการทดลองที่เกี่ยวกับค่าซีโอดี และการพิจารณาการแปรรูปของซีโอดีน้ำเข้าเมื่อผ่านการย่อยสลายด้วยแบคทีเรียในระบบแล้ว ยังนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณสัดส่วนการใช้ซีโอดีระหว่างแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน ซึ่งเป็นค่าสำหรับพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างบทบาทของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดนั้นในการแย่งใช้สารอาหารในระบบ

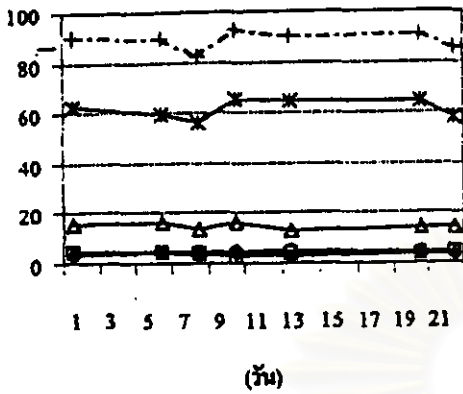
ในงานวิจัยนี้ซีโอดีน้ำเข้าส่วนใหญ่เป็นซีโอดีของสารอินทรีย์ซึ่งเกิดจากน้ำคาลทรายที่เดิม เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ให้กับแบคทีเรีย เมื่อน้ำเสียผ่านระบบค่าซีโอดีอินทรีย์น้ำเข้าดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปไปจากกิจกรรมการดำรงชีพของแบคทีเรียในระบบ โดยอาจเปลี่ยนไปอยู่ที่ทั้งในรูปซีโอดีอินทรีย์ และซีโอดีอนินทรีย์ ที่ออกจากระบบ รวมทั้งที่เปลี่ยนรูปเป็นเซกแบคทีเรียสะสมในระบบ โดยค่าซีโอดีภายหลังผ่านระบบจะวัดค่าได้ในรูปของ

- (1) ซีโอดีละลายซึ่งเหลือจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย,
- (2) ซีโอดีในรูปแขวนลอยซึ่งเป็นเซกแบคทีเรียที่หลุดออกจากระบบ
- (3) ก๊าซมีเทน(ทั้งในวัฏภาคก๊าซ และที่ละลายน้ำ)
- (4) ปริมาณค่าซีโอดีที่ใช้รีดิคัลซัลเฟต โดยคำนวณจากปริมาณซัลเฟตที่ถูกใช้เมื่อผ่านระบบ

โดยค่าซีโอดีใน 3 ข้อแรกเป็นซีโอดีอินทรีย์ และข้อ 4 เป็นซีโอดีอนินทรีย์โดยจะอยู่ในรูปของซัลไฟด์ทั้งที่อยู่ในวัฏภาคน้ำ และวัฏภาคก๊าซ หรือสะสมอยู่ในรูปของเซกแบคทีเรีย และตะกอนผลึกโลหะหนักซัลไฟด์ในระบบ ซึ่งการวัดค่าของซีโอดีในกรณีนี้จะคำนวณจากผลต่างซัลเฟตเมื่อผ่านระบบ โดยทั้ง 4 ข้อดังกล่าว จะสามารถวัดหรือคำนวณค่าได้ อย่างสม่ำเสมอ ขณะที่ซีโอดีอินทรีย์ที่เปลี่ยนรูปเป็นเซกแบคทีเรียสะสมในระบบไม่สามารถวัดค่าได้ และถือว่ามีปริมาณน้อยโดยจะไม่นำมาพิจารณา สำหรับทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลมวลซีโอดีของระบบ ไร้อากาศที่เกี่ยวข้องระหว่างแบคทีเรียรีดิคัลซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน แสดงในหัวข้อ 2.5.1 บทที่ 2 และตัวอย่างการคำนวณหาการแปรรูปของซีโอดีจะแสดงในภาคผนวกในส่วน of ตัวอย่างรายการคำนวณ โดยตารางที่ 4.26 และ 4.27 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าการแปรรูปของค่าซีโอดีเป็นรูปต่างๆ และค่าผลรวมสมดุลมวลซีโอดีที่ได้การทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การแปรรูปของค่าซีโอดีเมื่อผ่านระบบเป็นรูปต่างๆ ของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

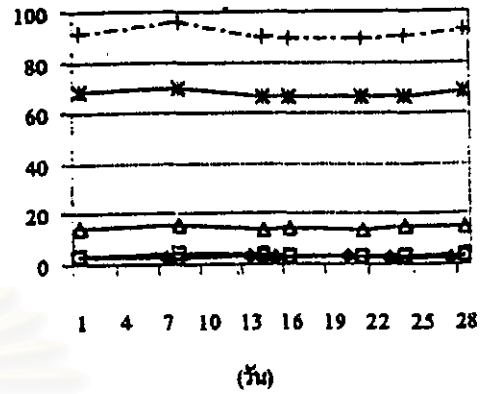


เปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอไลต์



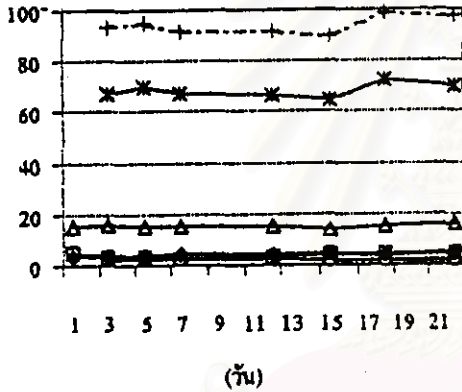
(ก) ซีโอไลต์ 400มก./ถ. จักรฟัด 100มก./ถ.

เปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอไลต์



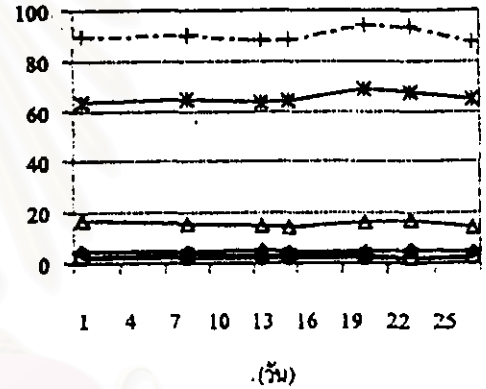
(ข) ซีโอไลต์ 600มก./ถ. จักรฟัด 150มก./ถ.

เปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอไลต์



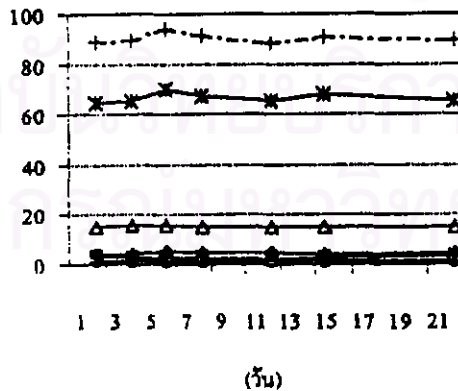
(ค) ซีโอไลต์ 800มก./ถ. จักรฟัด 200มก./ถ.

เปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอไลต์



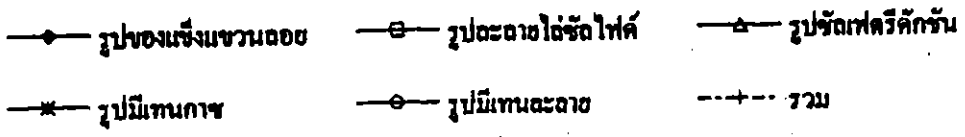
(ง) ซีโอไลต์ 1000มก./ถ. จักรฟัด 250มก./ถ.

เปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอไลต์

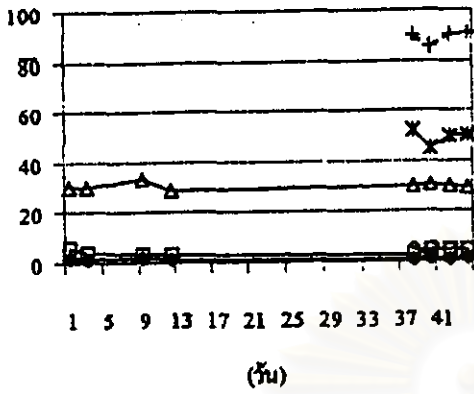


(จ) ซีโอไลต์ 1200มก./ถ. จักรฟัด 300มก./ถ.

รูปที่ 4.33 เปอร์เซ็นต์การแปรรูปค่าซีโอไลต์และผลรวม ตลอดจนการทดลอง ที่อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อจักรฟัด 4

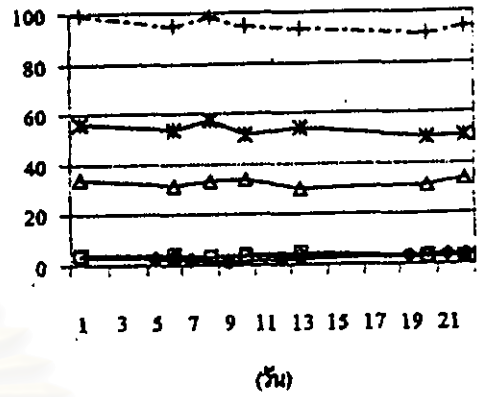


เปอร์เซ็นต์ความจือไอจัด



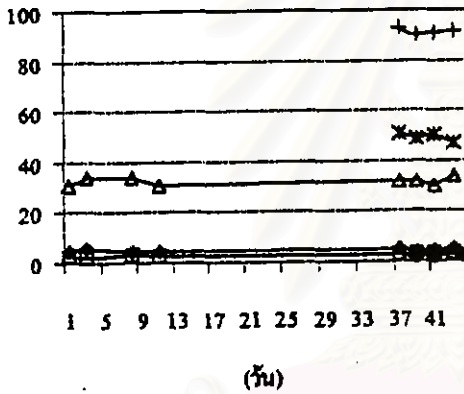
(ก) จือไอจัด 400มก./ล. จัดเฟด 200มก./ล.

เปอร์เซ็นต์ความจือไอจัด



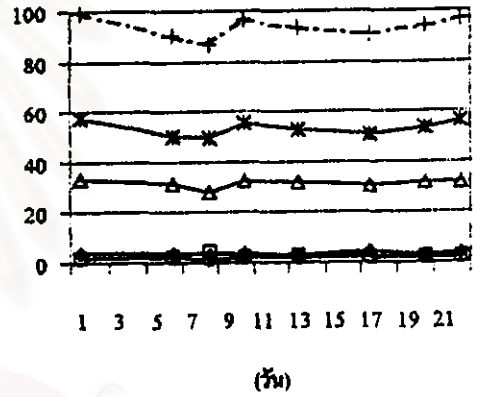
(ข) จือไอจัด 600มก./ล. จัดเฟด 300มก./ล.

เปอร์เซ็นต์ความจือไอจัด



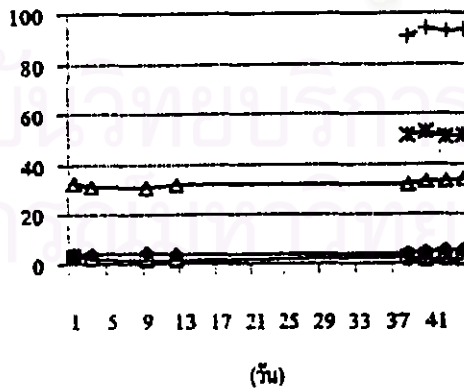
(ค) จือไอจัด 800มก./ล. จัดเฟด 400มก./ล.

เปอร์เซ็นต์ความจือไอจัด



(ง) จือไอจัด 1000มก./ล. จัดเฟด 500มก./ล.

เปอร์เซ็นต์ความจือไอจัด



(จ) จือไอจัด 1200มก./ล. จัดเฟด 600มก./ล.

รูปที่ 4.34 เปอร์เซ็นต์การแปรรูปค่าจือไอจัด และผลรวม ตลอดจนการทดลอง ที่อัตราส่วนจือไอจัดต่อจัดเฟด 2

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลค่าการแปรรูปซีโอติและผลรวมสมคุณมวลซีโอติที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4

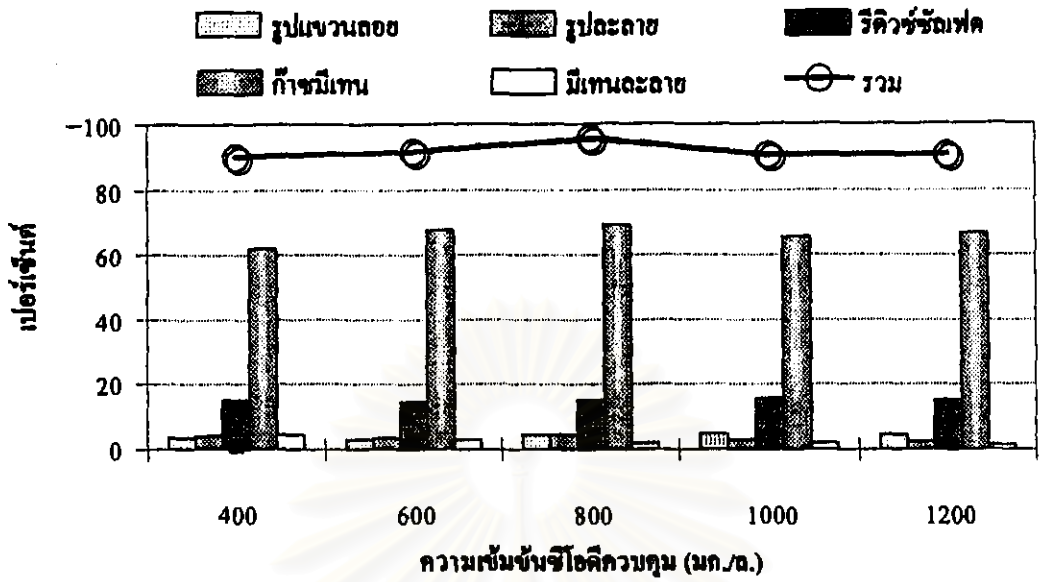
ความเข้มข้น ซีโอติความคุม (มก./ต.)	เปอร์เซ็นต์สมคุณมวลซีโอติ					รวม
	ของแข็ง แขวนลอย	สารอินทรีย์ ละลาย	รูปที่ถูกใช้ วิดิวิซ์ซัลเฟต	มีเทน		
				ก๊าซมีเทน	มีเทนละลาย	
400	3.6	4.0	15.0	62.4	4.7	89.8
SD	±0.5	±0.8	±1.1	±4.0	±0.1	±4.5
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	9
600	2.8	3.5	14.5	67.6	3.0	91.5
SD	±0.3	±0.5	±0.7	±1.5	±0.1	±2.3
N	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
800	4.5	4.4	15.3	69.0	2.2	95.4
SD	±0.4	±0.1	±0.8	±4.0	±0.04	±4.6
N	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)
1000	4.9	2.8	15.4	65.4	1.8	90.4
SD	±0.4	±0.6	±1.2	±2.0	±0.1	±2.5
N	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
1200	4.4	2.7	15.3	66.5	1.5	90.3
SD	±0.4	±0.5	±0.4	±1.9	±0.05	±2.1
N	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(7)
ค่าเฉลี่ย	4.04	3.48	15.1	66.2	2.64	91.5

จากตารางที่ 4.26 ซึ่งเป็นข้อมูลที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 การแปรรูปของค่าซีโอติเมื่อผ่านระบบเป็นรูปต่างๆ ดังนี้คือ ของแข็งแขวนลอย/ สารอินทรีย์ละลาย/ การวิดิวิซ์ซัลเฟต/ ก๊าซมีเทน/ มีเทนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยในหน่วยเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 3.6/ 4.0/ 15.0/ 62.4/ 4.7 , 2.8/ 3.5/ 14.5/ 67.6/ 3.0 , 4.5/ 4.4/ 15.3/ 69.0/ 2.2 , 4.9/ 2.8/ 15.4/ 65.4/ 1.8 และ 4.4/ 2.7/ 15.3/ 66.5/ 1.5 โดยค่าเปอร์เซ็นต์สมคุณมวลซีโอติรวมมีค่าเฉลี่ย 89.8, 91.5, 95.4, 90.4 และ 90.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ต. ตามลำดับ

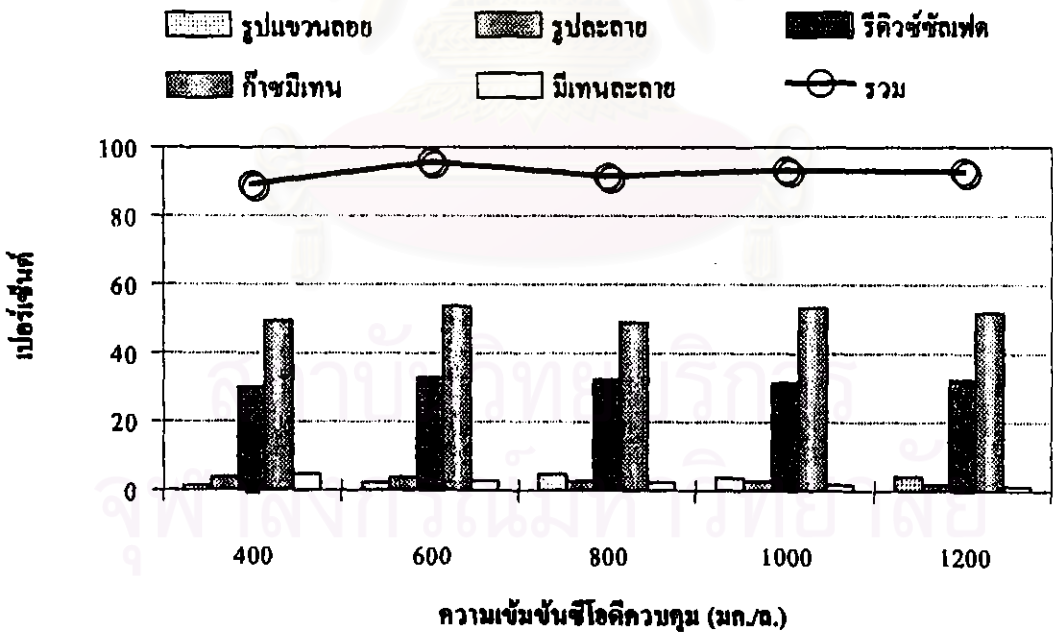
ตารางที่ 4.27 ข้อมูลค่าการแปรรูปซีโอติและผลรวมสมมูลมวลซีโอติที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2

ความเข้มข้น ซีโอติความคุม (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซีโอติ					รวม
	ของแข็ง แขวนลอย	สารอินทรีย์ ละลาย	รูปที่ถูกใช้ รีดิวิซ์ซัลเฟต	มีเทน		
				ก๊าซมีเทน	มีเทนละลาย	
400	1.3	4.0	30.2	49.4	4.7	89.2
SD	±0.4	±1.0	±1.3	±3.0	±0.2	±2.4
N	(9)	(9)	(9)	(4)	(4)	(4)
600	2.4	3.7	32.8	53.7	3.1	95.8
SD	±0.7	±0.6	±1.6	±2.6	±0.2	±3.0
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
800	4.6	2.9	32.3	49.2	2.2	91.2
SD	±0.4	±0.5	±1.5	±1.8	±0.1	±1.3
N	(6)	(8)	(8)	(4)	(4)	(4)
1000	3.9	2.8	31.6	53.4	1.8	93.4
SD	±0.4	±0.7	±1.7	±2.9	±0.1	±4.0
N	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
1200	4.4	1.9	32.4	51.8	1.4	92.9
SD	±0.6	±0.6	±1.2	±0.9	±0.1	±1.4
N	(8)	(8)	(8)	(4)	(4)	(4)
ค่าเฉลี่ย	3.34	3.06	31.9	51.5	2.64	92.4

จากตารางที่ 4.27 ซึ่งเป็นข้อมูลที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2 การแปรรูปของค่าซีโอติเมื่อผ่านระบบเป็นรูปต่างๆ ดังนี้ คือ ของแข็งแขวนลอย/ สารอินทรีย์ละลาย/ การรีดิวิซ์ซัลเฟต/ ก๊าซมีเทน/ มีเทนละลายน้ำ มีค่าเฉลี่ยในหน่วยเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 1.3/ 4.0/ 30.2/ 49.4/ 4.7 , 2.4/ 3.7/ 32.8/ 53.7/ 3.1 , 4.6/ 2.9/ 32.3/ 49.2/ 2.2 , 3.9/ 2.8/ 31.6/ 53.4/ 1.8 และ 4.4/ 1.9/ 32.4/ 51.8/ 1.4 โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซีโอติรวมมีค่าเท่ากับ 89.2, 95.8, 91.2, 93.4 และ 92.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟต 412/206 , 597/310 , 814/418 , 1028/512 และ 1214/621 มก./ล ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.35 และ 4.36 แสดงค่าเฉลี่ยของการแปรรูปของค่าซีโอติเมื่อผ่านระบบเป็นรูปต่างๆ และค่ารวมของสมมูลมวลซีโอติที่ได้ตามระดับความเข้มข้นซีโอติต่างๆที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ



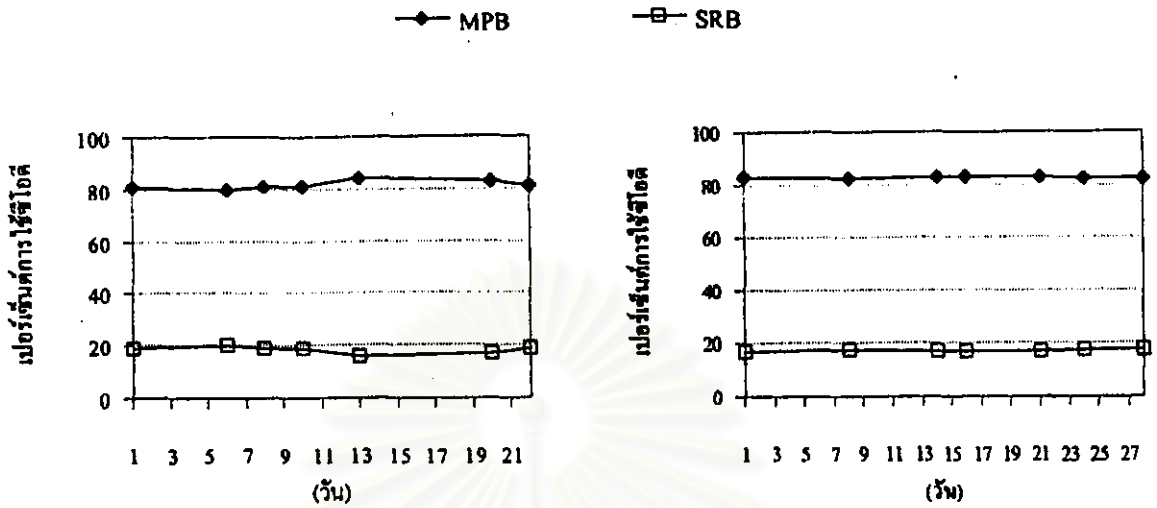
รูปที่ 4.35 ค่าเฉลี่ยการแปรรูปชีไอติ และค่ารวมตามคุณมวดชีไอติที่อัตราส่วนชีไอติต่อขัฒพต 4



รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยการแปรรูปชีไอติ และค่ารวมตามคุณมวดชีไอติที่อัตราส่วนชีไอติต่อขัฒพต 2

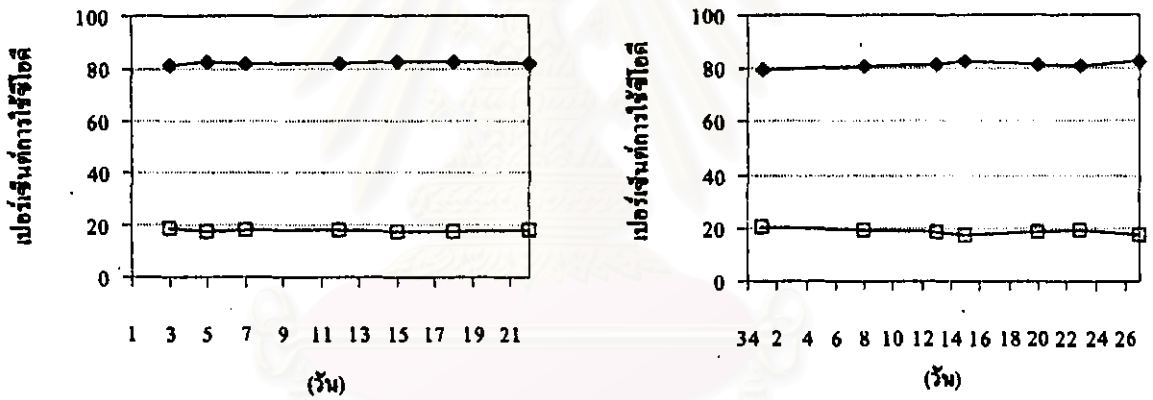
จากข้อมูลค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.26 และ 4.27 และรูปที่ 4.35 และ 4.36 จะเห็นได้ว่าเมื่อน้ำเสียผ่านระบบ ค่าซีไอคิตส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปใน 2 รูป คือรูปก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียผลิตมีเทน และใช้รีดิวซ์ซัลเฟตโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ขณะที่ส่วนน้อยอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอย และสารอินทรีย์ละลายซึ่งเหลือจากการย่อยสลายโดยแบคทีเรีย เมื่อมองโดยภาพรวม การที่ตัดส่วนซีไอคิตละลายมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการใช้สารอาหารอินทรีย์ละลายโดยแบคทีเรียอยู่ในระดับน่าพอใจ และเมื่อพิจารณาในแต่ละอัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต พบว่าเมื่อความเข้มข้น ไอคิตและซัลเฟตเพิ่มขึ้น ตัดส่วนซีไอคิตของแข็งแขวนลอยน้ำออกมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ตามที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อเกี่ยวกับค่าซีไอคิต ขณะที่ตัดส่วนของซีไอคิตละลายน้ำออกมีแนวโน้มลดลง(แต่ก็มีนัยสำคัญน้อย) ซึ่งไม่ได้หมายความว่าค่าซีไอคิตน้ำออกในกรณีดังกล่าวมีค่าลดลง แต่เป็นเพราะผลของค่าซีไอคิตเริ่มต้นเข้าระบบมีค่าสูงทำให้มีอิทธิพลต่อการคำนวณหาค่าตัดส่วน จนได้ค่าที่ทำให้เกิดแนวโน้มที่ลดลง ขณะที่ตัดส่วนซีไอคิตรูปมีเทน และตัดส่วนซีไอคิตที่ใช้รีดิวซ์ซัลเฟต มีค่าค่อนข้างคงที่ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นซีไอคิตและซัลเฟตก็ตาม โดยที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 4 ตัดส่วนซีไอคิตรูปมีเทน(ผลรวมของก๊าซมีเทนและมีเทนละลาย) มีค่าอยู่ในช่วง 67.1 – 71.1 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 68.8 เปอร์เซ็นต์ และตัดส่วนซีไอคิตที่ใช้รีดิวซ์ซัลเฟตมีค่าอยู่ในช่วง 14.5-15.4 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 15.1 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 2 ตัดส่วนซีไอคิตรูปมีเทน มีค่าอยู่ในช่วง 51.5 – 56.8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 54.1 เปอร์เซ็นต์ และตัดส่วนซีไอคิตที่ใช้รีดิวซ์ซัลเฟตมีค่าอยู่ในช่วง 30.2 - 32.8 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 31.8 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลค่าตัดส่วนซีไอคิตในรูปมีเทนและตัดส่วนซีไอคิตที่ถูกใช้รีดิวซ์ซัลเฟตที่ได้ จะนำมาใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์การไหลอิเล็กตรอน(% Electron Flow) หรือตัดส่วนการใช้ซีไอคิตระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน ซึ่งถือว่าเป็นแบคทีเรียไร้อากาศที่สำคัญ 2 ชนิดในกระบวนการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Mineralization) โดยค่าตัดส่วนการใช้ซีไอคิตระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทนจะเป็นค่าที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบบทบาทระหว่างแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ในระบบ โดยรูปที่ 4.37 และ 4.38 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ตัดส่วนการใช้ซีไอคิตระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน ในแต่ละการทดลองที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ โดยตารางที่ 4.28 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรข้อมูลค่าตัดส่วนการใช้ซีไอคิตระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน ทั้งที่อัตราส่วนซีไอคิตต่อซัลเฟต 4 และ 2

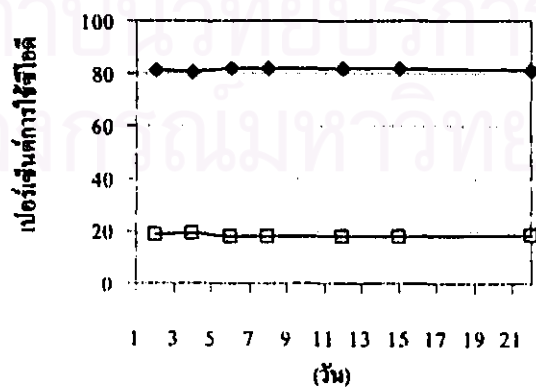


(ค) ซีไอดี 800มก./ด. ซัลเฟต 200มก./ด.

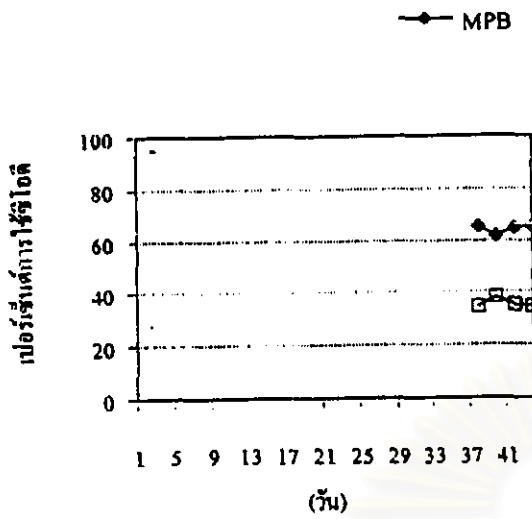
(ข) ซีไอดี 600มก./ด. ซัลเฟต 150มก./ด.



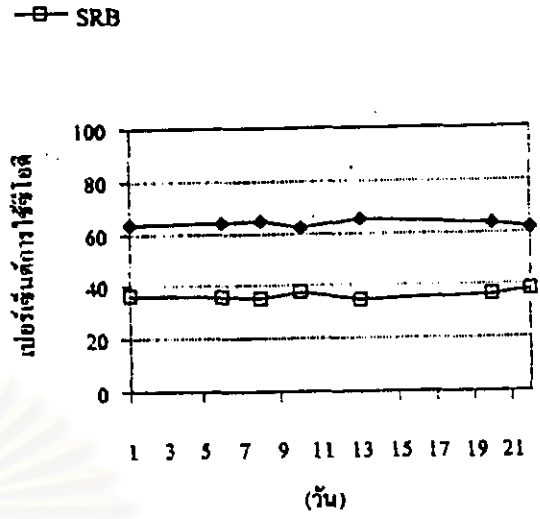
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



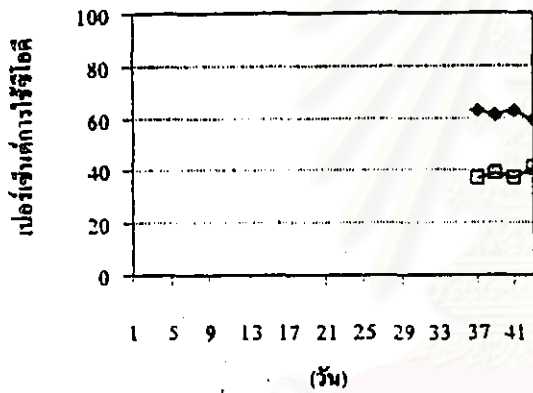
รูปที่ 4.37 ตัดส่วนการใช้ซีไอดีระหว่าง MPB และ SRB ตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนซีไอดีต่อซัลเฟต 4



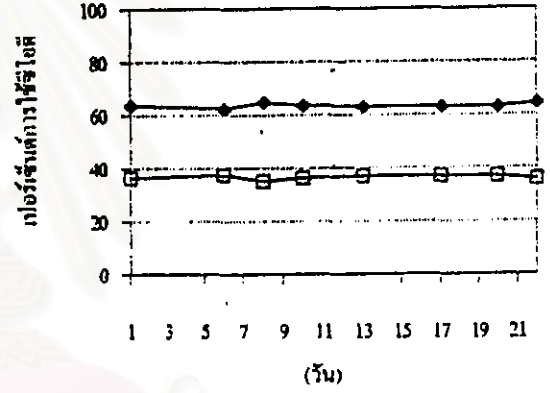
(ก) ชิโอดี 400มก./ด. ชัดเฟต 200มก./ด.



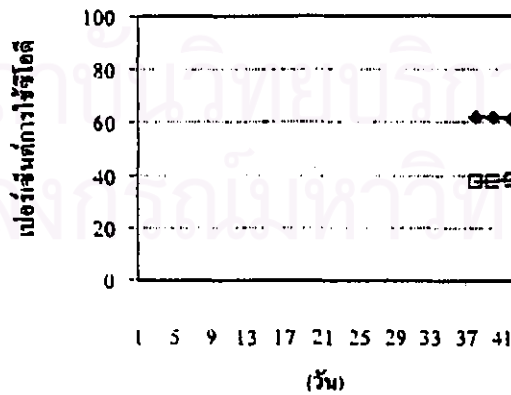
(ข) ชิโอดี 600มก./ด. ชัดเฟต 300มก./ด.



(ค) ชิโอดี 800มก./ด. ชัดเฟต 400มก./ด.



(ง) ชิโอดี 1000มก./ด. ชัดเฟต 500มก./ด.



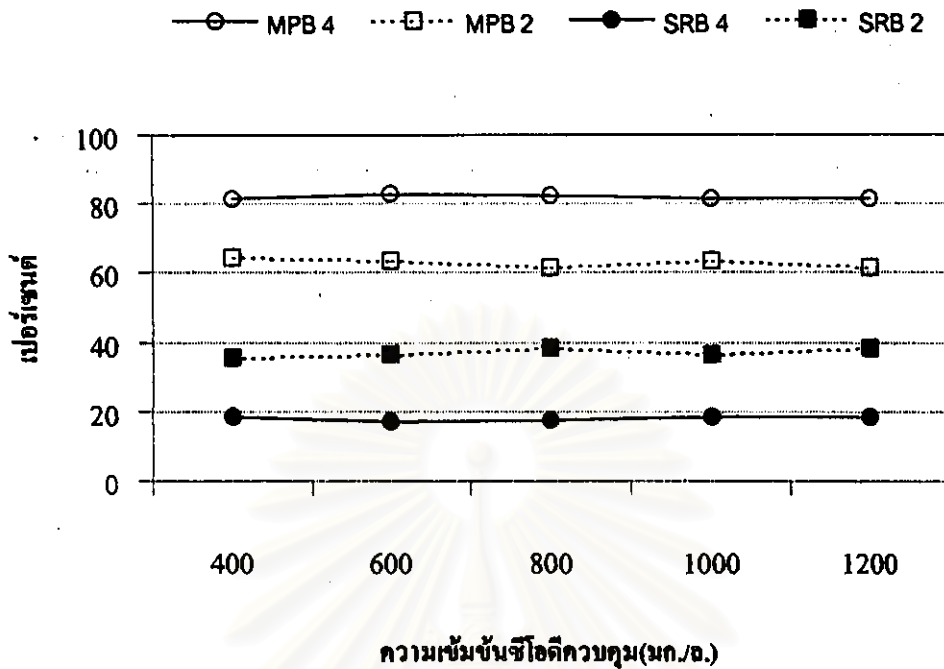
(จ) ชิโอดี 1200มก./ด. ชัดเฟต 600มก./ด.

รูปที่ 4.38 สัดส่วนการใช้ชิโอดีระหว่าง MPB และSRB ตลอดการทดลอง ที่อัตราส่วนชิโอดีต่อชัดเฟต 2

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตซีโอติและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

ความเข้มข้น ซีโอติความสูง (มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์สัดส่วนการใช้ซีโอติ			
	แบคทีเรียผลิตซีโอติ		แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	
	4	2	4	2
400	81.7	64.2	18.3	35.8
SD.	±1.2	±1.6	±1.2	±1.6
N	(9)	(4)	(9)	(4)
600	83.0	63.4	17.0	36.6
SD.	±0.5	±1.4	±0.5	±1.4
N	(7)	(9)	(7)	(9)
800	82.3	61.6	17.7	38.4
SD.	±0.4	±1.7	±0.4	±1.7
N	(3)	(4)	(3)	(4)
1000	81.4	63.6	18.6	36.4
SD.	±1.0	±0.8	±1.0	±0.8
N	(7)	(8)	(7)	(8)
1200	81.7	61.6	18.3	38.4
SD.	±0.5	±0.8	±0.5	±0.8
N	(7)	(4)	(7)	(4)
ค่าเฉลี่ย	82.0	62.9	18.0	37.1

จากตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตซีโอติและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ในหน่วย(เปอร์เซ็นต์/เปอร์เซ็นต์) ที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.7/18.3, 83/17, 82.3/17.7, 81.4/18.6 และ 81.7/18.3 เมื่อความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ล. ตามลำดับ และที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2 สัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตซีโอติและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในหน่วย(เปอร์เซ็นต์/เปอร์เซ็นต์)มีค่าเฉลี่ย 64.2/35.8, 63.4/36.6, 61.6/38.4, 63.6/36.4 และ 61.6/38.4 เมื่อความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟต 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ล. ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.39 แสดงค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตซีโอติ และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตของทุกๆการทดลอง



รูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต

จากข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต มีค่าค่อนข้างคงที่ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตก็ตาม โดยที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 สัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียผลิตมีเทน มีค่าอยู่ในช่วง 81.4 – 83.0 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 82.0 เปอร์เซ็นต์ และ สัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต มีค่าอยู่ในช่วง 17.0 – 18.6 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 18.0 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 2 สัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียผลิตมีเทน จะมีค่าอยู่ในช่วง 61.6 – 64.2 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 62.9 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต จะมีค่าอยู่ในช่วง 36.4 – 38.4 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าเฉลี่ย 37.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้มองได้ว่าในอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตหนึ่งๆ การแปรระดับความเข้มข้นซีโอติและซัลเฟตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตน้อยมาก หรือกล่าวได้ว่า อาจใช้อัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตในการกำหนด สัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตได้ และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระดับความเข้มข้นซีโอติ การเพิ่มความเข้มข้นซัลเฟต จากอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต 4 เป็น 2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการแปรรูปของซีโอติที่ชัดเจนที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนซีโอติในรูปก๊าซมีเทน และสัดส่วนซีโอติที่ใช้รีดิวซ์ซัลเฟต โดยค่าเฉลี่ยของสัดส่วนซีโอติในรูปมีเทนลดลงจาก 68.8 เหลือ 54.1 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนซีโอติที่ใช้รีดิวซ์

ซัลเฟตมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 15.1 เป็น 31.8 เปอร์เซ็นต์ และทำให้สัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียผลิต มีเทนลดลงจาก 82.0เหลือ 62.9 เปอร์เซ็นต์และสัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเพิ่มขึ้นจาก 18.0 เป็น 37.1เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่สัดส่วนการใช้ซีโอติโดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต โดยมีค่า เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.06 เท่า ซึ่งจะสอดคล้องกับการลดอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตในน้ำเสียถึงครึ่งหนึ่ง กำหนดให้เท่ากับ 2 เท่าด้วยเช่นกัน โดยเป็นการตอบย้ำถึงความสำคัญของอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต ต่อ การกำหนดสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และมีความ สัมพันธ์ที่เด่นชัด คือ เมื่ออัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตมีค่าต่ำลง แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะมีสัดส่วนการใช้ ซีโอติของระบบได้มากขึ้น โดยผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ เช่นงานของ Newbigging และคณะ,(1993); Parkinและคณะ,(1990); Oleszkiewicz และHilton,(1986) (อ้างถึงใน Uberoi และ Bhattacharya, (1995)) ซึ่งมองเห็นถึงความสำคัญของอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต ในการกำหนดบทบาทของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในกระบวนการไร้อากาศด้วยเช่นกัน และให้ความสำคัญกับค่าอัตราส่วน ซีโอติต่อซัลเฟตโดยกำหนดเป็นตัวเลขที่มีความสำคัญในเชิงวิศวกรรมในการควบคุมระบบบำบัดไร้อากาศ สำหรับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีซัลเฟตสูง

สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซีโอติของทุกๆ การทดลอง ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 89.2 – 95.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง เป็นค่าที่อยู่ในช่วงสูง และอ่านความหมายได้ว่า ผลการทดลองที่ได้ในส่วน of ค่าที่เกี่ยวข้องกับซีโอติ มีความน่าเชื่อถือและสามารถติดตามการแปรค่าของค่าซีโอติเมื่อน้ำเสียผ่านระบบได้ค่อนข้างดี อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องตระหนักที่สุดคือ ปริมาณของก๊าซมีเทนที่ได้มีผลอย่างมากต่อเปอร์เซ็นต์สมดุลมวลของซีโอติ และสัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่ได้ และสำหรับงานวิจัย นี้ ประเด็นดังกล่าวจะถูกตั้งคำถามกลับไปถึงค่าความน่าเชื่อถือของค่าปริมาตรก๊าซมีเทนที่วัดได้เป็นสำคัญ เนื่องจากใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยหลักการของเครื่องออร์แกท โดยตั้งสมมติฐานให้ในก๊าซชีวภาพมีเฉพาะก๊าซ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่านั้น ซึ่งในกรณีที่ในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีสัดส่วน ของก๊าซในโครเจนในปริมาณที่มีนัยสำคัญจริง ก็จะมีผลกระทบกลับไปยังเปอร์เซ็นต์สมดุลของซีโอติ และ สัดส่วนการใช้ซีโอติระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตโดยตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

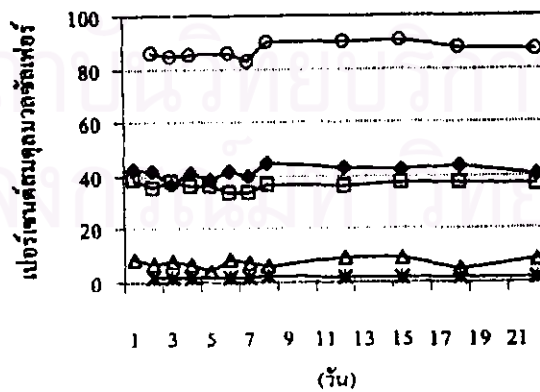
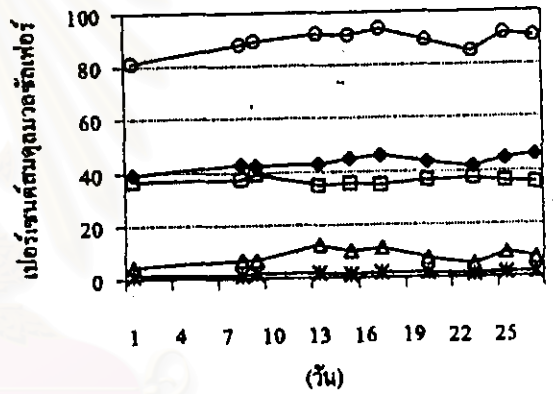
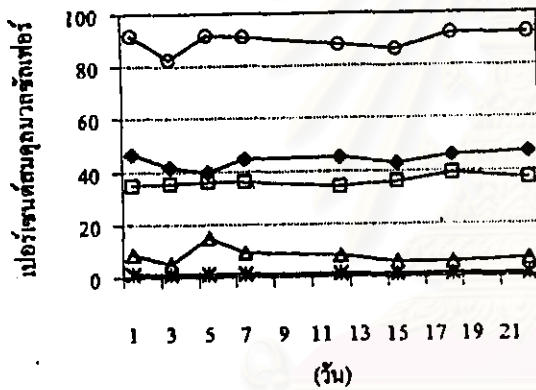
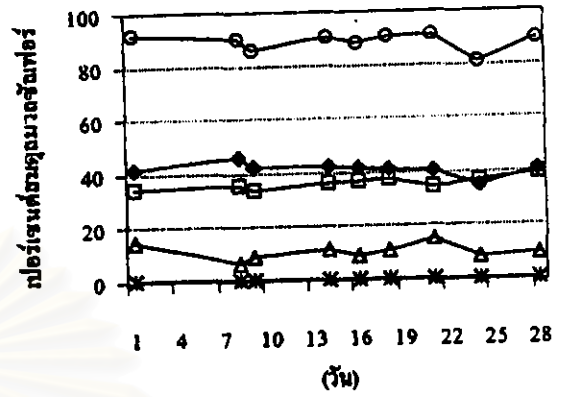
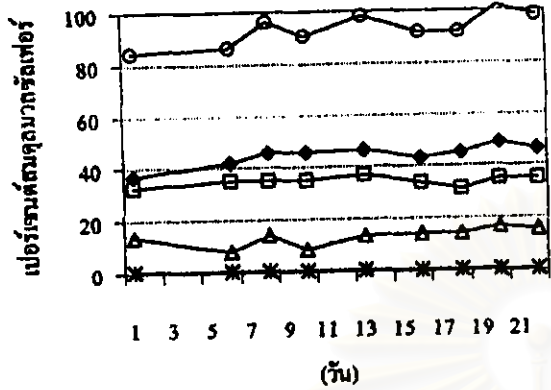
4.4.2 สมดุลมวลซัลเฟอร์

จุดประสงค์สำหรับการพิจารณาสมดุลมวลซัลเฟอร์ในงานวิจัยนี้ คือ การตรวจสอบย้อนกลับถึงความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่างในส่วนที่เกี่ยวข้องกับซัลเฟอร์ และติดตามการแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ โดยเมื่อพิจารณาในเชิงปริมาณค่าปริมาณของซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตน้ำเข้า (ซึ่งกำหนดให้เป็นรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ชนิดเดียวที่ถูกป้อนเข้าระบบ) เท่ากับผลรวมของ

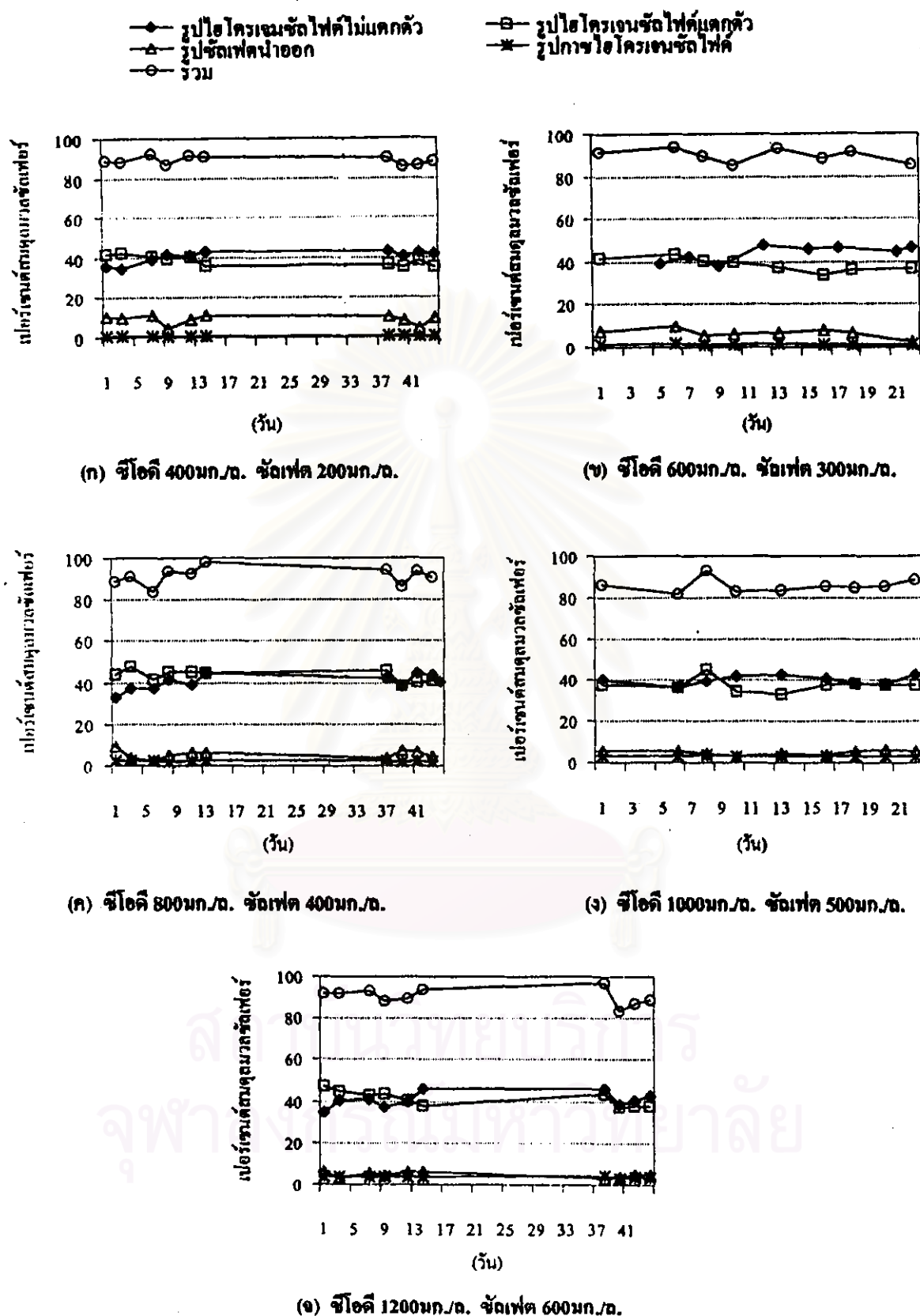
- (1) ค่าปริมาณซัลเฟอร์ในรูปซัลเฟตที่เหลือในน้ำออก
- (2) ค่าปริมาณซัลเฟอร์ในรูปซัลไฟด์ละลายทั้งหมด
- (3) ค่าปริมาณซัลเฟอร์ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- (4) ค่าปริมาณซัลเฟอร์ในรูปตะกอนผลิตภัณฑ์โหระหนักซัลไฟด์
- (5) ค่าปริมาณซัลเฟอร์ทั้งหมดที่ถูกใช้และสะสมอยู่ในเซลล์แบคทีเรีย

โดยในงานวิจัยนี้ค่าปริมาณซัลเฟอร์ที่ทำการวัดอย่างสม่ำเสมอ คือค่าในข้อ (1) ถึง (3) ขณะที่ค่าในข้อ (4) และ (5) ไม่มีการวัดค่าและโดยทั่วไปมีปริมาณค่อนข้างน้อยมากซึ่งจะไม่นำมาร่วมพิจารณา นอกจากนั้นจะนำค่าซัลไฟด์ละลายทั้งหมด, ค่าพีเอช, ค่าอุณหภูมิ และค่าสภาพนำไฟฟ้า มาร่วมคำนวณสัดส่วนการกระจายรูปซัลไฟด์ละลายน้ำออก ซึ่งจะอยู่ใน 3 รูปคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายที่ไม่แตกตัว ($H_2S_{(sol)}$), อีออนไบซัลไฟด์ (HS^-) และอีออนซัลไฟด์ (S^{2-}) โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกระจายรูปของซัลไฟด์ละลายน้ำออก คือ ค่าพีเอช เนื่องจากการกระจายรูปดังกล่าว ก็คือ การแตกตัวของกรดอ่อนนั่นเอง โดยส่วนใหญ่ซัลไฟด์ละลายในน้ำออกจะอยู่ใน 2 รูปแรก ขณะที่รูปของอีออนซัลไฟด์ (S^{2-}) จะมีสัดส่วนน้อยมาก เนื่องจากระดับพีเอชน้ำออกที่ได้ซึ่งมีค่าประมาณ 6.8 นั้น ทำให้การแตกตัวขั้นที่ 2 โดยอีออนไบซัลไฟด์ (HS^-) เกิดขึ้นยากมาก โดยประโยชน์ที่สำคัญในการทราบปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว ($H_2S_{(sol)}$) คือสามารถนำมาใช้ในการระวังความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นกับระบบอันเกิดจากพิษของซัลไฟด์ โดยทางทฤษฎีรูปของซัลไฟด์ ที่อันตรายต่อแบคทีเรียมากที่สุดก็คือไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว ($H_2S_{(sol)}$) นั่นเอง เนื่องจากเป็นอนุภาคไม่มีประจุ และผ่านเข้าสู่เซลล์แบคทีเรียได้ง่ายกว่า สำหรับรายละเอียดทฤษฎีเกี่ยวกับสมดุลมวลซัลเฟอร์ แสดงในหัวข้อ 2.5.2 บทที่ 2 และตัวอย่างการคำนวณการแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ แสดงในภาคผนวกในส่วนของตัวอย่างรายการคำนวณ โดยตารางที่ 4.29 และ 4.30 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนตัวแปรของข้อมูลค่าการแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ และผลรวมเปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซัลเฟอร์ ของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.40 และ 4.41 แสดงค่าการแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเมื่อผ่านระบบ และผลรวมเปอร์เซ็นต์สมดุลมวลซัลเฟอร์ ของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอไซด์ต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ

- ◆ รูปไอโครเจนซัลไฟด์ไม่แตกตัว
- ▲ รูปซัลไฟต์ฟอสฟอรัส
- รวม
- รูปไอโครเจนซัลไฟด์แตกตัว
- * รูปกาซาไอโครเจนซัลไฟด์



รูปที่ 4.40 เปอร์เซ็นต์การแปรรูปสารประกอบซัลไฟต์และผลรวมรวมซัลไฟต์ ตลอดจนการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4



รูปที่ 4.41 เปอร์เซ็นต์การแปรรูปสารประกอบซัลเฟอร์และผลรวมรวมมวลรวมซัลเฟอร์ ตลอดจนการทดลองที่อัตราส่วนซีไอต์ต่อซัลเฟต 2

ตารางที่ 4.29 ข้อมูลการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์
และผลรวมเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4

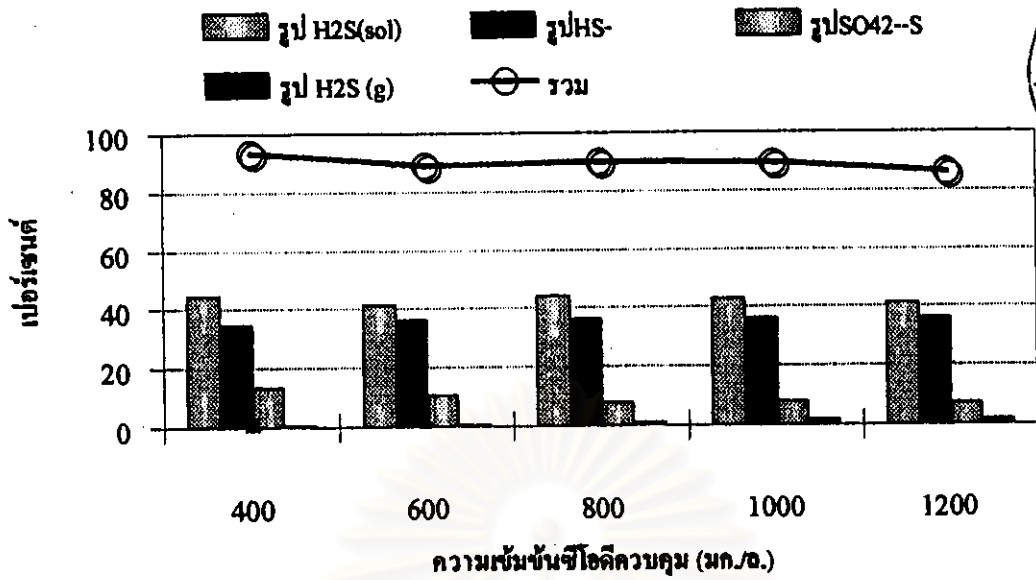
ความเข้มข้น ซีโอดีควบ กม(มก./ล.)	เปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์				
	H ₂ S		SO ₄ ²⁻	HS ⁻	รวม
	ก๊าซ	ละลาย			
400	0.81	44.57	13.36	34.61	93.35
SD.	±0.07	±3.43	±2.93	±1.67	±5.80
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
600	0.82	41.31	10.71	36.09	88.93
SD.	±0.04	±2.84	±2.79	±1.65	±3.44
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
800	1.23	44.35	8.01	36.09	89.68
SD.	±0.17	±2.52	±3.30	±1.62	±3.65
N	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
1000	1.56	43.26	8.09	36.40	89.30
SD.	±0.20	±2.16	±2.61	±1.37	±3.69
N	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
1200	1.91	41.37	7.35	36.26	86.30
SD.	±0.19	±2.12	±1.72	±1.50	±3.47
N	(10)	(12)	(12)	(12)	(11)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.29 ซึ่งเป็นข้อมูลของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 การแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบดังนี้คือ รูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว(H₂S_(sol))/ รูปอไอออนไฮซัลไฟด์ (HS⁻)/ รูปซัลเฟตน้ำออก/ รูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าเฉลี่ยในหน่วยเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 44.6/ 34.6/ 13.4/ 0.8, 41.3/ 36.1/ 10.7/ 0.8, 44.4/ 36.1/ 8.0/ 1.2, 43.3/ 36.4/ 8.1/ 1.6 และ 41.4/ 36.3/ 7.4/ 1.9 โดยค่าเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์มีค่าเฉลี่ย 93.4, 88.9, 89.7, 89.3 และ 86.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตเท่ากับ 404/106, 622/153, 825/208, 1010/255 และ 1221/304มก./ล. ตามลำดับ

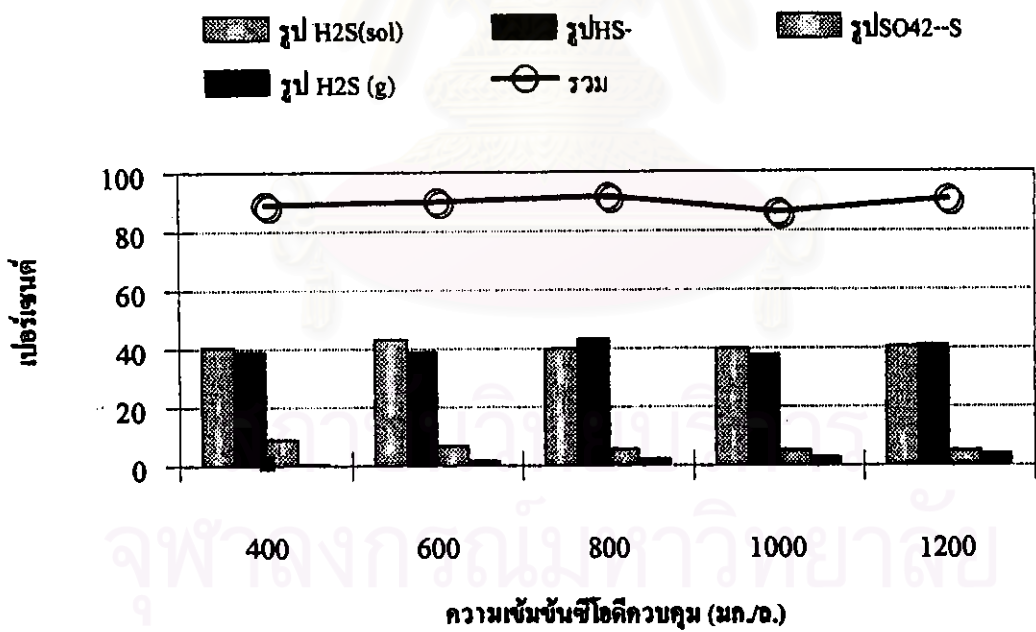
ตารางที่ 4.30 ข้อมูลการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์
และผลรวมเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2

ความเข้มข้น ซีโอดีควบ กม(มก./ต.)	เปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์				
	H ₂ S		SO ₂	HS	รวม
	ก๊าซ	ละลาย			
400	0.69	40.43	8.99	38.70	88.80
SD.	±0.08	±3.03	±2.45	±2.79	±2.25
N	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
600	1.40	43.06	6.66	38.73	89.86
SD.	±0.19	±3.62	±2.09	±3.35	±3.24
N	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
800	2.25	40.18	5.51	43.50	91.45
SD.	±0.13	±3.73	±2.12	±2.96	±4.19
N	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
1000	3.04	40.21	4.92	37.73	85.89
SD.	±0.21	±2.13	±0.98	±3.32	±3.30
N	(9)	(9)	(9)	(9)	(9)
1200	3.66	40.72	4.84	41.27	90.49
SD.	±0.26	±3.47	±1.17	±3.48	±3.86
N	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)

จากข้อมูลในตารางที่ 4.30 ซึ่งเป็นข้อมูลของการทดลองที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 การแปรรูปของสารต่างๆที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบดังนี้คือ รูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายที่ไม่แตกตัว(H₂S_(sol))/ รูปอออนไบซัลไฟด์ (HS⁻)/ รูปซัลเฟตน้ำออก/ รูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าเฉลี่ยในหน่วยเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 40.4/ 38.7/ 9.0/ 0.7, 43.1/ 38.7/ 6.7/ 1.4, 40.2/ 43.5/ 5.5/ 2.3, 40.2/ 37.7/ 4.9/ 3.0 และ 40.7/ 41.3/ 4.8/ 3.7 โดยค่าเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์มีค่าเฉลี่ย 88.8, 89.9, 91.4, 85.9 และ 90.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นซีโอดีและซัลเฟตเท่ากับ 412/206, 597/310, 814/418, 1028/512 และ 1214/621 มก./ต ตามลำดับ โดยรูปที่ 4.42 และ 4.43 แสดงค่าเฉลี่ยการแปรรูป ของสารประกอบของซัลเฟอร์และค่ารวมสมมูลมวลซัลเฟอร์ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 4 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยการแปรรูปสารประกอบของซัลเฟอร์และค่ารวมตามความมวลซัลเฟอร์ที่อัตราส่วนซัลไฟต์ต่อซัลเฟต 4



รูปที่ 4.43 ค่าเฉลี่ยการแปรรูปสารประกอบของซัลเฟอร์และค่ารวมตามความมวลซัลเฟอร์ที่อัตราส่วนซัลไฟต์ต่อซัลเฟต 2

ในเรื่องต้นตอที่ต้องตระหนักในการอ่านค่าซัลไฟด์รูปต่างๆ คือไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว ($H_2S_{(aq)}$) สามารถหนีออกจากตัวอย่างน้ำในระหว่างการชักตัวอย่างได้เสมอ เนื่องจากความดันพาร์เซียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อตัวอย่างน้ำสัมผัสอากาศ ซึ่งทำให้ค่าซัลไฟด์น้ำออกทั้งหมดที่วัดได้น้อยกว่าที่เกิดขึ้นจริง และมีผลต่อเปอร์เซ็นต์สัดส่วนการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ได้อย่างไรก็ตาม ปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่หนีออกอาจมีน้อยมาก เนื่องจากความดันพาร์เซียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบที่วัดได้มีค่าสูงสุดเพียง 2.09 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือค่าความดันพาร์เซียลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ตกลงไม่สูงมาก รวมทั้งวิธีในการชักตัวอย่าง (แสดงใน บทที่ 3) เป็นวิธีที่หลีกเลี่ยงการเกิดความปั่นป่วนของตัวอย่างน้ำเพื่อลดโอกาสการหนี เนื่องจากลักษณะสมบัติอย่างหนึ่งของไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ มีความสามารถละลายน้ำสูงมาก (สูงกว่าก๊าซมีเทน 75.8 เท่า ที่ $25^\circ C$) ซึ่งถ้าความปั่นป่วนต่ำโอกาสการหนีจะมีน้อยลง ซึ่งสรุปได้ว่า ข้อมูลของซัลไฟด์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าจริงแต่จะมีผลไม่มากนัก และจากข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์สมมูลมวลซัลเฟอร์ที่ได้ ซึ่งได้ค่าอยู่ในช่วง 85.9-93.4 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าผลการทดลองที่ได้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบซัลเฟอร์ต่างๆ มีความน่าเชื่อถือ และสามารถติดตามการการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์เมื่อนำไปเทียบกับระบบได้ค่อนข้างดี และเมื่อพิจารณาถึงการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ต่างๆทุกการทดลอง พบว่าสารประกอบของซัลเฟอร์ส่วนใหญ่จะอยู่ในวัฏภาคน้ำ โดยอยู่ในวัฏภาคก๊าซเพียง 0.7 – 3.7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และการแปรรูปของสารประกอบซัลเฟอร์ที่อยู่ในวัฏภาคน้ำก็มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อความเข้มข้นซัลเฟตเปลี่ยนไปหรือแม้แต่อัตราส่วนซีไอคือซัลเฟตเปลี่ยนไปก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากการแปลงรูประหว่างรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวและไอออนไบซัลไฟด์จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอชน้ำออกเป็นสำคัญ และจากผลการทดลองที่ได้สัดส่วนระหว่างรูปไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวและรูปไอออนไบซัลไฟด์ มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน โดยรูปของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวมีสัดส่วนสูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นผลจากค่าพีเอชน้ำออกมีค่าประมาณ 6.8 นั่นเอง

ประเด็นที่สำคัญอีกประเด็นหนึ่งเกี่ยวกับการพิจารณาถึงรูปของซัลไฟด์น้ำออก คือการพิจารณาความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว ซึ่งเป็นรูปของซัลไฟด์ที่ส่งผลกระทบต่อพิษของซัลไฟด์ได้รุนแรงที่สุด โดย Maillacheruvu และคณะ (1993) ได้สรุปผลเกี่ยวกับพิษจากซัลไฟด์ โดยรายงานว่าที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวระหว่าง 60 – 75 มก.ซัลเฟอร์/ล. และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดระหว่าง 150 - 200 มก.ซัลเฟอร์/ล. จะเริ่มมีผลยับยั้งระบบไร้อากาศแบบกวนผสม (chemostat reactor) ที่ใช้กรดอะซิติก และกรดไพรูวิก เป็นสารอาหาร และถ้าความเข้มข้นซัลไฟด์ทั้งสองรูปดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้ระบบล้มเหลวได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยของ Li และคณะ (1996) โดยเป็นการวิจัยด้วยระบบไร้อากาศแบบกวนผสม (chemostat reactor) เช่นเดียวกัน แต่สารอาหารที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นกรดเบนโซอิก โดยได้สรุปว่าที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวเท่ากับ 50 มก.ซัลเฟอร์/ล. และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมด

เท่ากับ 260 มก..ซัลเฟอร์/ท.จะมีผลยับยั้งแบคทีเรีย ขณะที่สำหรับเชื้อแบคทีเรียไร้อากาศจากถังปฏิกรณ์แบบยูเอสบีซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด (granular sludge) อาจทนต่อผลเนื่องจากความเป็นพิษของซัลไฟด์ได้ดีกว่า โดย Fang และคณะ(1997) รายงานว่าแบคทีเรียภายในถังปฏิกรณ์ยูเอสบีสามารถนำมีดน้ำเสียเบนโซเอตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวมีค่าเท่ากับ 234 มก..ซัลเฟอร์/ท. และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดเท่ากับ 769 มก..ซัลเฟอร์/ท. ก็ตาม สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายแตกตัว และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัว, ไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายแตกตัว และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมด

ความเข้มข้น ซัลไฟด์รวม (มก./ท.)	อัตราส่วน 4			อัตราส่วน 2		
	H ₂ S (มก./ท.)	HS ⁻ (มก./ท.)	H ₂ S + HS ⁻ (มก./ท.)	H ₂ S (มก./ท.)	HS ⁻ (มก./ท.)	H ₂ S + HS ⁻ (มก./ท.)
400	15.6	12.1	27.7	26.4	27.5	53.8
600	20.8	18.3	39.0	40.6	45.1	85.7
800	30.5	24.6	55.2	60.0	55.5	115.5
1000	36.8	30.9	67.7	64.4	68.6	133.0
1200	41.9	36.7	78.7	85.0	84.0	169.0

จากข้อมูลในตารางที่ 4.31 สำหรับผลการทดลองที่อัตราส่วนซัลไฟด์ต่อซัลเฟต 4 ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.6, 20.8, 30.5, 36.8 และ 41.9 มก.ซัลเฟอร์/ท. และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.7, 39.0, 55.2, 67.7 และ 78.7 มก.ซัลเฟอร์/ท. ที่ความเข้มข้นซัลไฟด์และซัลเฟต 404/106, 622/153, 825/208, 1010/250 และ 1221/303 มก./ท. ตามลำดับ และที่อัตราส่วนซัลไฟด์ต่อซัลเฟต 2 ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.5, 45.1, 55.5, 68.6 และ 84.0 มก.ซัลเฟอร์/ท. และความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.8, 85.7, 115.5, 133.0 และ 169.0 มก.ซัลเฟอร์/ท. ที่ความเข้มข้นซัลไฟด์และซัลเฟต 412/206, 597/303, 814/418, 1028/512 และ 1214/613 มก./ท. ตามลำดับ สำหรับการทดลองที่มีค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายไม่แตกตัวสูงสุด มีค่าเท่ากับ 94.4 มก.ซัลเฟอร์/ท.และมีค่าความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 184.0 มก.ซัลเฟอร์/ท. (ในการทดลองที่ความเข้มข้นซัลไฟด์และซัลเฟต น้ำเข้าเท่ากับ 1254 และ 602 มก./ท., คอลัมน์ที่ 2 วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2542) โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้

จากงานวิจัยนี้ กับผลเกี่ยวกับพิษของซัลไฟด์ที่อ้างอิงข้างต้น โดยเฉพาะจากงานของ Fang และคณะ, (1997) ซึ่งมีลักษณะของเชื้อแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นเม็ดจากถึงปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบีเหมือนกัน ค่าความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ละลายที่ไม่แตกตัว และค่าความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมด ที่ได้จากงานวิจัยนี้ก็ยังมีค่าต่ำกว่ามาก และทุกๆการทดลองก็ไม่มีอาการผิดปกติของระบบแต่อย่างใด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การประเมินปริมาณซัลไฟด์ที่จะเกิดในระบบไร้อากาศ

ในการประเมินปริมาณซัลไฟด์ที่จะเกิดในระบบไร้อากาศ สิ่งที่จะต้องตระหนักในเบื้องต้นเสมอคือระดับความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่ต้องการในน้ำออกจะมีขีดจำกัดสูงสุดอยู่ค่าหนึ่งเสมอ ด้วยผลจากความเป็นพิษของซัลไฟด์ที่จะยับยั้งการทำงานหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สร้างซัลไฟด์ขึ้นมา นอกจากนี้ สิ่งที่สำคัญคือเชื้อเริ่มต้นสำหรับนำมาใช้ในการเดินระบบควรเป็นเชื้อที่มีความคุ้นเคยกับน้ำเสียที่มีปริมาณซัลเฟตมากพอสมควร ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าจะมีปริมาณแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเริ่มต้นอยู่มากพอสำหรับการขยายพันธุ์ให้ได้จำนวนมากโดยใช้เวลาไม่นานนักเพื่อทำหน้าที่รีดิวซ์ซัลเฟตได้อย่างที่ต้องการ รวมทั้งยังมีประโยชน์ในเชิงของการลดผลกระทบของความเป็นพิษเนื่องจากซัลไฟด์ได้ ถ้าได้เชื้อเริ่มต้นจากแหล่งที่มีการป้อนด้วยซัลเฟต และมีความคุ้นเคยกับซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ (Visser, 1994)

ประเด็นต่อมาคือ ค่าอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟต ซึ่งจะบอกได้ว่าในน้ำเสียนั้นๆ มีสัดส่วนระหว่างซีโอติกับซัลเฟต เหมาะสมต่อการใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตเป็นอย่างไร โดยค่าทางทฤษฎีของอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตที่จะมีปริมาณซีโอติและซัลเฟตอยู่อย่างพอดีต่อการใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต คือ $\frac{2}{3}$ หรือ 0.67 โดยค่าที่สูงกว่า 0.67 แสดงว่ามีค่าซีโอติมากเกินไปและค่าที่ต่ำกว่า 0.67 แสดงว่ามีปริมาณซัลเฟตมากเกินไป โดยเมื่อพิจารณาถึงความสามารถเฉพาะตัวของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตในการแย่งใช้สารอาหารที่ดึกว่าเมื่อเทียบกับแบคทีเรียผลิตมีเทน ความน่าจะเป็นก็คือ แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตควรที่จะสามารถใช้ค่าซีโอติในระบบได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับปริมาณซัลเฟตที่มีในระบบได้เสมอ ดังนั้นที่ค่าอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตน้อยกว่า 0.67 ซึ่งปริมาณซีโอติมีจำกัด ซีโอติทั้งหมดน่าจะถูกใช้โดยแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นควรจะแปรผันตรงกับซีโอติในระบบ และในทางกลับกันที่ค่าอัตราส่วนซีโอติต่อซัลเฟตมากกว่า 0.67 ปริมาณซีโอติมีมากเกินไปขณะที่ปริมาณซัลเฟตจะมีปริมาณจำกัด ซึ่งจะทำให้ปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นกลับควรจะแปรผันตรงกับค่าซัลเฟตน้ำเข้า โดยได้พยายามศึกษารายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยจะต้องทดลองด้วยถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี และรายงานผลเกี่ยวกับปริมาณซัลไฟด์น้ำออกพร้อมกับค่าซัลเฟตน้ำเข้าพบว่า ที่สามารถนำมาอ้างอิงได้มีเพียงงานวิจัยของ Harada และคณะ (1994) เท่านั้น ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ศึกษาการอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียผลิตมีเทน ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบีระดับห้องปฏิบัติการจำนวน 3 ถังที่มีลักษณะเหมือนกัน และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียและน้ำคาลซุโครสเป็นสารอาหารหลัก ซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้นเทียบเท่ากับค่าซีโอติ 500 มก./ล. ทุกๆ ถังปฏิกรณ์ ขณะที่แปรค่าความเข้มข้นซัลเฟตในแต่ละถังปฏิกรณ์เท่ากับ 30, 150 และ 600 มก./ล. ตามลำดับ โดยได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลซัลไฟด์น้ำออกกับค่าซัลเฟตน้ำเข้าจากรายงานการวิจัยดังกล่าวแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ค่าซัลไฟด์ละลายทั้งหมดและค่าซัลเฟตจากรายงานวิจัยของ Harada และคณะ ,(1994)

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต	ความเข้มข้น (มก./ล.)			เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชัน	อัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้า
		ซัลเฟต		ซัลไฟด์ละลายทั้งหมด		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำออก		
A	16.7	30	4.2	7.66	83.7	0.255
B	3.3	150	9.2	40.65	93.9	0.271
C	0.83	600	347	70.2	42.2	0.117

จากตารางที่ 4.32 จะเห็นว่าทุกการทดลองมีค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตสูงกว่า 0.67 ซึ่งเป็นเงื่อนไขทางทฤษฎีที่สำคัญในการมีปริมาณซีโอดีมากเกินไปเพื่อนำมาใช้รีดิวซ์ซัลเฟต แต่เมื่อพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชัน และอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้า พบว่าผลการทดลองดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 16.7 และ 3.3 ซึ่งก็คือชุดการทดลอง A และ B และกลุ่มที่มีอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 0.83 ซึ่งก็คือชุดการทดลอง C โดยชุดการทดลอง A และ B จะมีเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันในช่วงสูง คือ 83.7 และ 93.9 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้า เท่ากับ 0.255 และ 0.271 ตามลำดับ ขณะที่ชุดการทดลอง C มีค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันต่ำ คือ 42.2 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้าเท่ากับ 0.117 เท่านั้น โดยเมื่อนำผลการทดลองของงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.33 พบว่าค่าอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้า และค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันมีค่าที่ถือว่าจัดอยู่ในกลุ่มที่มีลักษณะร่วมกันทั้งที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 2 และ 4 คือมีค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันสูงระหว่าง 86.8 – 95.1 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้าในช่วง 0.258 – 0.275 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากชุดการทดลอง A และ B จากรายงานการวิจัยของ Harada และคณะ ,(1994) ที่อ้างถึงข้างต้น จากข้อมูลของทั้ง 2 งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมากกว่าหรือเท่ากับ 2 พบลักษณะร่วมของอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดน้ำออกต่อซัลเฟตน้ำเข้า ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ในเชิงปริมาณ โดยค่าความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดน้ำออกแปรผันตรงกับความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตที่ตั้งไว้เกี่ยวกับปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น ซึ่งควรจะแปรผันตรงกับซัลเฟตน้ำเข้าที่ค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมากกว่า 0.67 ซึ่งปริมาณซีโอดีมีมากเกินไป อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต่างออกไป คือ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต 0.83 ซึ่งก็ยังมากกว่าค่า 0.67 แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชันที่ได้กลับมีค่าต่ำ ซึ่งส่งผลให้ค่าอัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้ามีค่าต่ำด้วยเช่นกัน เป็นการแสดงให้เห็นถึงความเบี่ยงเบนของพฤติกรรมในการเกิดซัลเฟตรีดักชันเมื่อพิจารณาถึงความสามารถเฉพาะตัวที่ศึกษาของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัล-

เฟดในการแบ่งใช้สารอาหารเหมือนแบคทีเรียผลิตมีเทน ในช่วงที่ค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าเข้าใกล้ 0.67 ซึ่งยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนถึงเหตุผลของสิ่งที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.33 ค่าซัลไฟด์ละลายทั้งหมดและค่าซัลเฟตจากผลการวิจัยนี้

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟต	ความเข้มข้น (มก./ล.)			เปอร์เซ็นต์ซัลเฟตรีดักชัน	อัตราส่วนซัลไฟด์ละลายทั้งหมดต่อซัลเฟตน้ำเข้า
		ซัลเฟต		ซัลไฟด์ละลายทั้งหมด		
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำออก		
1	4	106	13.9	27.9	86.8	0.264
2	4	153	16.4	39.0	89.3	0.258
3	4	208	16.8	55.2	92.0	0.268
4	4	255	20.7	67.7	91.9	0.266
5	4	304	22.4	78.7	92.7	0.259
6	2	206	18.3	54.3	91.1	0.264
7	2	310	20.1	84.7	93.5	0.273
8	2	418	23.7	114.9	94.3	0.275
9	2	512	25.3	134.0	95.1	0.262
10	2	621	30.5	167.5	95.1	0.270

ดังนั้น ในการตั้งข้อสังเกตเกี่ยวกับเกี่ยวกับปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น จากตัวเลขค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตเท่ากับ 0.67 ทางทฤษฎี แล้วทำการแบ่งช่วงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นกับค่าความเข้มข้นซีโอดี หรือ ความเข้มข้นซัลเฟตออกเป็น 2 ช่วงนั้น จะเป็นการแบ่งที่มีช่วงความสัมพันธ์กว้าง หรือ หยิบยื่นเกินไป (ทั้งนี้เพราะที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าเข้าใกล้ 0.67 อาจเกิดพฤติกรรมการใช้สารอาหารระหว่างแบคทีเรียผลิตมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตที่เบี่ยงเบนไปจากทฤษฎี) โดยจะต้องทำวิจัยเพิ่มเติมในช่วงที่อัตราส่วนซีโอดีต่อซัลเฟตมีค่าเข้าใกล้ 0.67

อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองของงานวิจัยชิ้นนี้และจากผลงานการวิจัยของ Harada และคณะ ,(1994) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดในน้ำออกกับความเข้มข้นซัลเฟตน้ำเข้า สำหรับที่ค่าอัตราส่วนซีโอไลท์ต่อซัลเฟตเท่ากับ 2, 3.33, 4 และ 16.7 ได้ดังนี้

$$S^{2-} = 0.265 * SO_4^{2-} \text{ inr}$$

โดย S^{2-} = ความเข้มข้นซัลไฟด์ละลายทั้งหมดในน้ำออก (มก.ซัลเฟอร์/ล.)
 $SO_4^{2-} \text{ inr}$ = ความเข้มข้นซัลเฟตในน้ำเข้า(มก./ล.)

และ จะต้องกำหนดเงื่อนไขความเข้มข้นซัลไฟด์น้ำออกที่มีขีดจำกัดสูงสุดเสมอ เพื่อป้องกันผลจากความ เป็นพิษของซัลไฟด์ที่จะยับยั้งการทำงานหรือการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต ซึ่งเป็น แบคทีเรียที่สร้างซัลไฟด์ขึ้นมา

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 การคำนวณค่ากรดไขมันระเหยจากค่าซีไอคือน้ำออกของระบบบำบัดไร้อากาศ

สำหรับการวัดค่าตัวแปร กรดไขมันระเหยสำหรับงานวิจัยทางด้านน้ำเสียจากระบบไร้อากาศที่ไม่จำเป็นต้องทราบชนิดของกรดไขมันระเหยอย่างชัดเจน และต้องการข้อมูลค่ากรดไขมันระเหยเพื่อพิจารณาเฉพาะเสถียรภาพของระบบเท่านั้น การวัดกรดไขมันระเหยด้วยวิธีและใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อน เช่น การใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ เป็นความสิ้นเปลืองเกินความจำเป็น ขณะที่การวัดด้วยวิธีโคเดเททแบบลัดที่ใช้ในงานวิจัยให้ผลที่ไม่ถูกต้องจากการรบกวนของค่าสภาพล้างไบคาร์บอเนตโดยเฉพาะระบบที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถผลิตน้ำออกที่มีค่าซีไอคือน้ำออกต่ำ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลค่ากรดไขมันระเหยจากเงื่อนไขดังกล่าวสามารถคำนวณค่ากรดไขมันระเหยได้จากค่าซีไอคือน้ำออกที่ผ่านขั้นตอนการไล่ซัลไฟด์ออกจากตัวอย่างแล้ว โดยมีแนวคิดสนับสนุน และเงื่อนไขเฉพาะในการนำวิธีดังกล่าวมาใช้ดังนี้

1. ค่าซีไอคือน้ำออกที่วัดได้จากน้ำออกของระบบไร้อากาศส่วนใหญ่ที่เป็นไปได้จะอยู่ในรูปของ

- สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่ยังไม่เปลี่ยนเป็นรูปกรดไขมันระเหย ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์เริ่มต้นที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย
- สารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปกรดไขมันระเหย เช่น กรดอะซิติก, กรดบิวทริก, กรดโพรพิโอนิก เป็นต้น
- ซัลไฟด์ โดยต้องเป็นน้ำเสียที่มีซัลเฟต
- แอมโมเนีย เกิดจากน้ำเสียที่มี TKN ในน้ำเข้า เช่น น้ำเสียที่มีโปรตีน เป็นต้น

2. จากชนิดของสารที่วัดได้ในรูปซีไอคือน้ำออกข้างต้น ทำให้มองได้ว่าการที่จะมั่นใจในค่ากรดไขมันระเหยจากวิธีคำนวณด้วยค่าซีไอคือน้ำออกนั้น ลักษณะของตัวอย่างน้ำที่พิจารณาจะต้องมีค่าซีไอคือน้ำออกที่เกิดจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปกรดไขมันระเหยมากที่สุด ซึ่งจะเป็นไปได้ต่อเมื่อลักษณะน้ำเสียที่ผ่านระบบไร้อากาศมีลักษณะดังนี้

- เป็นน้ำเสียที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น น้ำเสียคาร์โบไฮเดรต, แป้ง, น้ำตาล, น้ำผลไม้ เป็นต้น ซึ่งมั่นใจได้ว่าจะง่ายต่อการถูกเปลี่ยนรูปเป็นกรดไขมันระเหย
- ไม่เป็นน้ำเสียประเภทที่มีค่า TKN สูง เนื่องจากระบบบำบัดไร้อากาศไม่สามารถนำค่า TKN ได้โดยเมื่อย่อยสลายได้มากที่สุดในสภาวะไร้อากาศ จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป แอมโมเนีย ซึ่งก็ยังคงวัดได้ในรูป TKN รวมทั้งยังวัดค่าได้ในรูป COD. ด้วยเช่นกัน

- เป็นน้ำเสียที่ไม่มีซัลเฟต หรือสารประกอบของซัลเฟอร์ในรูปออกซิไดส์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการผลิตซัลไฟด์จากระบบบำบัดไร้อากาศ อย่างไรก็ตามสำหรับซัลไฟด์สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการนำตัวอย่างที่จะวัดซีโอดีมาผ่านขั้นตอนการไล่ซัลไฟด์ออกเช่นวิธีที่ทำในงานวิจัยนี้

3. ในกรณีที่มีน้ำใจได้ว่าในน้ำเสียที่ผ่านจากระบบบำบัดไร้อากาศมีค่าซีโอดีละลายที่เกิดจากกรดไขมันระเหยเป็นส่วนใหญ่ จะสามารถหาค่ากรดไขมันระเหยทางอ้อมได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลซีโอดีละลาย ดังนี้คือ

- กำหนดให้รูปกรดไขมันระเหยของค่าซีโอดีละลายจะอยู่ในรูปของกรดอะซิติกเท่านั้น เพื่อง่ายและสะดวกต่อการคำนวณ
- กรดอะซิติก 1 โมล มีน้ำหนัก 60 กรัม เทียบเท่า ค่าซีโอดี 2 โมล หรือ 64 กรัม ดังนั้น ซีโอดี 1 มก./ล. จากกรดอะซิติก เทียบเท่ากรดอะซิติก = $60/64 = 0.9375$ มก./ล. ซึ่งจะเป็นตัวเลขที่นำมาใช้สำหรับคำนวณค่ากรดอะซิติกจากค่าซีโอดีละลาย และสำหรับข้อมูลซีโอดีละลายที่ได้จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้ สามารถนำมาคำนวณเพื่ออ่านค่าเป็นกรดไขมันระเหยในรูปกรดอะซิติกได้โดยแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ค่ากรดไขมันระเหยจากการคำนวณด้วยค่าซีโอดีละลาย

ความเข้มข้น ซีโอดีความขุม (มก./ล.)	อัตราส่วน 4		อัตราส่วน 2	
	COD _{total} (mg/l)	กรดไขมันระเหย (mg/l as CH ₃ COOH)	COD _{total} (mg/l)	กรดไขมันระเหย (mg/l as CH ₃ COOH)
400	16.3	15.3	16.9	15.8
600	21.8	20.4	22.4	21.0
800	31.3	29.3	22.6	21.2
1000	28.4	26.6	29.4	27.6
1200	32.4	30.4	24.9	23.3

หมายเหตุ ขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีละลายจากตัวอย่างน้ำจากระบบไร้อากาศ คือการไล่ซัลไฟด์ และการกรองตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์หามีค่าซีโอดีละลายที่เกิดจากกรดไขมันระเหยเท่านั้น

- ค่ากรดอะซิติกจากการคำนวณด้วยค่าซีไอติละทายจะมีความเบี่ยงเบนในทางบวกในเชิงของการเป็นค่าสภาพกรด คือ เป็นค่าที่มากกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะในกรณีที่มีรูปของกรดไขมันระเหยที่มีอยู่จริงจำนวนมากเป็นรูปอื่นที่มีโมเลกุลใหญ่กว่ากรดอะซิติก เช่น ไพรพิโอนิก หรือ บิวทริก รวมทั้งกรดที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เหล่านี้มีความสามารถในการแตกตัวที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน นั่นคือเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนโมลของกรดไขมันระเหยรูปต่างๆ ในปริมาณที่วัดได้เป็นค่าซีไอติเท่ากัน เมื่อคำนวณกลับเป็นจำนวนโมล จะได้ว่าปริมาณจำนวนโมลของกรดอะซิติกจะมีมากกว่า ดังนั้น ค่ากรดอะซิติกที่ได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลซีไอติละทายจะแสดงถึงความเป็นค่าสภาพกรดที่มากกว่าความเป็นจริง ขณะที่การวัดค่ากรดไขมันระเหยด้วยวิธีโคเดรทตามปกติเป็นลักษณะของการคำนวณค่าสภาพกรดที่วัดได้จากตัวอย่างน้ำ ให้เปลี่ยนเป็นค่ากรดอะซิติก ซึ่งไม่ทำให้การอ่านความหมายในเชิงของค่าสภาพกรดผิดพลาด แต่ก็ไม่เป็นการสื่อถึงปริมาณของกรดไขมันระเหยในรูปต่างๆ อย่างถูกต้องเช่นเดียวกัน

โดยสรุป สำหรับแนวคิดการคำนวณค่ากรดไขมันระเหยจากค่าซีไอติละทายน้ำออกของระบบบำบัดไร้อากาศเกิดจากการใช้ความเข้าใจในพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการหาข้อมูลทางอ้อมของค่ากรดไขมันระเหยได้ โดยในการอ่านความหมายของข้อมูลค่ากรดไขมันระเหยที่ได้จากการคำนวณดังกล่าว จะต้องตระหนักถึงข้อจำกัดของการใช้ข้อมูลเพื่ออ่านความหมายในเชิงของค่าสภาพกรดจากกรดไขมันระเหย แต่จะสามารถอ่านความหมายของข้อมูลที่ได้ในเชิงของปริมาณสารอินทรีย์ได้อย่างมั่นใจ ซึ่งอาจถูกตั้งคำถามกลับถึงความจำเป็นในเมื่อค่าซีไอติละทายที่นำมาใช้คำนวณก็สามารถสื่อถึงปริมาณของสารอินทรีย์ที่เหลือในน้ำออกอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวสามารถใช้ได้ในกรณีที่ชนิดของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ เป็นน้ำเสียที่มีกรดอะซิติกเป็นหลัก เช่น น้ำเสียจากโรงงานน้ำส้มสายชู เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย