

บทที่ 5 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

5.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์(seed)ทั้งหมดจากงานวิจัยมหัศจรรย์ของสมคะเน จริต-งาม(2538) และโครงการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมระดับบัณฑิต(2538)ของมรรักษ์ คัดจุลเวศม์ จีมา ชม สุรินทร์ และ จารุณี อนันต์สุขสกุล ตะกอนดังกล่าวมีลักษณะเป็นเม็ด(granule) มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยในถังยูเอเอสบีถังที่ 1 เป็นตะกอนที่บรรจุค้างอยู่ในถังตั้งแต่องานวิจัยชุดก่อน ส่วนถังยูเอเอสบีถังที่ 2 และ 3 นั้นใช้ตะกอนจากงานวิจัยชุดเดียวกันที่ถูกถ่ายออกมาเก็บไว้ มาบรรจุเข้าไปใหม่ปริมาตรตะกอนเริ่มต้นของแต่ละถังมีค่าประมาณ 3 ลิตร ลักษณะการติดตั้งชุดการทดลองจริงเป็นดังรูปที่ 5.1 จากนั้นเริ่มป้อนน้ำเข้าถังเคราะห์โดยมีลักษณะตามตารางที่ 4.2 และมีขั้นตอนการเดินระบบตลอดการวิจัยโดยสรุปมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการเดินระบบ

การวิจัยนี้ใช้เวลาในการเดินระบบรวมทั้งหมด 253 วัน แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนสร้างความคุ้นเคยและปรับสภาพชั้นตะกอน (131 วัน , 25 พฤษภาคม - 3 ตุลาคม 2538)

ก่อนที่จะนำตะกอนจุลินทรีย์(seed)นี้มาใช้ในการวิจัย ตะกอนดังกล่าวไม่ได้รับอาหารใดมาเป็นเวลา 4 เดือน ดังนั้นในขั้นนี้จึงค่อยๆเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ (organic loading rate ,OLR) โดยมีอัตราภาระสารอินทรีย์ เป้าหมายเท่ากับ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม./วัน ค่าซีโอดีของน้ำเข้าประมาณ 3000 มก/ล การปรับเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ กระทำโดยการปรับอัตราน้ำเข้า ซึ่งอาจแจกแจงขั้นตอนได้ดังนี้

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักน้ำ(HRT) (ชั่วโมง)	อัตราน้ำเข้า (ลิตร/วัน)	ระยะเวลาวิจัย (วัน)
3	24	17.5	85
6	12	35	26
9	8	53	20

*เริ่มเติมสารละลายโลหะนิกเกิลและโคบอลต์ ในขั้นตอนนี้ตั้งแต่วันที่ 121 ของการวิจัย

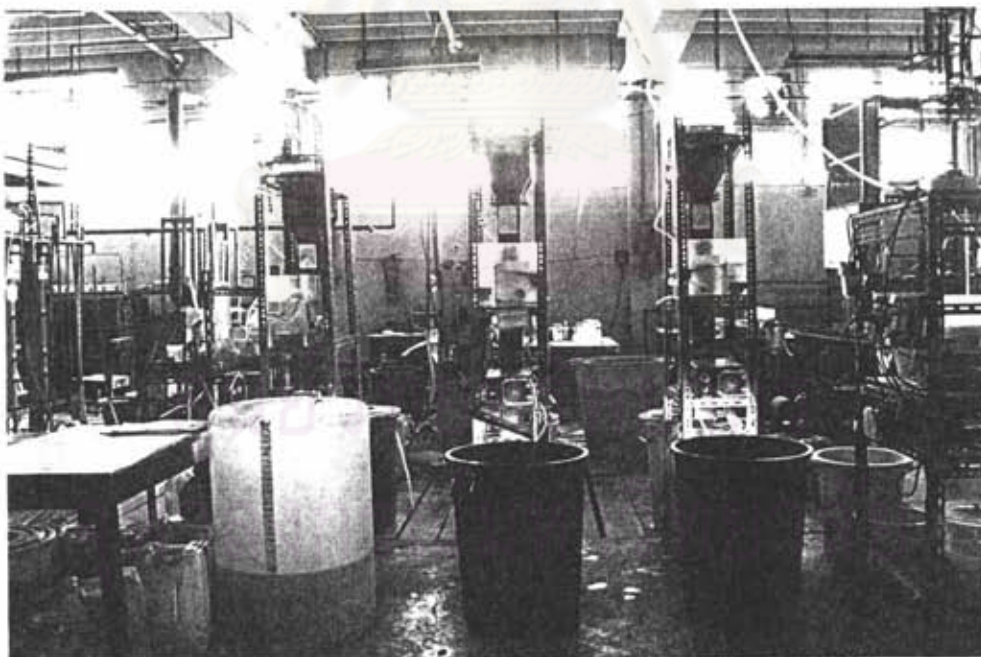
2) ชุดการทดลองที่ 1/1-1/3 (72 วัน , 4 ตุลาคม - 15 ธันวาคม 2538)

ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์เป้าหมายเท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน อัตราน้ำเข้าเท่ากับ 70 ลิตร/วันและระยะเวลาที่น้ำเท่ากับ 6 ชั่วโมง แยกเป็นเหตุการณ์ได้ 3 ระยะ ได้แก่

ลำดับการทำงานวิจัย	ระยะเวลาวิจัย(วัน)
1) ปรับอัตราการระเหยอินทรีย์ให้เข้าเป้าหมายและรักษาให้คงที่	12
2) ถ่ายตะกอนชั้นบนและประสิทธิภาพตกคอย	30
3) ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ	30

3)ชุดการทดลองที่ 2/1-2/3 (50 วัน , 16 ธันวาคม 2538 - 2 กุมภาพันธ์ 2539)

ค่าอัตราการระเหยอินทรีย์เป้าหมายเท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม./วัน อัตราน้ำเข้าเท่ากับ 70 ลิตร/วันและระยะเวลาที่น้ำเท่ากับ 6 ชั่วโมง



รูปที่ 5.1 แสดงการติดตั้งชุดการทดลองภายในห้องปฏิบัติการปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาฯ



5.2 ผลนิกเกิดและโกลบอลด์ต่อการทำงานของยูเอเอสบี

5.2.1 ลักษณะทางกายภาพของชั้นตะกอน

จากการดำเนินการวิจัยนี้พบว่าลักษณะทางกายภาพของชั้นตะกอนอันได้แก่ การเรียงตัวของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) สีของตะกอน ขนาดและลักษณะของเม็ดตะกอน(granule) ปริมาตรหรือความสูงของชั้นตะกอน การไหลขึ้นของฟองก๊าซ ลักษณะของชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) กลิ่นของน้ำออก เป็นต้น มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนตลอดการวิจัยทั้ง 6 ชุดการทดลอง แม้ว่าเงื่อนไขในเดินระบบเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย เช่น เพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ ชนิดของโลหะไอออนที่เติมในแต่ละชุดการทดลองหรือการดึงตะกอนนอนออกเพียงบางส่วน เป็นต้น บางครั้งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะสามารถสังเกตได้ก่อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พารามิเตอร์ตัวหลักอื่นๆ เช่น ค่าซีไอดีหรือ ค่าพีเอชของน้ำออก

ความเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพในช่วงต่างๆของการทดลองเป็นดังนี้

ก) เดือนแรกของการทดลอง(วันที่ 1- 37 ก่อนเก็บผลวิเคราะห์, 25 พฤษภาคม- 30 มิถุนายน 2538) ค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ประมาณ 3 กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.- วัน เวลาพักน้ำเท่ากับ 24 ชั่วโมง พบว่า

- ตะกอนของถังที่หนึ่งซึ่งบรรจุถังตั้งมาจากการวิจัยชุดก่อนนั้นพบว่าปริมาณฟองก๊าซที่พุ่งขึ้นมากกว่าชั้นตะกอนในถังที่ 2 และที่ 3 ซึ่งบรรจุตะกอนเข้าไปใหม่ ถึงแม้ว่าตะกอนจะมาจากแหล่งเดียวกันก็ตาม แสดงว่าตะกอนในถังที่หนึ่งมีความสามารถในการปรับสภาพของชั้นตะกอนได้เร็วกว่า ชั้นตะกอนในถังที่ 2 และที่ 3 ซึ่งบรรจุตะกอนเข้าไปใหม่

- ตะกอนนอนของถังที่หนึ่งมีการเรียงขนาดเม็ดจากเม็ดใหญ่ที่กั้นถึง ไปถึงเม็ดขนาดเล็กที่ตอนบนของชั้นตะกอนนอน ในขณะที่ตะกอนในถังที่ 2 และ 3 จะลดขนาดทั้งชั้นตะกอน ลักษณะตะกอนในระยะสัปดาห์แรกของการวิจัยในทั้งสามถัง ชั้นตะกอนนอนมักจะเกิดการยกตัวโดยก๊าซที่เกิดขึ้นในถังจะเข้าไปสะสมใต้ชั้นตะกอนนอนให้ลอยตัวขึ้นทั้งชั้น จากนั้นก๊าซที่ดันอยู่ข้างใต้ชั้นตะกอนจะพุ่งทะลุชั้นตะกอนนอนขึ้นไปแล้วปล่อยให้ชั้นตะกอนนอนที่ลอยขึ้นไปนั้นทลายและค่อยๆตกคืนกลับลงมา เป็นที่สังเกตว่าทุกครั้งที่ชั้นตะกอนนอนดังกล่าวทลายลงมานั้นจะมีการจัดเรียงขนาดของเม็ดตะกอน(granule)ในชั้นตะกอนนอนใหม่เกิดขึ้น โดยเรียงจากขนาดใหญ่ที่กั้นถึง ไปสู่ขนาดเล็กที่ตอนบน

- ในสัปดาห์ที่สอง ทั้งสามถังจะมีการเรียงขนาดในชั้นตะกอนที่ชัดเจนจนสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน กล่าวคือชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) , ชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) , ชั้นน้ำ ในถังที่ 1 ถังที่ 2 และถังที่ 3 จะแตกต่างกันก็เพียงแค่สีของตะกอนดังนี้สีเทาปนน้ำตาลซีด, สีดำคล้ำ, สีเทาเข้ม ตามลำดับ ขนาดเม็ดตะกอน(granule)โดยเฉลี่ยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มม., 1 มม., 1 มม. ตามลำดับ

ข) เดือนที่สองของการวิจัย(วันที่ 38- 46 ก่อนเก็บผลวิเคราะห์ จนถึง วันที่ 1 -22 ของการเก็บผลวิเคราะห์ ,1 - 31 กรกฎาคม) อัตราการระสารอินทรีย์ ประมาณ 3 กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.- วัน เวลาพักน้ำเท่ากับ 24 ชั่วโมง พบว่า

ลักษณะของเม็ดตะกอน(granule)ในทุกถังเปลี่ยนเป็นเม็ดแน่น สีน้ำตาลคล้ำดูคล้ายเม็ดทราย ขนาดเม็ดตะกอน(granule)โดยเฉลี่ยมีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งสามถัง ประมาณ 2 มม.,1.5 มม.,1.5 มม. ตามลำดับ ในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนนี้สีของชั้นตะกอนที่เคยมีสีน้ำตาลคล้ำดูคล้ายทรายนั้นเริ่มปรากฏว่ามีเม็ดสีดำและสีขาวแซมตลอดทั้งชั้นตะกอนนอน แต่ว่าเม็ดสีน้ำตาลคล้ำยังคงเป็นกลุ่มหลัก

ค) เดือนที่สามของการวิจัย (วันที่ 23 -53 ของการเก็บผลวิเคราะห์, 1 - 31 สิงหาคม 2538) อัตราการระสารอินทรีย์เท่าเดิม พบว่า

-ลักษณะชั้นตะกอนโดยทั่วไปยังเหมือนเดิม แต่เริ่มสังเกตเห็นปุ้ตะกอนขนาดเล็กๆที่ดูคล้ายเม็ดเกิดใหม่อยู่ตอนบนของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)

-การเรียงของชั้นตะกอนที่ด้านรอบถังยูเอสบีทั้งสามถังไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือทางด้านซ้ายของถังจะเห็นเม็ดตะกอน(granule)ในชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. แต่ระดับเดียวกันทางด้านขวากลับมีสภาพเป็นปุ้ตะกอนละเอียด คาดว่ามีสาเหตุมาจากการไหลที่ไม่สม่ำเสมอในหน้าตัดถังยูเอสบี ในสัปดาห์สุดท้ายของเดือนที่สามนี้ได้ดึงชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ออกถึงละประมาณ 2 ลิตร

ง) เดือนที่สี่ของการวิจัย (วันที่ 54 - 83 ของการเก็บผลวิเคราะห์, 1 - 30 กันยายน 2538) อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 6 กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน และเวลากักน้ำลดลงเหลือ 12 ชั่วโมง หลังจากปล่อยให้ถังที่ประมาณ 1 สัปดาห์ จึงปรับค่าอัตราการระสารอินทรีย์ขึ้นเป็นประมาณ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และเวลากักน้ำลดลงเหลือ 8 ชั่วโมง ในระยะปลายเดือนที่สี่นี้เริ่มเติมสารอาหารปริมาณน้อย(trace nutrient) ได้แก่ นิกเกิลและโคบอลต์ พบว่า

-เกิดชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)ที่ชัดเจน(ดูรูปที่ 5.2)ได้อุปกรณ์แยกสามสถานะ(GSS) ในระยะนี้ก๊าซมาก ชั้นตะกอนของทั้งสามถังยกตัวขึ้นบ่อบ่อยซึ่งคาดว่ามาจากการที่มีการเพิ่มอัตราการระสารอินทรีย์

-สัปดาห์ที่สามลักษณะของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ทั้งสีและการเรียงขนาดของเม็ดตะกอน(granule)กล่าวคือทั้งสามถังมีเม็ดสีขาวแซมมากขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณเม็ดสีขาวมากที่ก้นถังและค่อยๆลดลงตามความสูงของชั้นตะกอน พบว่าชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)มีขนาดเกือบเท่ากันตลอดความสูงของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มม.,3 มม.,3 มม. ตามลำดับ ขณะที่ชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)บริเวณบ่ได้ GSS มีลักษณะแน่นสีน้ำตาลอ่อนดูคล้ายขนมเค้กกาแฟเนื้อแน่น(ดูรูปที่ 5.2)



รูปที่ 5.2 แสดงชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)ที่ก่อตัวขึ้นได้อุปกรณ์แยกก๊าซ-ของแข็ง(GSS)จนมีลักษณะคล้ายเนื้อขนมเค้ก

-เมื่อมีการเติมนิกเกิลและโคบอลต์แยกตามชุดการทดลองดังตารางที่ 4.1 จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีชั้นตะกอนอย่างชัดเจนอีกครั้งหนึ่ง โดยสังเกตว่าถึงยูเอสบีที่ 1 ซึ่งเติมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์ และถึงยูเอสบีที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์มีสีคล้ำขึ้นอย่างรวดเร็วจนกลายเป็นสีดำคล้ำกับเทาทั้งชั้นตะกอนภายในหนึ่งสัปดาห์ของการเติมโลหะสำหรับถังที่ 1 และภายในสองสัปดาห์สำหรับถังที่ 3 ส่วนถังที่ 2 ที่เติมเพียงนิกเกิลสีชั้นตะกอนเหมือนเดิมและมีแนวโน้มว่าเมื่อตะกอนสีขาวจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

จ) เดือนที่ห้าของการวิจัย (วันที่ 84 - 114 ของการเก็บผลวิเคราะห์, 1 - 31 ตุลาคม 2538) ปรับค่าอัตราการสารอินทรีย์ขึ้นเป็นประมาณ 12 กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน และเวลากักน้ำลดลงเหลือ 6 ชั่วโมงพบว่า

-ในสัปดาห์ที่สองของเดือนนี้ ถึงยูเอสบีที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์ มีเมือกสีขาวปริมาณมากเกิดขึ้นที่ตอนล่างของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)จนทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สามารถไหลทะลุขึ้นมาได้ ทำให้ชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)มากกว่าครึ่งยกตัวลอยขึ้น สังเกตที่บริเวณก้นของชั้นตะกอนที่ถูกยกลอยขึ้นนั้นพบว่าเมือกสีขาวปนสีเหลืองซีดจำนวนมากเกาะอยู่ ทำให้การยกตัวของชั้นตะกอนครั้งนี้มีลักษณะแตกต่างจากครั้งก่อนๆ กล่าวคือที่เคยพบมานั้นการยกตัวของชั้นตะกอนในแต่ละถังยูเอสบีเป็นการยกตัวขึ้นในระยะเวลาสั้นๆและหลายตกกลับคืนลงมา แต่ครั้งนี้การยกตัวของชั้นตะกอนในถังยูเอสบีที่ 3 จะลอยค้างอยู่นาน จนบางครั้งชั้นตะกอนจะยกตัวลอยขึ้นเรื่อยๆจนเกือบไหลหลุดออกทางด้านบนของถัง จนต้องใช้ไม้คอกกระทุ้งให้ชั้นตะกอนตกคืนลงไป

-ในปลายของสัปดาห์ที่สองนี้ปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนหายไป แต่ยังคงเห็นเมือกสีเทาที่ตอนล่างของถังที่ 3 สัปดาห์ที่สามของเดือนเดียวกันปัญหาการยกตัวในลักษณะเดิมเกิดขึ้น

ในถังเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อเมือกสีขาวที่เกาะอยู่ตอนล่างของชั้นตะกอนถูกผลักจนแทรกทะลุจากชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) แล้วปัญหานี้ก็หายไปและไม่เกิดขึ้นอีกเลยตลอดการวิจัย

-ถังยูเอเอสบีไบที่ 2 ซึ่งเดิมเพียงนิกเกลิมเมือกสีขาวบางๆเกาะที่ตอนล่างและผนังด้านข้างของถังเช่นกันแต่ไม่มีปัญหาการยกตัวของชั้นตะกอนเหมือนในถังที่ 3(ดูรูปที่ 5.3)

-ชั้นปุ๋ยตะกอนในถังยูเอเอสบีไบที่ 1 และถังไบที่ 3 เริ่มเปลี่ยนแปลงกลายเป็นเม็ด(granule)ขนาดเล็กทั้งหมด ในขณะที่ปุ๋ยตะกอนในถังไบที่ 2 ยังมีลักษณะเป็นปุ๋ยละเอียดเหมือนเดิม

-ทั้งสามถังมีก๊าซปริมาณมากพุ่งขึ้นเป็นสายตลอดเวลากล้ายฟองโซดา เมื่อถอดGSS ออก แล้วมองจากน้ำด้านบนจะดูคล้ายน้ำเดือดพล่าน

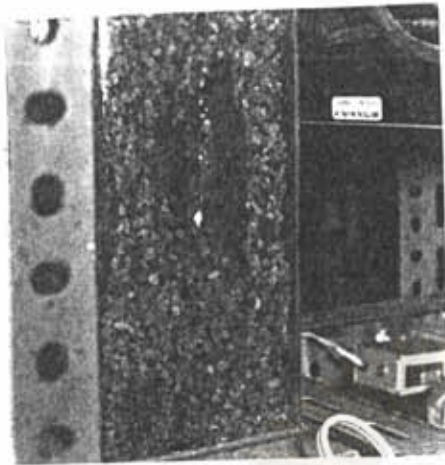
-ในคืนสัปดาห์สุดท้ายของเดือน สีของเม็ดในชั้นตะกอนนอนในถังยูเอเอสบีไบที่ 1 ,2 และ3 จะประกอบด้วยเม็ดสีดำ ,เม็ดสีขาวแซมด้วยเม็ดสีเทา ,เม็ดสีเทา ตามลำดับ และมีส่วนผ่านศูนย์กลางเม็ดตะกอน(granule)ประมาณ 1.5 , 3 , 3 มม. ตามลำดับ ในคืนสัปดาห์นี้ได้ดึงชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ออกประมาณถังละ 2 ลิตร

ข) เดือนที่หกของการวิจัย (วันที่ 115 - 144 ของการเก็บผลวิเคราะห์, 1 - 30 พฤศจิกายน 2538) อัตราการระเหยอินทรีย์และเวลากักน้ำเท่าเดิมพบว่า

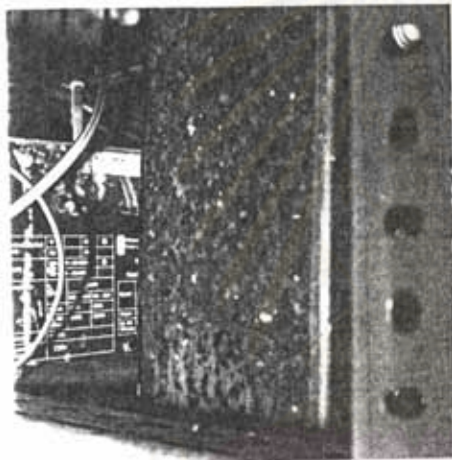
-สีของเม็ด(granule)ในชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ในสัปดาห์แรกของถังยูเอเอสบีไบที่ 1 , 2 และ 3 เป็นเม็ดสีดำ ,เม็ดสีขาวแซมด้วยเม็ดสีเทา ,เม็ดสีเทาปนเม็ดสีดำ ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดตะกอน(granule)ประมาณ 2 , 3 , 3 มม. ตามลำดับ ในสัปดาห์นี้ได้ทำการถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ออกอีกประมาณถังละ 2 ลิตร

-สีของเม็ดในชั้นตะกอนนอนของถังยูเอเอสบีไบที่ 1 , 2 , 3 ในสัปดาห์ที่สาม เป็นเม็ดสีขาว ,เม็ดสีขาวปนเม็ดสีเทา ,เม็ดสีดำปนเม็ดสีเทา ตามลำดับ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดตะกอน(granule)ประมาณ 3 , 3 , 3 มม. ตามลำดับ สัปดาห์ที่สามนี้ ได้ทำการถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ออกอีกประมาณถังละ 2 ลิตร โดยในครั้งนี้ได้ดึงชั้นตะกอนที่ประกอบด้วยเม็ดตะกอน(granule)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 มม.และเล็กกว่า จากตอนบนของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ออกเกือบหมด ปรากฏว่าวันถัดมาเกิดผลการเปลี่ยนแปลงในชั้นตะกอนของถังยูเอเอสบีทั้งสามอย่างชัดเจน กล่าวคือในถังไบที่ 1 ชั้นตะกอนมีเม็ดสีขาวแซมมากขึ้น ส่วนถังไบที่ 2 เม็ดตะกอน(granule)กลายเป็นสีขาวล้วนๆ ประสิทธิภาพของถังที่ 2 และ 3 ตกลงอย่างมาก หลังจากนั้นค่าพารามิเตอร์อื่นก็มีแนวโน้มแยกลงเรื่อยๆ ซึ่งทำให้น้ำออกของถังที่ 2 และโดยเฉพาะอย่างยิ่งถังไบที่ 3 มีกลิ่นเหม็นรุนแรง ขนาดเม็ดตะกอน(granule)เท่ากันเกือบตลอดความสูงของชั้นเท่ากับ 3 , 3.5 , 3.5 มม. ตามลำดับ(ดูรูปที่ 5.3)

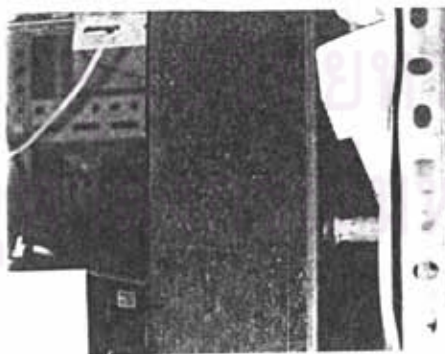
ข) เดือนที่เจ็ดของการวิจัย (วันที่ 145 - 175 ของการเก็บผลวิเคราะห์, 1 - 31 ธันวาคม 2538) อัตราการระเหยอินทรีย์ขึ้นจาก12 เป็น 15 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน และเวลากักน้ำ 6 ชั่วโมงพบว่า



ถังยูเอสบีถังที่ 1



ถังยูเอสบีถังที่ 2



ถังยูเอสบีถังที่ 3

รูปที่ 5.3 แสดงภาพถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ถังยูเอสบีแต่ละถังภายหลังจากการถ่ายตะกอนครั้งที่สอง

-สัปดาห์ที่สองของเดือนที่เจ็ด กลิ่นเหม็นของน้ำออกของถังที่ 2 และถังที่ 3 หายไป ขนาดของเม็ดตะกอน(granule)ในแต่ละถังยังเท่าเดิม สีของชั้นตะกอนเปลี่ยนไป กล่าวคือ ถังใบที่ 1 เริ่มปรากฏเม็ดสีดำมากขึ้น ถังใบที่สอง เม็ดตะกอน(granule)มีคละทั้งสีขาวและสีเหลืองปนน้ำตาลซีด ส่วนถังใบที่ 3 เม็ดตะกอน(granule)จะมีสีเทาปนเม็ดสีดำ สัปดาห์ถัดมา สีของเม็ดตะกอน(granule)ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงแต่ขนาดของเม็ดตะกอน(granule)เปลี่ยนเป็น 3 , 3.5 , 4.5 มม. ตามลำดับ

สมคะเน(2538)ได้รายงานว่าลักษณะตะกอนที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ว่าชั้นตะกอนส่วนใหญ่จะเป็นสีขาว เม็ดตะกอน(granule)เริ่มเสียดสภาพเม็ด เกาะตัวกันหลวมๆ น้ำออกมีกลิ่นเหม็น ซึ่งจะพบว่าสิ่งที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้คือเมื่อประสิทธิภาพของระบบไม่ดีชั้นตะกอนจะมีเม็ดสีขาวมาก

ฉ) เดือนที่แปดของการวิจัย (วันที่ 176 - 207 ของการเก็บผลวิเคราะห์ , 1 มกราคม - 2 กุมภาพันธ์ 2539) อัตราภาระสารอินทรีย์ขึ้นจาก 15 เป็น 18 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน และเวลากักน้ำ 6 ชั่วโมง พบว่า

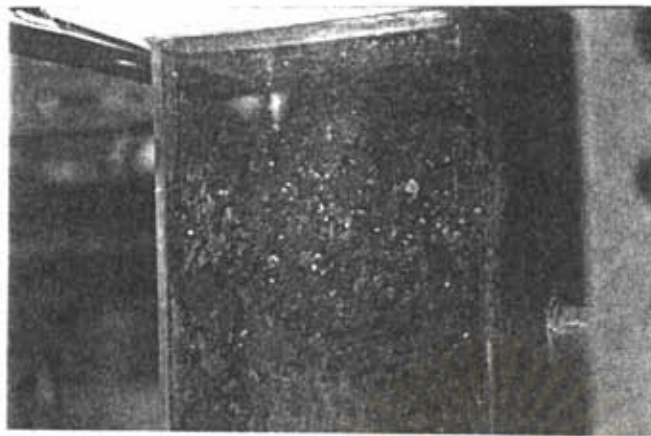
-สัปดาห์แรกของเดือนที่แปด ขนาดเม็ดตะกอน(granule)เพิ่มขึ้นเป็น 4 , 3.5 , 4.5 มม. ตามลำดับถึง สีเม็ดตะกอน(granule)ถึงที่ 1 เริ่มปรากฏ สีเทาเพิ่มขึ้นจนกลายเป็นกลุ่มหลักและโดยมีสีดำและขาวในปริมาณรองลงไป ในถังใบที่ 2 เม็ดตะกอน(granule)มีสีเหลืองซีดเป็นกลุ่มหลัก โดยที่มีส่วนสีขาวกับสีน้ำตาลในปริมาณรองลงไป ในถังที่ 3 ปริมาณเม็ดสีเทากับสีดำยังพอๆกัน และส่วนปุ๋ยตะกอนเหนือชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ของถังใบที่ 1 และ 3 กลายเป็นเม็ดขนาดเล็กทั้งหมด

-ระยะสุดท้ายของการวิจัยเม็ดตะกอน(granule)มีลักษณะทั่วไปไม่ต่างไปจากเดิมมากนัก กล่าวคือ เม็ดตะกอน(granule)จะมีขนาดเท่าๆกันตลอดทั้งชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) ขนาดประมาณ 4.5 , 3.5 , 4 มม. ตามลำดับ และ สีเม็ดตะกอน(granule) เทา/ดำ/ขาว , สีเหลืองซีด/ขาว/น้ำตาล , สีเทากับสีดำ ตามลำดับ(ดูรูปที่ 5.4)

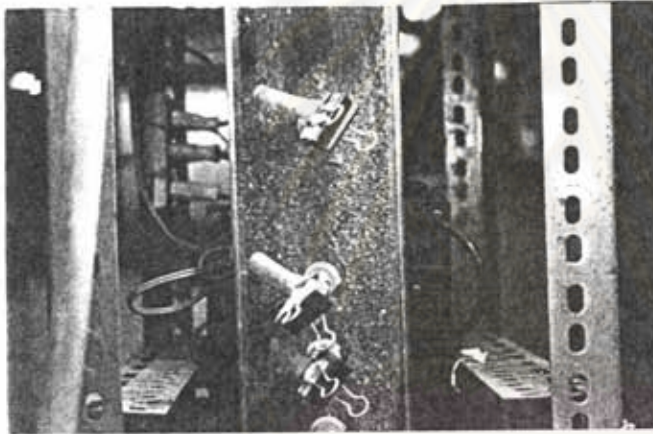
-ชั้นปุ๋ยตะกอนในถังใบที่ 1 และ 3 มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก ส่วนในถังใบที่ 2 จะมีลักษณะเป็นปุ๋ยละเอียด น้ำออกถังที่ 1 และ 2 มีกลิ่นเหม็นเล็กน้อย

ญ) นอกจากลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ในแต่ละเดือนยังมีลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ตลอดทุกระยะของการทำวิจัยดังนี้

-ความสูงหรือปริมาตรของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทุกครั้งที่มีการปรับเพิ่มอัตราภาระสารอินทรีย์ไม่ว่าจะ โดยการเพิ่มค่าซีโอดี หรืออัตราน้ำไหลเข้า เช่นใน ระยะปรับค่าอัตราภาระสารอินทรีย์จาก 3 เป็น 6 กก.ซีโอดี/ ลบ ม.-วัน พบว่าความสูงของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ที่สังเกตเห็น(observed height)ในทุกถังเพิ่มจากเดิมประมาณ 10 ซม.ภายในหนึ่งสัปดาห์และเกือบ 30 ซม.ภายในสองสัปดาห์



ถังชูเอสบีถังที่ 1



ถังชูเอสบีถังที่ 2



ถังชูเอสบีถังที่ 3

รูปที่ 5.4 แสดงภาพถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ถังชูเอสบีแต่ละถังที่อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

-ภายหลังการดึงชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) ก็พบว่าความสูงของชั้นตะกอนนอนที่สังเกตเห็นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน อย่างเช่นต้นเดือนพฤศจิกายน ได้ดึงชั้นตะกอนนอนจากทั้งสามถังประมาณถังละ 2 ลิตร (ประมาณ 20 ซม.ความสูง) ปรากฏว่าเพียง 2 สัปดาห์ต่อมาความสูงชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ก็เพิ่มขึ้นจนสูงเท่าเดิม

-ลักษณะของชั้นตะกอนที่ระดับความสูงต่างๆกันของถังยูเอสบี มีความแตกต่างกันชัดเจน นอกเหนือจากความหนาแน่นของชั้นตะกอนที่มีมากที่ก้นของถังและลดลงตามความสูง

-งานวิจัยนี้ใช้วิธี Dry ashing ในการเตรียมตัวอย่างตะกอนภายในถังเพื่อหาปริมาณโลหะที่สะสมในตะกอน พบว่าตะกอนที่นำมาจากถังยูเอสบีที่นำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 °ซ.ประมาณ 30 นาที หลังจากที่ถูกเผาเม็ดตะกอน(granule)จะยังคงรูปเม็ดตะกอน(granule)อยู่ เมื่อบีบเม็ดตะกอน(granule)นั้นพบว่าด้านนอกของเม็ด จะเป็นเปลือกแข็งส่วนด้านในจะเป็นขี้เถ้า สังเกตว่าลักษณะดังกล่าวจะปรากฏน้อยลงที่ระดับชั้นตะกอนที่สูงขึ้น โดยข้อสังเกตดังกล่าวเกิดภายหลังที่มีการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ไปเป็นเวลา 2 เดือน อีกทั้งพบว่าตะกอนที่อยู่ที่ชั้นล่างสุดของถังจะมีลักษณะเป็นตะกอนเหลวๆชั้นๆ สีขาว แต่มีส่วนตะกอนที่เป็นเม็ดปนอยู่บ้างเพียงส่วนน้อย ทั้งในอัตราภาวะสารอินทรีย์ประมาณ 12 และ 18 กก.ซีไอดี/ ลบ ม.-วัน

5.2.2 พิเศษ

ปริมาณสภาพต่างในงานวิจัยนี้มีการเดิมมากเกินพอเพื่อใช้ควบคุมค่าพีเอชภายในระบบให้ค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามค่าพีเอชที่วัดได้ตลอดงานวิจัยนี้ได้แสดงความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ดังข้อสังเกตว่าเมื่อใดก็ตามที่ค่าพีเอชลดลงแสดงว่าสมดุลของปฏิกิริยาการกำจัดกรดไขมันระเหยหรือซีไอดีภายในระบบมีการเปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของพีเอชน้ำออกของแต่ละถังยูเอสบีที่ค่าอัตราภาวะสารอินทรีย์ต่างๆมีข้อสังเกตว่าระยะอัตราภาวะสารอินทรีย์ประมาณ 3 - 9 กก.ซีไอดี/ ลบ ม.-วัน ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของทุกถังสูงถึงประมาณ 90-95 % และพบว่าระยะนั้นมีค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำออกมากกว่า 8.3

ระยะถัดมาเพิ่มอัตราภาวะสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 12 กก.ซีไอดี/ ลบ ม.-วัน และระยะเวลาที่กักน้ำลดลงเหลือ 6 ชั่วโมง ค่าพีเอชของน้ำออกจะมีค่าลดลงจากระยะก่อนหน้าอย่างชัดเจน ในระยะอัตราภาวะสารอินทรีย์นี้อาจแบ่งเหตุการณ์ได้เป็น 4 ระยะ ได้แก่

1) ระยะก่อนเข้าสู่ภาวะคงตัว

พบว่าตลอดเดือนแรกของการทดลองที่อัตราภาวะนี้ค่าพีเอชของน้ำออกของถังยูเอสบีซึ่งเดิมเพียงนิกเกิลนั้นมีค่าต่ำที่สุด ขณะที่ค่าพีเอชของน้ำออกของถังยูเอสบีโบที่เติมนิกเกิลและโคบอลต์มีค่าสูงที่สุด ($pH_{Na_2CO_3} > pH_{Co} > pH_{Ni}$) ค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำออกของทั้งสามถังในระยะนี้ เทียบกับระยะก่อน มีค่าลดลงเล็กน้อย 7.95 , 7.82 , 7.86 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำภายในถังยูเอสบีทั้ง

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำออกจากถังยูเอเอสบีทั้งสามถังและชุดควบคุม

อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลา กักน้ำ (ชั่วโมง)	พีเอชน้ำออก			
		ชุดควบคุม (ไม่เติม Ni&Co)	ถังที่ 1 (Ni&Co)	ถังที่ 2 (Ni)	ถังที่ 3 (Co)
3	24	8.32	8.48	8.38	8.32
6	12	7.77	8.47	8.47	8.47
9	8	-	8.35	8.34	8.28
12					
-ระยะก่อนเข้าสู่ภาวะคงตัว	6		7.95	7.82	7.86
-ระยะถ่ายเมื่อดตะกอนครั้งแรก	6		7.54	7.55	7.65
-ระยะถ่ายเมื่อดตะกอนครั้งต่อมา	6		7.46	7.49	7.49
-ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ	6	7.61	7.56	7.47	7.54
18	6	-	7.41	7.51	7.56

หมายเหตุ: ข้อมูลชุดควบคุมจากสมคะเน (2538)

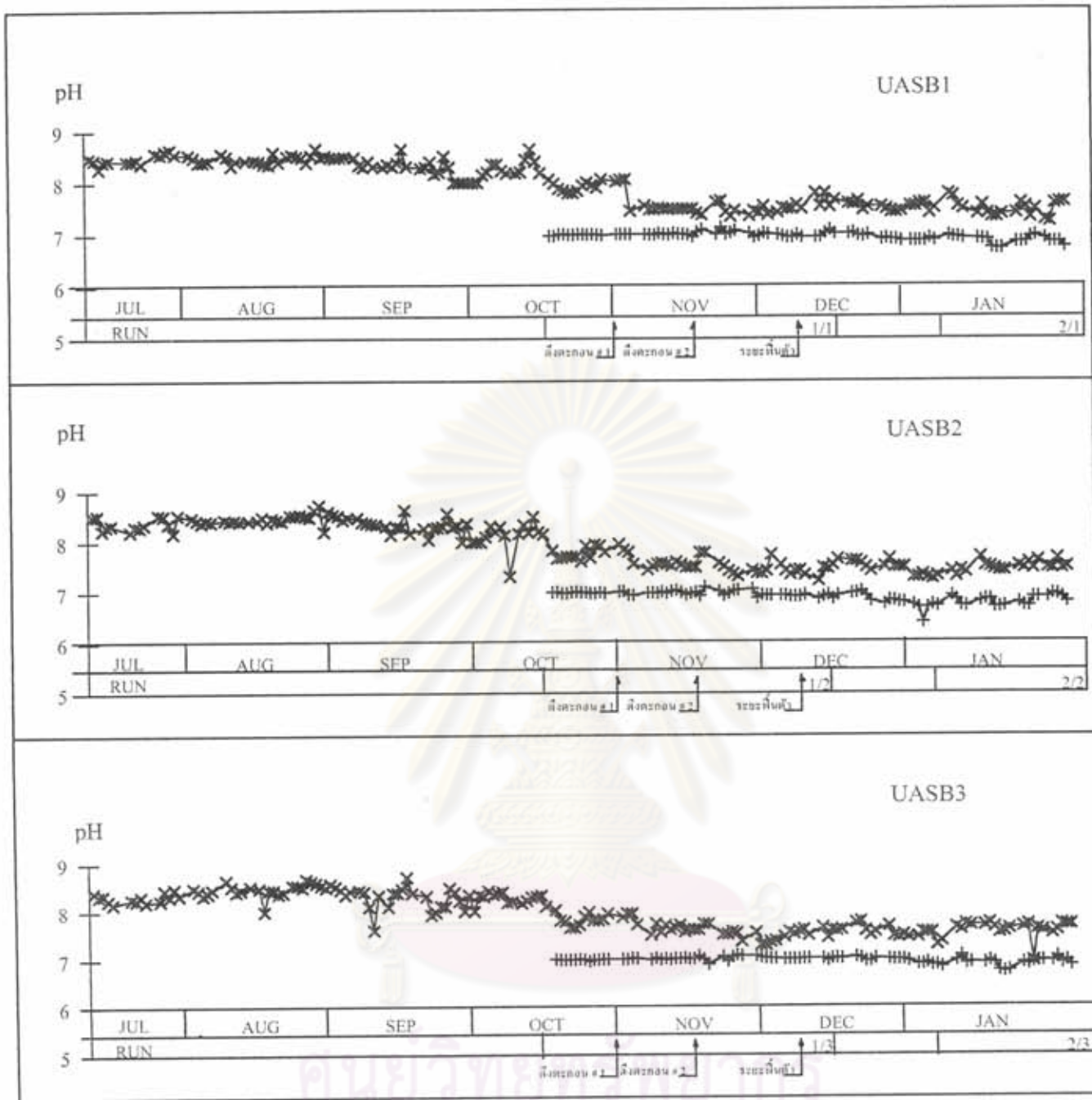
สามถังในระยะเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 7.00 , 7.00 , 6.99 ตามลำดับ ทั้งที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเกือบไม่ต่างกัน

2) ระยะหลังจากถ่ายเมื่อดตะกอนครั้งแรก

จากรูปที่ 5.5 จะพบว่าด้วยเงื่อนไขการวิจัยเดิม แต่ภายหลังจากการถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)จากทั้งสามถังละประมาณ 2 ลิตร ปรากฏว่าพีเอชน้ำออกในวันถัดมาลดลงทั้งสามถังเหลือประมาณ 7.54 , 7.55 , 7.65 ตามลำดับ ขณะที่พีเอชน้ำภายในถังยูเอเอสบีทั้งสามถังไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ในขณะที่สังเกตว่าค่าซี ไอดีน้ำออกไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าแม้ว่าสมดุลของปฏิกิริยาการกำจัดซีไอดีภายในชั้นตะกอนได้เปลี่ยนแปลงแต่ไม่กระทบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

3) ระยะหลังถ่ายชั้นตะกอนครั้งที่สอง

ในคืนสัปดาห์ที่สามของเดือนนี้ ได้มีการถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)จากทั้งสามถังอีกครั้งหนึ่งประมาณ 2 ลิตร พบว่าพีเอชน้ำออกมีค่าลดลงอีกเล็กน้อย ค่าเฉลี่ยในระยะสองสัปดาห์หลังถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ครั้งนี้ มีค่าเท่ากับ 7.46 , 7.49 , 7.49 ตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชน้ำภายในถังยูเอเอสบีทั้งสามถังในระยะเดียวกัน มีค่าประมาณ 7.0 โดยค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีในระยะดังกล่าวของทั้งสามถังมีค่าแตกต่างกันมากดังนี้ 90 % , 74 % , 74 % ตามลำดับ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.5 แสดงค่าพีเอชของน้ำภายในถังยูเอสบี(เหนือชั้นตะกอนนอน) (+) และของน้ำออก (x)

4) ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ

เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคงตัวอีกครั้ง ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระยะดังกล่าวของทั้งสามถังมีค่าแตกต่างกันมากดังนี้ 90 % , 60 % , 90 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะเดียวกันที่พบค่าพีเอชน้ำออกในแต่ละถังมีความแตกต่างที่ชัดเจน กล่าวคือค่าพีเอชของน้ำออกของถังยูเอเอสบีที่เดิมเพียงนิกเกิลนั้นจะมีค่าต่ำที่สุด ขณะที่พีเอชของถังยูเอเอสบีไบที่เดิมนิกเกิลและโคบอลต์จะมีค่าสูงที่สุด ($pH_{Ni\&Co} > pH_{Co} > pH_{Ni}$) ระยะเดียวกันนี้ยังปรากฏว่าค่าพีเอชน้ำภายในถังยูเอเอสบีที่ 1 และ ถังไบที่ 3 มีค่าประมาณ 7.0 ในขณะที่พีเอชของถังไบที่ 2 มีค่าต่ำกว่า

ค่าพีเอชน้ำทิ้งของชุดควบคุม(สมคะเน,2538)ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ ลบ ม.-วันจากตารางที่ 5.1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าพีเอชน้ำทิ้งในงานวิจัยนี้ แต่ค่าพีเอชภายในชั้นตะกอนของชุดควบคุม(สมคะเน,2538)มีค่าเท่ากับ 6.8 ในขณะที่ในงานวิจัยนี้มีค่าประมาณ 7

ในระยะสองเดือนสุดท้ายของการทดลองแม้จะปรับค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ขึ้นเป็น 15 และ 18 กก.ซีโอดี/ ลบ ม.-วัน แต่ค่าเฉลี่ยพีเอชน้ำออกแทบไม่ลดลงเลย ในขณะที่พีเอชของน้ำภายในถังยูเอเอสบีที่ระดับเหนือชั้นตะกอนนอนมีค่าลดลงเหลือ 6.88 , 6.78 , 6.90 ตามลำดับถึง

ในช่วงท้ายของอัตราภาระสารอินทรีย์นี้แม้จะมีการเติมสารอาหารปริมาณน้อย(trace nutrient) ได้แก่ นิกเกิลและโคบอลต์ แต่ก็ไม่ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง

5.2.3 กรดไขมันระเหยและสภาพต่าง

5.2.3.1 กรดไขมันระเหย

จากรูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการย่อยสลายของน้ำตาลูกสุโตสกลายเป็นกรดไขมันระเหยตัวต่าง ๆ เช่น กรดไพรฟีนอนิก กรดบิวทิริก จนถึงกรดอะซิติก และกลายเป็นมีเทนในที่สุด ปฏิกิริยาการสร้างกรด (acidogenesis) มีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการสร้างมีเทน (methanogenesis) ในแบบเกื้อกูลกัน ดังที่อ้างไว้ในหัวข้อ 3.3 ปริมาณของกรดไขมันระเหยแต่ละชนิดบ่งบอกถึงดุลยภาพของปฏิกิริยาทั้งสองชุด กล่าวคือ หากปฏิกิริยาการสร้างมีเทน (methanogenesis) ไม่สามารถเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนได้ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่สะสมจะไปขัดขวางปฏิกิริยาการสร้างกรด (acidogenesis) ที่จะเปลี่ยนกรดบิวทิริก หรือกรดไพรฟีนอนิก ให้กลายเป็นกรดอะซิติก และอย่างที่ทราบ ปริมาณกรดไขมันระเหยทั้งสองจะสะสมตัวจนทำให้ค่าพีเอชของน้ำนั้นลดต่ำลงจะทำให้จุลชีพที่สร้างมีเทน (methanogen) ไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ และหากกรดไขมันระเหยยังสะสมต่อไปค่าพีเอชจะลดต่ำลงจนแม้แต่จุลชีพสร้างกรดก็ไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้

งานวิจัยนี้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพด่าง (alkalinity) ในน้ำเข้าและควบคุมพีเอชของน้ำให้มีค่าประมาณ 7 ทำให้จุลชีพสร้างมีเทนสามารถทำงานได้ดี แม้จะมีกรดไขมันระเหยสะสมตัวอยู่ โดยสัดส่วนของปริมาณกรดโวลาทิลด์ทั้งหมด (มก./ล. ในรูป CH_3COOH) ต่อสภาพด่างไบคาร์บอเนต (มก./ล. ในรูป CaCO_3) จะรักษาไว้ในช่วง 0.4-0.8 กล่าวคือหากค่าสัดส่วนมีค่าน้อยกว่า 0.4 แสดงว่ามีสภาพด่างสูง แต่หากมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่ามีสภาพด่างต่ำ ซึ่งระบบจะอยู่ในระยะเสี่ยงต่อการเสียคุณภาพของปฏิกิริยาหลักสองชุด

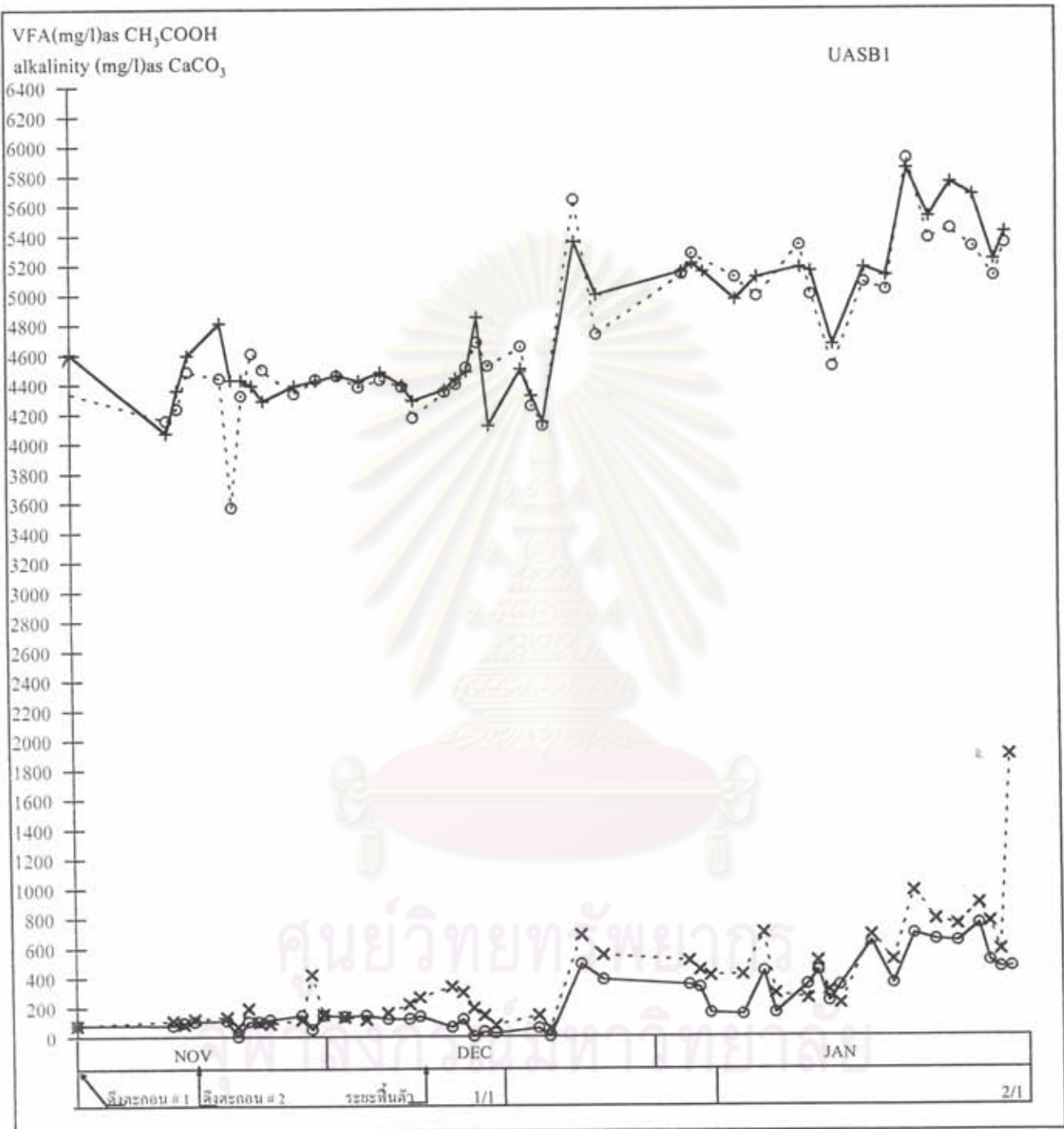
จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ประมาณ 3 ถึง 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณกรดไขมันระเหยมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างมีค่าไม่เกิน 0.4 ซึ่งที่ระยะดังกล่าวประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีสูงประมาณ 90%

ในระยะท้ายของอัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ได้เติมนิกเกิลและโคบอลต์ตามชุดการทดลองปรากฏว่าปริมาณกรดไขมันระเหยไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงใดๆ

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยของน้ำออกและน้ำภายในถังยูเอเอสบี (เหนือชั้นตะกอนนอน)

ระยะ	อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีไอดี) ลบ.ม.-วัน	VFA ในเหนือชั้นตะกอนนอน (มก./ล. as CH_3COOH)				VFA ในน้ำออก (มก./ล. as CH_3COOH)			
		ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
1. ระยะก่อนเข้าสู่ชุดทดลอง									
1.1 ก่อนเติมโลหะ	6	322	105	131	114	271	111	102	149
1.2 หลังเติมโลหะ	9	-	139	154	175	-	134	147	170
2. ชุดการทดลองที่ 1									
-ระยะเริ่มต้น	12	-	83	114	106	-	65	88	80
-ระยะหลังตั้งตะกอนครั้งแรก	12	-	71	132	126	-	61	68	98
-ระยะหลังตั้งตะกอนครั้งที่สอง	12	-	143	506	424	-	94	522	470
-ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ	12	2198	194	731	314	2057	88	606	218
3. ชุดทดลองที่ 2									
-ระยะแรก	18	-	463	670	448	-	262	540	336
-ระยะที่สอง	18	-	704	978	575	-	501	831	387

หมายเหตุ : ข้อมูลชุดควบคุมจากสมณะเน (2538)



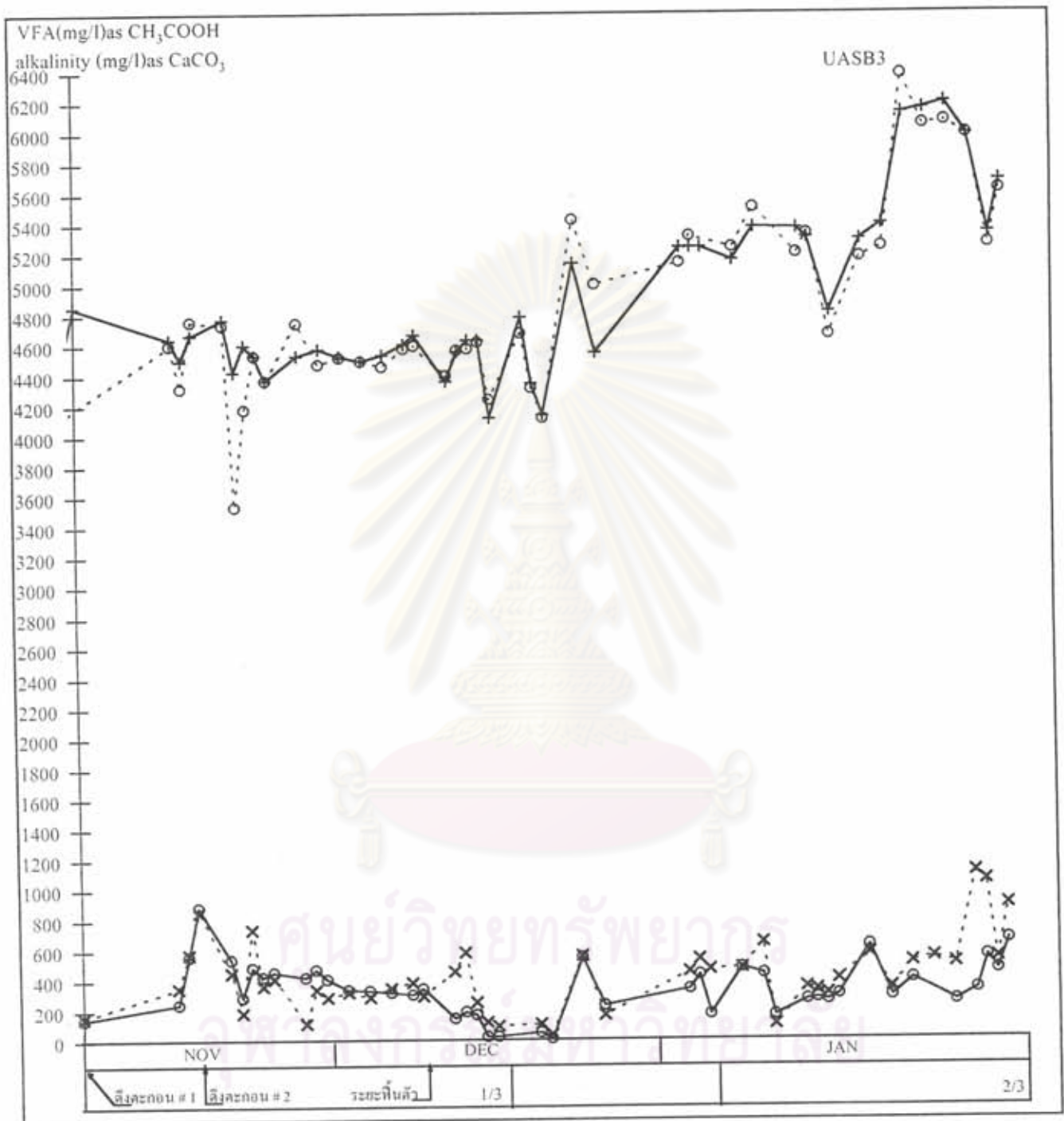
รูปที่ 5.6 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างภายในถังยูเอสบี(เหนือชั้นตะกอนนอน) และในน้ำออกของถังยูเอสบีดังที่

(-○-) กรดไขมันระเหยภายในถัง

(+) กรดไขมันระเหยในน้ำออก

(-x-) สภาพต่างภายในถัง

(-○-) สภาพต่างในน้ำออก



รูปที่ 5.8 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพต่างภายในถังยูเอสบี(เหนือชั้นตะกอนนอน) และในน้ำออกของถังยูเอสบีถึงที่ 3

- | | | | |
|-----------|-----------------------|---------|-----------------------|
| (- o -) | กรดไขมันระเหยภายในถัง | (+ -) | กรดไขมันระเหยในน้ำออก |
| (- x -) | สภาพต่างภายในถัง | (- o) | สภาพต่างในน้ำออก |

ในชุดการทดลองที่ 1 อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เหตุการณ์แบ่งได้ 4 ระยะ

1) ระยะเริ่มต้น (15 ตุลาคม - 31 ตุลาคม 2538) ดังตารางที่ 5.2 ในระยะดังกล่าวกรดไขมันระเหยมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปกรดอะซิติกในทั้งสามถัง โดยในระยะดังกล่าวเดิมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์ตามชุดการทดลอง ปรากฏว่าถังที่ 1 ซึ่งเดิมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์ จะมีปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกเฉลี่ยเท่ากับ 65 มิลลิกรัม/ลิตรในรูปกรดอะซิติก ซึ่งต่ำกว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในน้ำออกของถังที่ 2 ที่เดิมเพียงนิกเกิล และถังที่ 3 ที่เดิมโคบอลต์ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88 และ 80 มิลลิกรัม/ลิตรในรูปกรดอะซิติก แนวโน้มที่ $VFA_{Ni\&Co} < VFA_{Co} < VFA_{Ni}$ เป็นข้อยืนยันอิทธิพลของชนิดโลหะต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี

2) ระยะหลังตั้งตะกอนครั้งแรก (1 พฤศจิกายน - 15 พฤศจิกายน 2538) เนื่องจากตะกอนในแต่ละถังมีปริมาณมากจนแน่นภายในถัง จึงได้ทำการถ่ายตะกอนของแต่ละถังออกถังละ 1 ลิตร ปรากฏว่าปริมาณกรดไขมันระเหยเริ่มมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ $VFA_{Ni\&Co} < VFA_{Ni} < VFA_{Co}$ ซึ่งเป็นสัญญาณบอกว่าคุณภาพในถังที่ 3 ที่เดิมโคบอลต์เปลี่ยนแปลง ขณะที่ถังที่ 2 ถังที่เดิมนิกเกิลมีประสิทธิภาพดีขึ้นมาจากการกระจายของน้ำ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพโดยรวมดีและอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบยังมีความปลอดภัย

3) ระยะหลังตั้งตะกอนครั้งที่สอง (15 พฤศจิกายน - 30 พฤศจิกายน 2538) ในกลางเดือนพฤศจิกายนได้ทำการตั้งตะกอนออกอีกเป็นครั้งที่สอง ประมาณ 2 ลิตร แต่ตะกอนดังกล่าวเป็นตะกอนชั้นบนทั้งหมด ปรากฏว่าปริมาณกรดไขมันระเหยในทุกถังเพิ่มขึ้นทันทีในถังที่ 2 และถังที่ 3 มีค่าเฉลี่ยประมาณ 522 และ 470 มิลลิกรัม/ลิตรในรูปกรดอะซิติก ส่วนในถังที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ประมาณ 94 มิลลิกรัม/ลิตรในรูปกรดอะซิติก ในช่วงท้ายของระยะนี้ปริมาณกรดไขมันระเหยของถังที่ 1 และถังที่ 3 จะค่อยลดลง

4) ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ (1 ธันวาคม - 15 ธันวาคม 2538) หลังจากเดินระบบต่อไปด้วยเงื่อนไขเดิม ปรากฏว่า ปริมาณกรดไขมันระเหยในถังที่ 3 เริ่มลดลงอย่างรวดเร็วพร้อม ๆ กับประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้น ส่วนถังที่ 2 ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยมีค่าใกล้เคียงค่าเดิมประมาณ 606 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก

จากตารางที่ 5.2 กรดไขมันระเหยในชุดควบคุม(สมคะเน,2538) ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.มีค่าสูงถึง 2057 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก สูงกว่าถังที่ เดิมนิกเกิลที่มีกรดไขมันระเหยเฉลี่ยเท่ากับ 606 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก ซึ่งอาจจะบ่งชี้ว่านิกเกิลช่วยกระตุ้นการทำงานของยูเอเอสบีเช่นกัน

ในชุดการทดลองที่ 2 ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ประมาณ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถแบ่งออกได้ 2 ระยะ

1) ระยะเริ่มต้น ในระยะนี้ปริมาณกรดไขมันระเหย $VFA_{Ni\&Co} < VFA_{Co} < VFA_{Ni}$ เช่นเดิม แต่ในถังที่ 3 มีการปรับตัวเข้ากับการเพิ่มของอัตราภาระสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าถังที่ 1 ส่วนถังที่ 2 นั้นระบบค่อนข้างคงที่ ทำให้เปอร์เซ็นต์การกำจัดกรดไขมันระเหยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตามก็มีค่าสูงกว่าในถังถึง

2) ระยะที่สอง ในระยะนี้ประสิทธิภาพของระบบทั้งสามถังต่ำลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่า 501, 831, 387 มก/ล. ในรูปกรดอะซิติกตามลำดับถัง โดยมีค่าแนวโน้มปริมาณกรดไขมันระเหยดังนี้ $VFA_{Co} < VFA_{Ni\&Co} < VFA_{Ni}$ ประสิทธิภาพโดยรวมกำลังลดต่ำลงอย่างมากจนไม่อาจรักษาคุณภาพของระบบไว้ได้

5.2.3.2 สภาพด่าง (alkalinity)

ในงานวิจัยนี้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เพื่อเพิ่มสภาพด่างในน้ำเข้า และช่วยรักษาพีเอชภายในระบบให้ค่อนข้างคงที่ ปริมาณไบคาร์บอเนตที่เติมเท่ากับ 5.08 และ 6.17 กรัม/ลิตร ตามลำดับชุดการทดลอง จากตารางที่ 5.3 แสดงว่าตลอดงานวิจัยนี้สัดส่วนของกรดไขมันระเหยกับสภาพด่างไม่ปรากฏว่าระยะใดจะมีค่าสูงกว่า 0.8 อย่างไรก็ตามระบบยูเอสบีนั้นเม็ดตะกอน (granule) ซึ่งจุลชีพรวมตัวกันในแต่ละเม็ดจะมีนิเวศวิทยาภายในที่แตกต่างจากสภาพภายนอก จึงเป็นการยากที่จะระบุว่าสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างที่แท้จริงจะมีค่าเท่าใด

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ยของสภาพด่างและสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างไบคาร์บอเนตของน้ำภายในถังยูเอสบีที่เหนือชั้นตะกอนนอน (Sludge Bed) และน้ำออก

ชุดการทดลอง	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี) / ลบ.ม.-วัน	สภาพด่างภายในถัง (มก./ล. ในรูป $CaCO_3$)	VFA ALK. ภายในถัง	สภาพด่างน้ำออก (มก./ล. as $CaCO_3$)	VFA ALK. น้ำออก
- ชุดควบคุม	12	4284	0.51	4378	0.47
1.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	12	4426	0.044	4429	0.02
1.2 เติมนิกเกิล	12	4426	0.17	4442	0.14
1.3 เติมโคบอลต์	12	4506	0.07	4515	0.05
2.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	18	5225	0.135	5342	0.094
2.2 เติมนิกเกิล	18	5260	0.186	5392	0.154
2.3 เติมโคบอลต์	18	5544	0.104	5606	0.069

หมายเหตุ : ข้อมูลชุดควบคุมจากสมณะเน (2538)

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 พบว่าสภาพต่างภายในถังและของน้ำออกของทุกลังรวมทั้งชุดควบคุมในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนของชุดการทดลองที่ 2 สภาพต่างของถังที่ 3 จะมีค่าสูงกว่าอีกสองถัง ซึ่งคาดว่าเนื่องมาจากปริมาณสะสมของกรดไขมันระเหยต่ำกว่า

จะเห็นว่าสัดส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างในชุดควบคุมจะมีค่าสูงกว่าถังอื่นที่เดิมไอออนโลหะอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกรดไขมันระเหยในชุดควบคุมมีค่าสูงมาก แต่ค่าสัดส่วนนี้ของชุดควบคุมมีค่าต่ำกว่า 0.8 แสดงว่ามีสภาพต่างพอเพียง

5.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ความสามารถในการกำจัดซีโอดีของแต่ละชุดการทดลองหากเปรียบเทียบกับชุดควบคุมจะสะท้อนให้เห็นว่า นิกเกิลและโคบอลต์มีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน อย่างไรก็ตาม ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีน้ำออกรวมทั้งเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีในแต่ละอัตราการระเหยอินทรีย์ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนเข้าสู่ชุดการทดลอง, ระยะชุดการทดลองที่ 1, ระยะชุดการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.9 ถึง 5.14 พบว่าที่อัตราการระเหยอินทรีย์ประมาณ 3-9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แม้ว่ายังไม่ได้เติมนิกเกิลและโคบอลต์ในน้ำเข้าแต่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าสูง 90-95% ในระยะท้ายของอัตราการระเหยเท่ากับ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เริ่มเติมนิกเกิลและโคบอลต์ ปรากฏว่าค่าซีโอดีของน้ำออกมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย สมคะเน(2538)ได้รายงานไว้ที่การระเหยอินทรีย์ประมาณ 3-6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีประสิทธิภาพ 90-95% ในขณะที่การระเหยอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชุดควบคุม(สมคะเน,2538)ซึ่งไม่ได้เติมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเพียง 29.5 % ซึ่งต่ำกว่าทุกลังในการวิจัยนี้

ในชุดการทดลองที่ 1 ที่อัตราการระเหยอินทรีย์ประมาณ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สามารถแบ่งเหตุการณ์ได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

- 1) ระยะเริ่มเข้าอัตราการระเหยอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีค่าประมาณ 95% มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยมาอยู่ที่ประมาณ 85-90% ในทุกลัง
- 2) ระยะหลังถ่ายตะกอนครั้งแรก ในระยะที่เพิ่มอัตราการระเหยอินทรีย์เป็น 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ปรากฏว่าปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้ถ่ายตะกอนออกถึงประมาณ 1 ลิตร ปรากฏว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นจากประมาณ 85% เป็น 90% ซึ่งน่าจะมาจากปริมาณตะกอนที่มีมากเกินไป จนไปอุดตันในถังยูเอเอสบีทำให้เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำและก๊าซ ดังนั้นเมื่อถ่ายตะกอนออกบ้างจึงเอื้อต่อการไหลของน้ำและก๊าซทำให้ชั้นตะกอนขยายตัวดีขึ้นช่วยให้น้ำกระจายตัวได้ทั่วถึงขึ้น

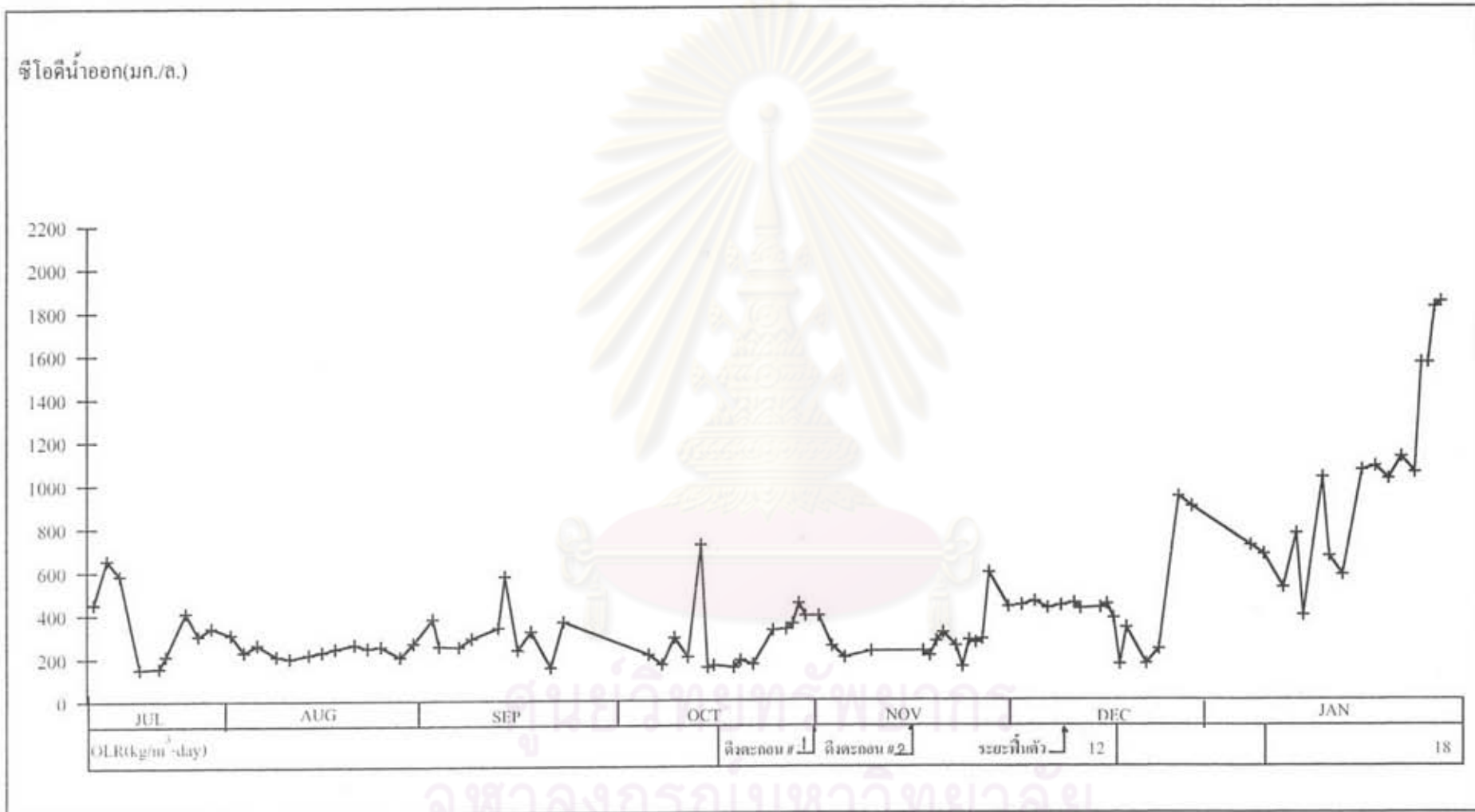
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าเฉลี่ยของซีโอดีน้ำออกและซีโอดีกรองของน้ำเหนือชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) ในแต่ละระยะ

ระยะ	อัตราการระ สารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี) ลบ.ม.-วัน	% กำจัดซีโอดี			ซีโอดีน้ำออก (มก./ล.)				
		ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
1. ระยะก่อนเข้าสู่ชุดการทดลอง									
1.1 ก่อนเติมโลหะ	9	-	90	89	88	-	308	342	397
1.2 หลังเติมโลหะ	9	-	90	90	90	-	241	322	341
2. ชุดการทดลองที่ 1									
- ระยะเริ่มต้น	12		95	90	92		355	341	335
- ระยะหลังดึงตะกอนครั้งแรก	12		93	90	91		218	317	280
- ระยะหลังดึงตะกอนครั้งที่สอง	12		90	74	74		318	800	823
- ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ	12	29.5	90	60	90	2139	335	833	385
3. ชุดการทดลองที่ 2									
- ระยะแรก	18	-	85	67.5	80	-	668	1461	926
- ระยะสอง	18	-	62	60	80	-	1692	1789	943

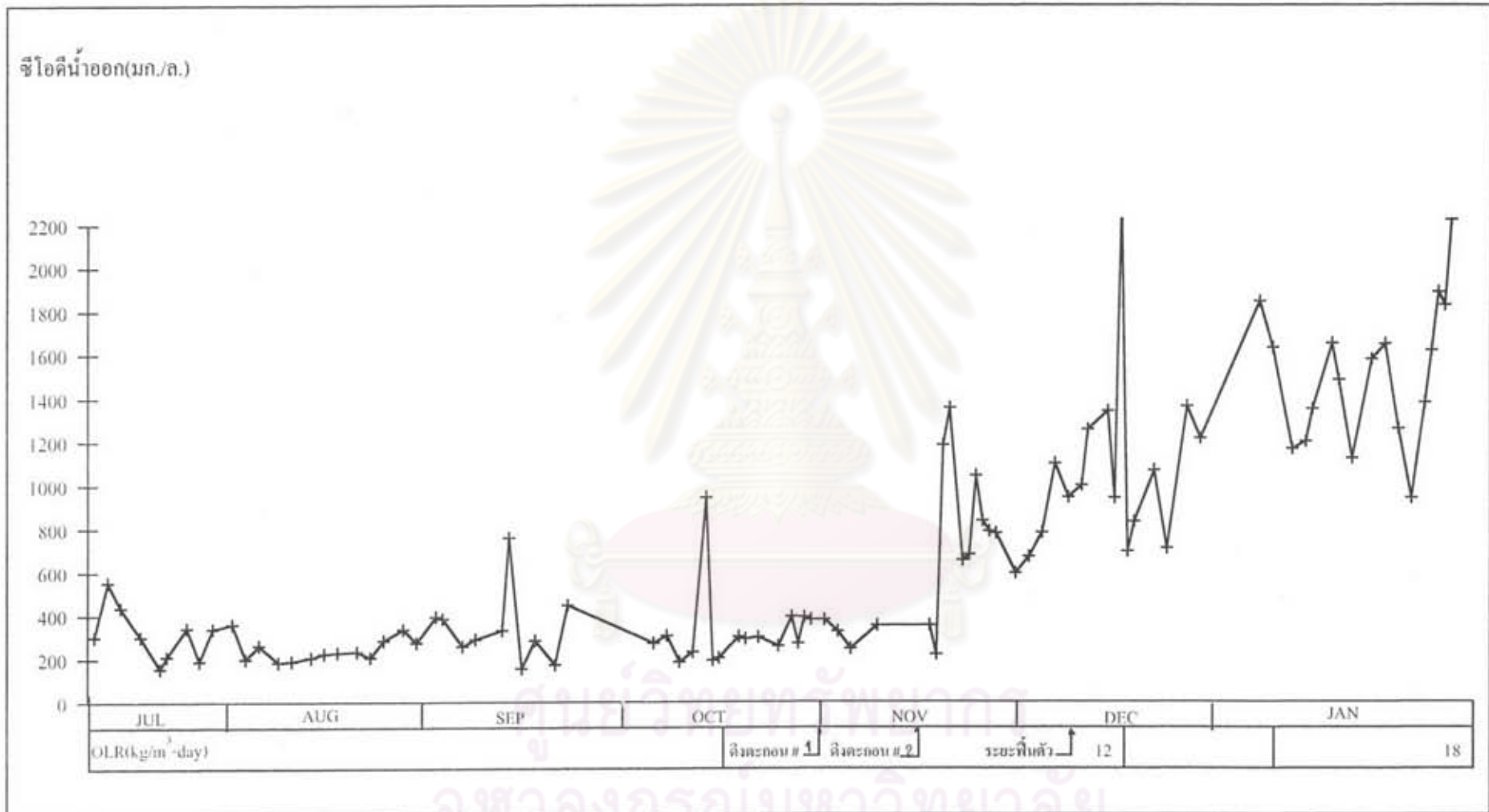
หมายเหตุ : ชุดควบคุมจากสมคะเน(2538)

3) ระยะถ่ายตะกอนครั้งที่สอง เนื่องจากคาดว่า การถ่ายตะกอนออกบางส่วนในครั้งแรกมีส่วนทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงขึ้น ดังนั้นหลังจากการถ่ายตะกอนครั้งแรก 2 สัปดาห์ จึงมีการถ่ายตะกอนออกอีกครั้ง โดยในครั้งนี้อถ่ายตะกอนออกถึงประมาณ 2 ลิตรต่อถัง แต่ตะกอนที่ถ่ายออกมาครั้งนี้ถ่ายจากตะกอนชั้นบนทั้งหมด ปรากฏว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและปริมาณก๊าซออกในถังที่ 2 ที่เดิมเพียงนิกเกิด และถังที่ 3 ที่เดิมเพียงโคบอลต์ ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเหลือ 58% และ 66% ตามลำดับ ในขณะที่ถังที่ 1 ซึ่งเดิมทั้งนิกเกิดและโคบอลต์เกือบไม่ได้รับผลกระทบใดเลยในระยะเดียวกัน

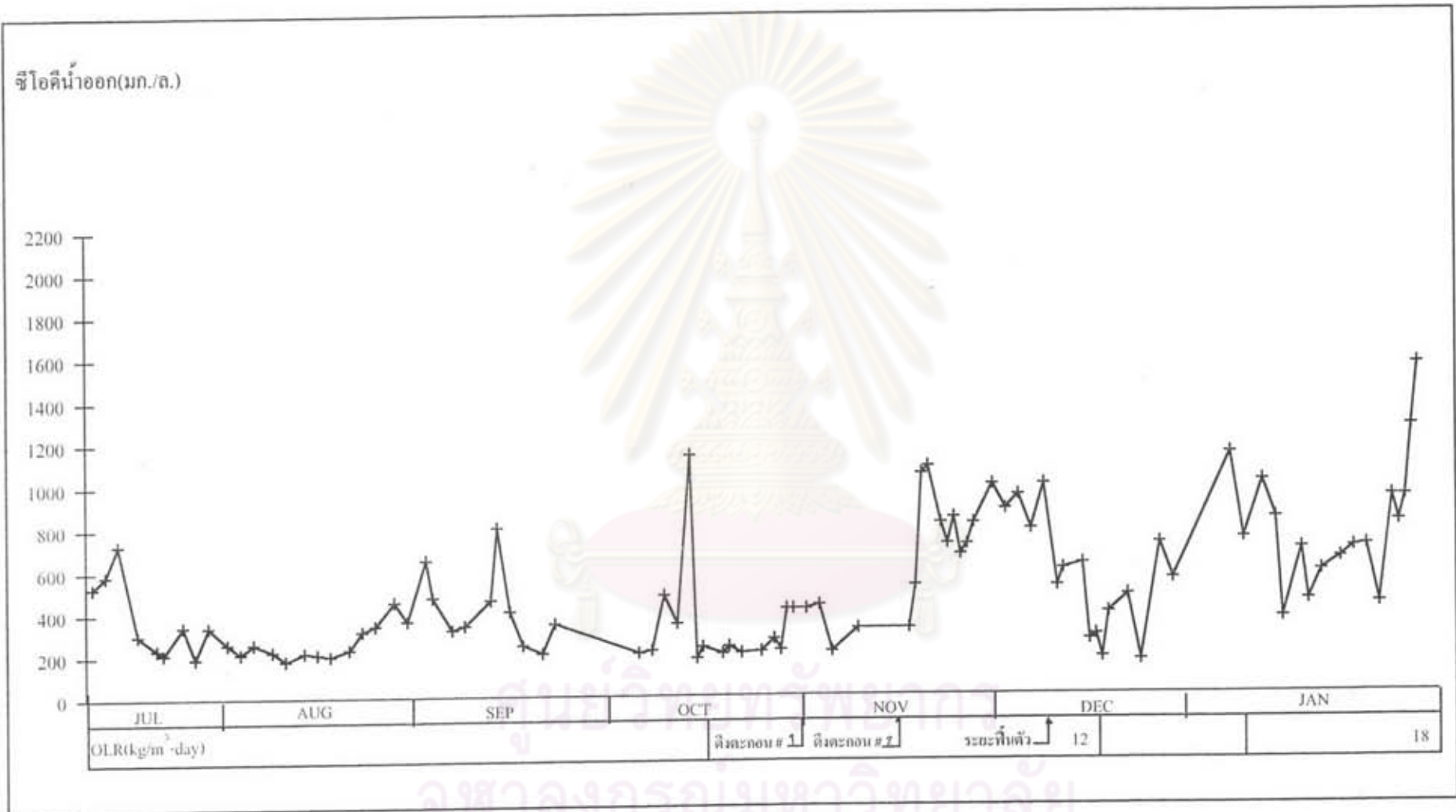
หลังจากที่ได้เติมตะกอนนั้นกลับเข้าไปในถังที่ 2 และถังที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 73% และ 82% ตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าตะกอนส่วนบนของแต่ละถังมีความสามารถ



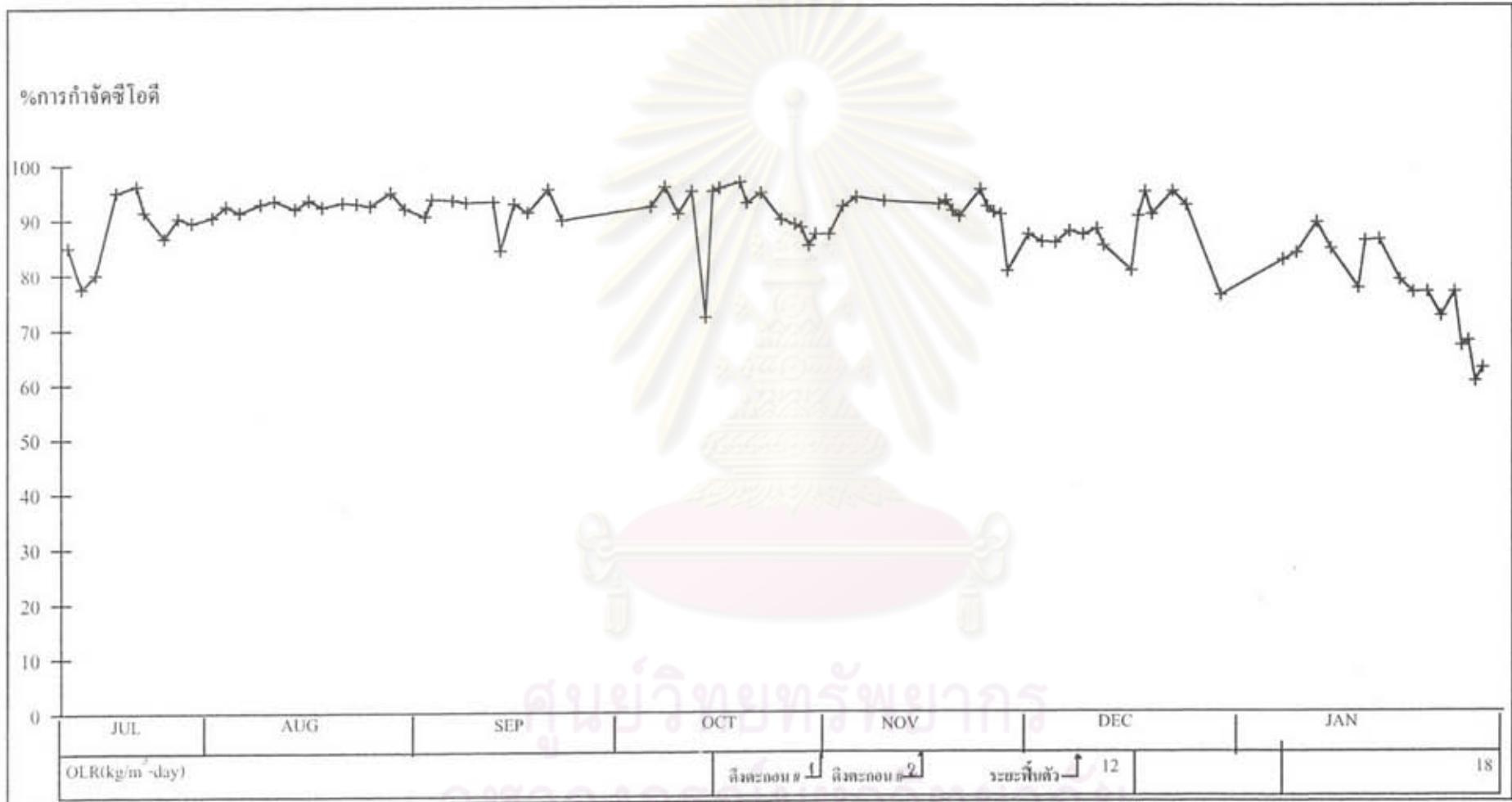
รูปที่ 5.9 แสดงปริมาณชีโอดีของน้ำออกจากถังยูเอสบีถังที่ 1



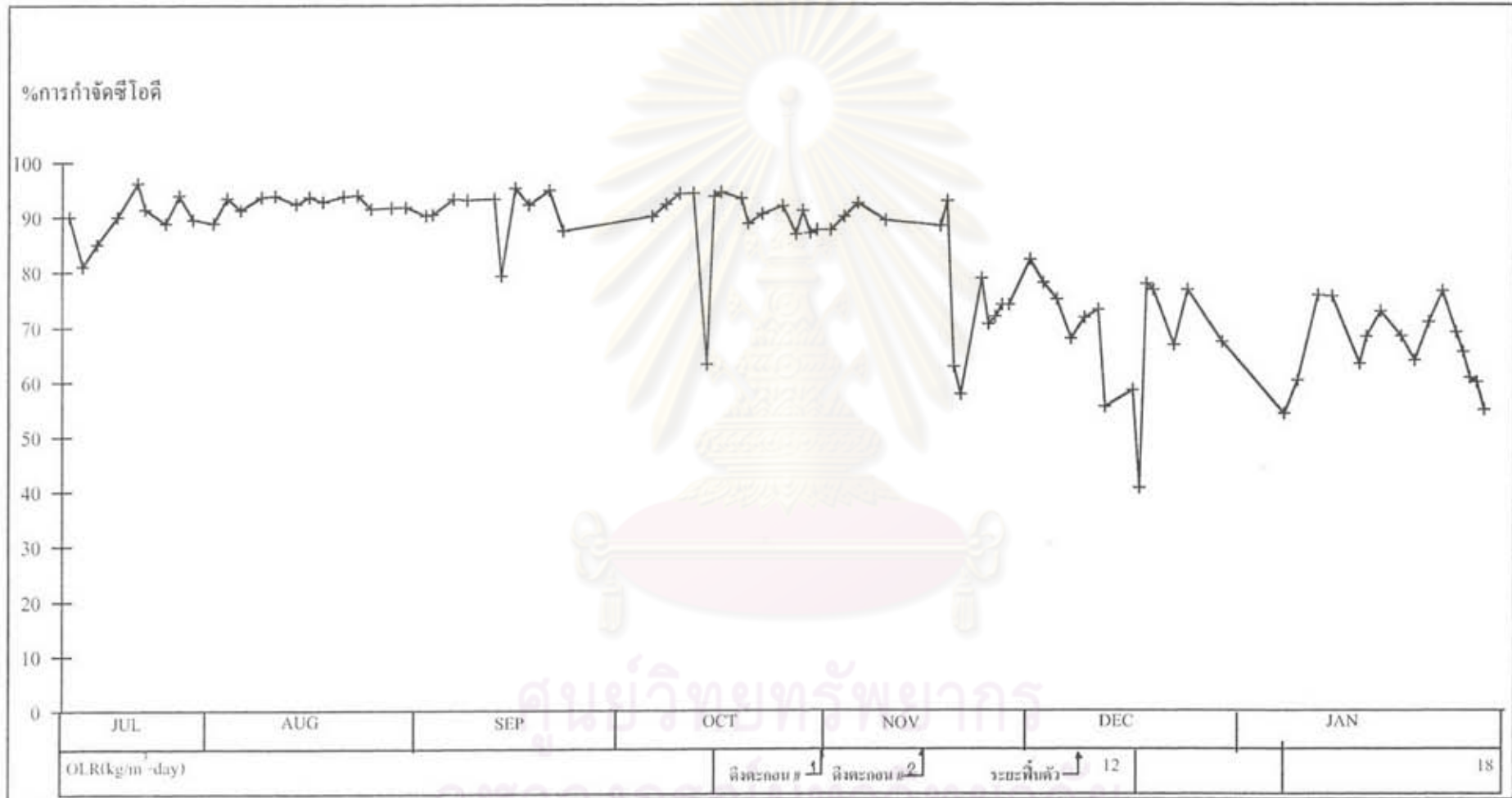
รูปที่ 5.10 แสดงปริมาณซีไอได้น้ำออกของน้ำออกจากถังยูเอสบีถึงที่ 2



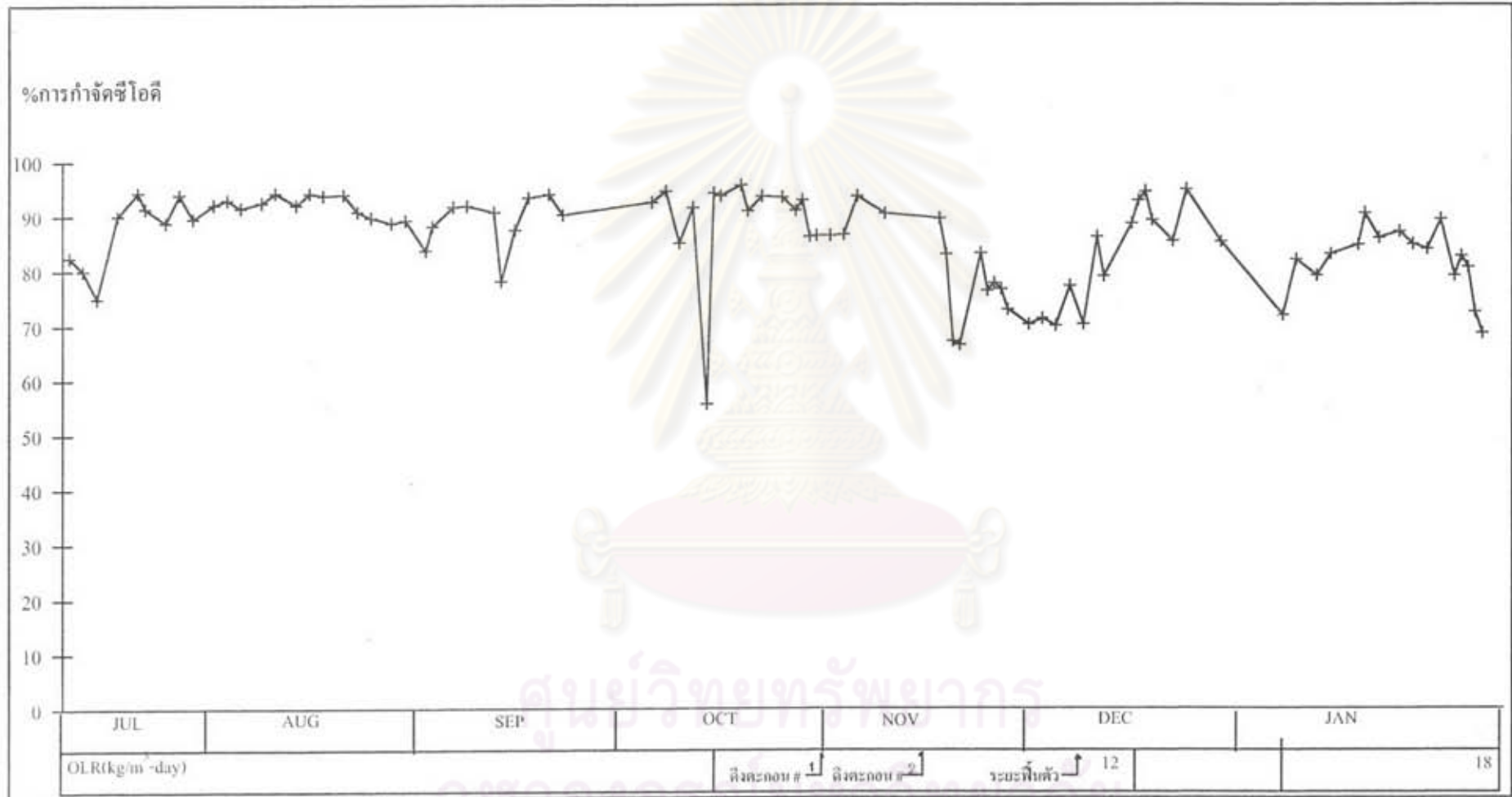
รูปที่ 5.11 แสดงปริมาณชีโอดีของน้ำออกจากถังยูเอเอสบีถังที่ 3



รูปที่ 5.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดชีไอติของน้ำออกจากถังบูเอเอสบีถึงที่ 1



รูปที่ 5.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของน้ำออกจากถังยูเอสบีถึงที่ 2



รูปที่ 5.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีไอทีของน้ำออกจากถังยูเอสบีถึงที่ 3

การกำจัดซีโอดีที่สูงกว่าตะกอนส่วนล่าง ในขณะที่ถังที่ 1 ที่เดิมไม่ได้รับผลกระทบมากนักจากการถ่ายตะกอนก็เริ่มมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำออกลดลงเล็กน้อยเหลือประมาณ 85% อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำออกกรองมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 90%

4) ระยะฟื้นฟูประสิทธิภาพ หลังจากประสิทธิภาพลดลงดังที่กล่าวในหัวข้อที่แล้ว ปรากฏว่าประสิทธิภาพของถังที่ 2 ที่เดิมเพียงนิกเกิลยังคงมีค่าประมาณ 60% ในขณะที่ถังที่ 3 ที่เดิมเพียงโคบอลต์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับประมาณ 90% และในถังที่ 1 ที่เดิมโลหะทั้งสองอย่างยังคงมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีค่อนข้างคงที่ประมาณ 90%

ในชุดการทดลองที่ 2 ที่อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน อาจแบ่งเหตุการณ์ได้ 2 ระยะ

1) ระยะแรก ในระยะเริ่มเข้าสู่อัตราการระเหยอินทรีย์ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังที่ 1 ที่เดิมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์กับถังที่ 3 ที่เดิมเพียงโคบอลต์มีค่าประมาณ 85 % และ 80 % ส่วนถังที่ 2 ที่เดิมเพียงนิกเกิลจะมีประสิทธิภาพประมาณ 70% แต่มีเพียงถังที่ 3 เท่านั้นที่ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ค่อนข้างคงที่ ส่วนถังที่ 1 มีค่าลดลงเรื่อย ๆ ขณะที่ถังที่ 2 มีค่าแปรปรวน

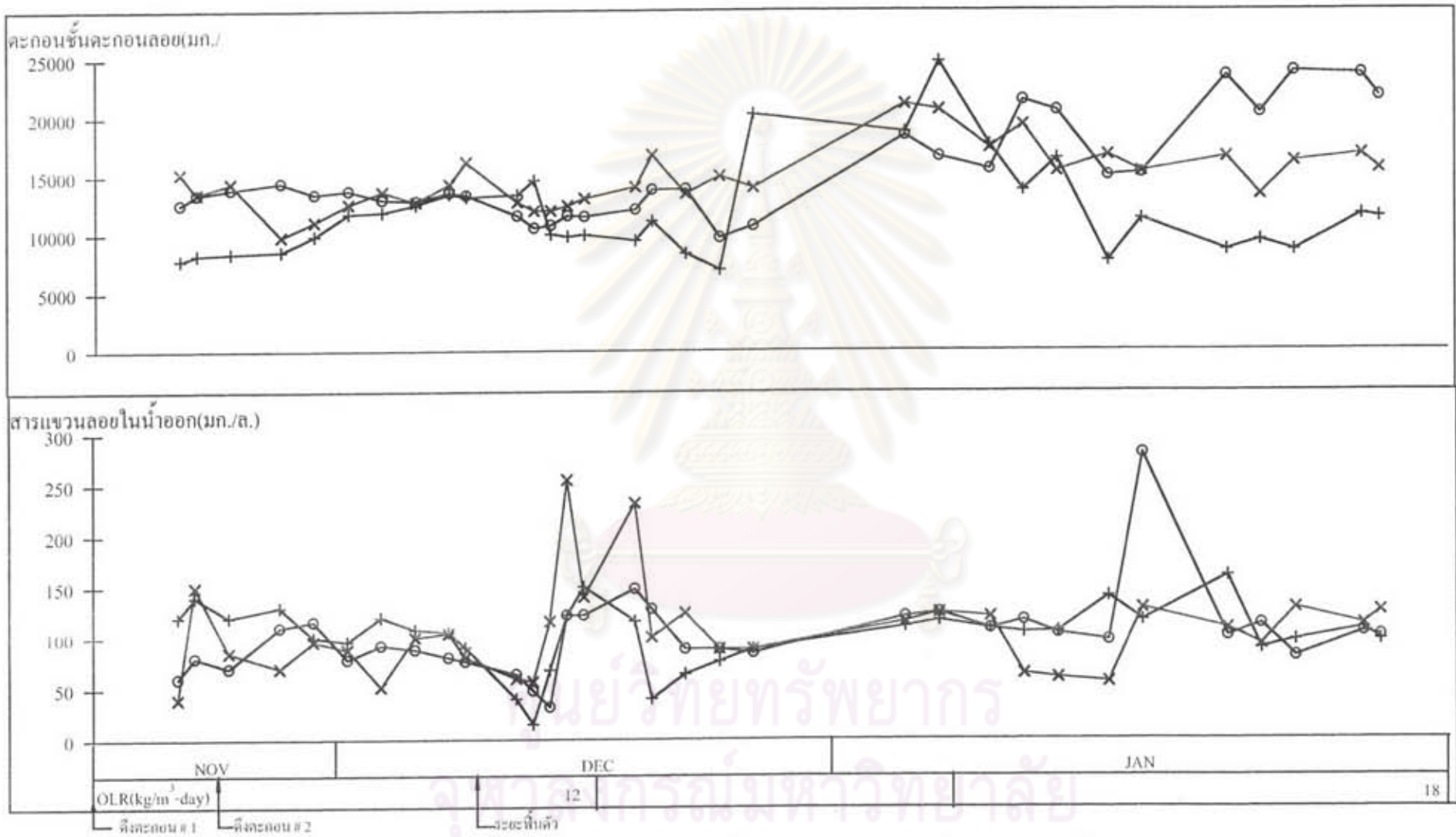
2) ระยะสุดท้ายของการวิจัย ในระยะดังกล่าวประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งสามถังมีค่าลดลงจนมีค่าเหลือเพียง 62% , 60% , 80% ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าค่าอัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าสูงเกินไป

5.2.5 ของแข็งแขวนลอยในน้ำออกและในชั้นตะกอน

จากรูปที่ 5.15 พบว่าในงานวิจัยนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีค่าค่อนข้างแปรปรวน ประมาณ 40-250 มิลลิกรัม/ลิตร แม้ว่าอัตราน้ำสิ้นผิวของอุปกรณ์แยกของแข็งและก๊าซของถังที่ 1 จะต่ำกว่าถังที่ 2 และถังที่ 3 กล่าวคือ 0.10 เมตร/ชั่วโมง และ 0.13 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากสังเกตด้วยตาจะพบว่าน้ำออกใสทั้งสามถัง

จากตารางที่ 5.5 ค่าของแข็งแขวนลอยในชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) ในชุดการทดลองที่ 1 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ในชุดการทดลองที่ 2 กลับปรากฏแนวโน้มชัดเจนว่า $SS_{Co} > SS_{Ni&Co} > SS_{Ni}$ เนื่องจากว่าในระยะดังกล่าวตะกอนในถังที่ 1 และถังที่ 3 กลายเป็นเม็ด (granule) ไปทั้งชั้นตะกอน แต่ตะกอนในถังที่ 2 ยังคงเป็นปุยตะกอนธรรมดา ปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจอ้างได้ว่าเกิดจากอิทธิพลของโคบอลต์

ส่วนตะกอนลอยในน้ำออกมีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่ชุดควบคุมในชุดการทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 288 มก./ล.มากกว่าทุกถังในการทดลองเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับที่สมคะเนรายงานในช่วงดังกล่าวลักษณะชั้นตะกอนเริ่มเสียสภาพเม็ด ทำให้ตะกอนในน้ำออกมีค่าสูง



รูปที่ 5.15 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยในชั้นตะกอนแขวนลอยและในน้ำออกของถังยูเอเอสบีถังที่ 1 (x) ถังที่ 2 (+) ถังที่ 3 (o)

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยในน้ำออกและในชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)

ชุดการทดลอง	อัตราการระเหยอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	SS (มก./ล.) ชั้นตะกอนลอย (Sludge Blanket)	SS (มก./ล.) น้ำออก
- ชุดควบคุม	12	10,000	288
1.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	12	13,192	105
1.2 เติมนิกเกิล	12	12,077	91
1.3 เติมโคบอลต์	12	12,250	80
2.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	18	15,625	115
2.2 เติมนิกเกิล	18	10,132	111
2.3 เติมโคบอลต์	18	21,390	129

หมายเหตุ: ชุดควบคุมมาจากสมคะเน (2538)

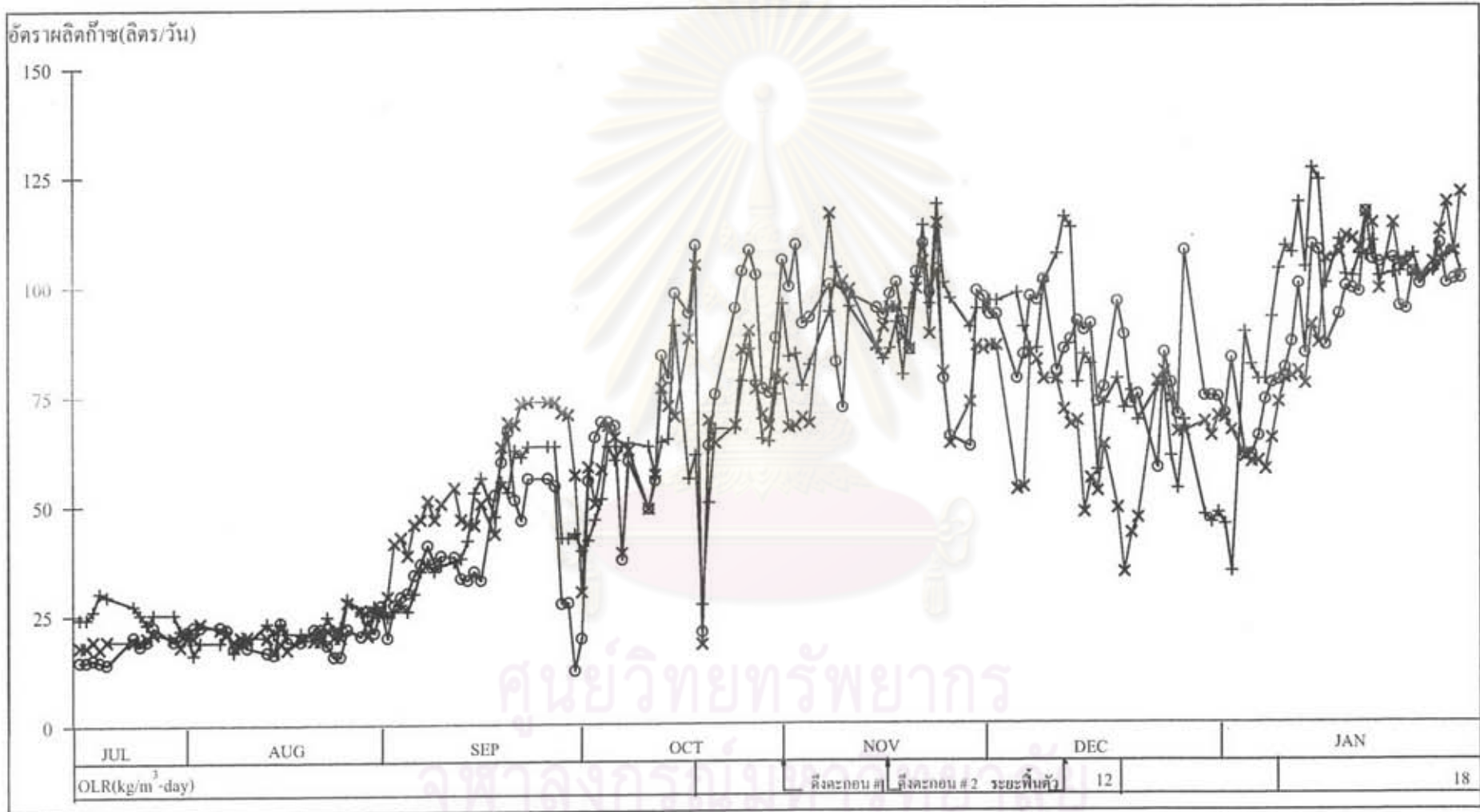
5.2.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากสมมุติฐานว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เครื่องวัดก๊าซแบบ orsat แล้วปริมาณก๊าซที่เหลือจากการวัดจะเป็นก๊าซมีเทน โดยมีค่าดังตารางที่ 5.6 และวัดปริมาณก๊าซรวมได้ตามรูปที่ 5.16

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบที่สภาวะคงตัว

ชุดการทดลอง	OLR (กก.ซีโอดี) ลบ.ม.-วัน	อัตราผลิตก๊าซ ชีวภาพ (ลิตร/วัน)	%CO ₂	%CH ₄	ปริมาณมีเทน (ลิตร) กรัมซีโอดีกำจัด
- ชุดควบคุม	12	44	50	50	0.35
1.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	12	85	34	66	0.24
1.2 เติมนิกเกิล	12	58	52	48	0.19
1.3 เติมโคบอลต์	12	85	38	62	0.217
2.1 เติมนิกเกิลและโคบอลต์	18	105	47	53	0.29
2.2 เติมนิกเกิล	18	109	52	48	0.278
2.3 เติมโคบอลต์	18	102	40	60	0.232

หมายเหตุ: ชุดควบคุมมาจากสมคะเน (2538)



รูปที่ 5.16 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังเอสบีตั้งแต่ 1 (+) ถึง 2 (x) ถึง 3 (o)

ตารางที่ 5.7 แสดงสมดุลของชีโอดีในระบบ

ชุดการทดลอง	ปริมาณ ชีโอดีเข้า (กรัม.ชีโอดี) วัน	ปริมาณ ชีโอดีออกเข้า (กรัม.ชีโอดี) วัน	ปริมาณ ชีโอดีออก ในรูปมีเทน (กรัม.ชีโอดี) วัน	ผลรวม ปริมาณ ชีโอดีออก (กรัม.ชีโอดี) วัน
1.1เติม निकเกิดและ โคบอลต์	235	23.5	160	183.5
1.2เติม निकเกิด	235	58.31	79.5	139
1.3เติม โคบอลต์	235	26.9	150.6	177.5
2.1เติม निकเกิดและ โคบอลต์	315	118.4	155	273.4
2.2เติม निकเกิด	315	125.	149.5	274.5
2.3เติม โคบอลต์	315	66	175	241

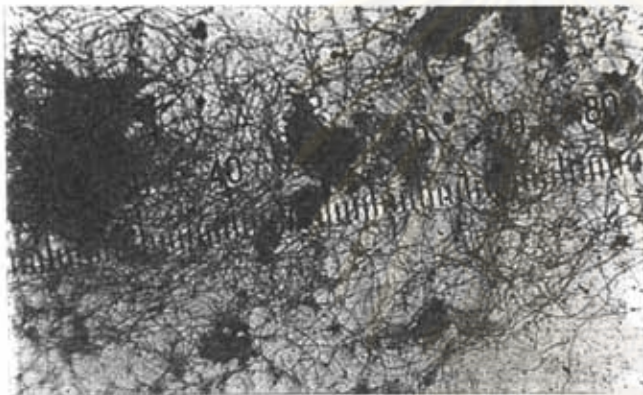
จากตารางที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยของอัตราก๊าซชีวภาพรวม และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่สภาวะคงตัว ในงานวิจัยนี้ ที่อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก./ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณก๊าซชีวภาพของถังที่ เติม निकเกิดและโคบอลต์ ถังที่เติม निकเกิด และถังที่เติมโคบอลต์เท่ากับ 85 , 58 , 85 ลิตร/วัน ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพ 1.21 , 0.83 , 1.21 ลิตร/ลิตรน้ำเสีย ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณก๊าซเพียง 44 ลิตร/วัน ที่อัตราการเท่ากับ 18 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วันเท่ากับ 105 , 109 , 102 ลิตร/วันตามลำดับและคิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพ 1.5, 1.56, 1.46 ลิตร/ลิตรน้ำเสียตามลำดับดัง จากสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพนั้น ถังที่ 2 ซึ่งเติม निकเกิดมีค่าต่ำกว่าอีกสองถังที่ทั้งสองอัตราการระสารอินทรีย์ แต่จากการคำนวณปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัดของทุกถังในการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่า 0.35 ลิตรต่อกรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด(ค่าทางทฤษฎี) และในตารางที่ 5.7 ได้คำนวณค่าชีโอดีเข้าและออกที่ควรจะเท่ากัน แต่ปรากฏว่าค่าผลรวมของชีโอดีออกจากมีเทนและชีโอดีน้ำออกมีค่าต่ำกว่าชีโอดีเข้าในแต่ละวันซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการคำนวณปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวันผิดพลาดหรือเกิดจากอุปกรณ์แยกก๊าซและของแข็ง(GSS)ไม่สมบูรณ์

5.2.7 ชนิดของจุลชีพภายในถังยูเอสบี

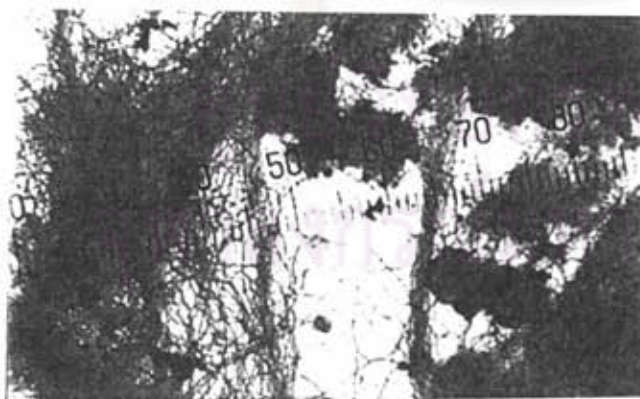
กลไกการเกิดเม็ดตะกอน(granule)มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดชีโอดีภายในระบบอย่างมากเช่น ช่วยให้อายุขัยของเม็ดตะกอนไว้นานถึงปฏิกิริยาได้มากเพราะตะกอนจะถูกพัดหลุดจากระบบ(wash out)ได้น้อยกว่า ช่วยทำให้กลไกการส่งผ่านไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มจุลชีพ(H_2 -interspecies transfer)ดียิ่งขึ้น จุลชีพที่เชื่อว่ามีส่วนสำคัญต่อการสร้างเม็ดตะกอน(granule) คือ จุลชีพสร้างมีเทนชนิดเส้นใย(methanotrix bacteria) ซึ่งจากรูปที่ 5.17 แสดงภาพถ่ายของจุลชีพในแต่ละถังก็เป็นเช่นนั้น



จุดซีพจากถังยูเอเอสบี ดังที่ หนึ่ง



จุดซีพจากถังยูเอเอสบี ดังที่ สอง



จุดซีพจากถังยูเอเอสบี ดังที่ สาม

รูปที่ 5.17 แสดงภาพถ่ายตะกอนจุดซีพจากถังยูเอเอสบีแต่ละถัง โดยจากกล้องจุลทรรศน์

จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าจุลชีพภายในถังยูเอสบีของงานวิจัยนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งสามถัง กล่าวคือเป็นกลุ่มจุลชีพแบบเส้นใยที่รวมตัวกันแน่น เป็นจุลชีพแกรมลบ(gram negative)ย้อมติดสีแดง และพบว่าตามแนวเส้นใยของจุลชีพจะมีเป็นจุลชีพตัวกลมเกาะอยู่ แต่ไม่สามารถระบุความแตกต่างของกลุ่มจุลชีพในแต่ละถังยูเอสบีที่เดิมโลหะต่างชนิดกันได้ ทั้งในอัตราภาระสารอินทรีย์ เท่ากับ 12 และ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

5.2.8 โออาร์ที

ค่าโออาร์ทีเป็นค่าที่บ่งบอกแนวโน้มของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระบบ จากตารางที่ 5.8 แสดงค่าโออาร์ทีของน้ำออกและที่เหนือชั้นตะกอนซึ่งพบว่าค่าโออาร์ทีของน้ำออกมีค่าเป็นลบน้อยหรือใกล้บวก ผิดจากค่าโออาร์ทีของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูง น้ำออกประกอบเข้ากับจุดที่เก็บวัดผลน้ำออกในงานวิจัยนี้เป็นน้ำที่ไหลผ่านท่อ น้ำออกซึ่งในท่อนั้นพบจุลชีพพวกฟิล์มตรึง (fix film bacteria) เกาะอยู่ จุลชีพดังกล่าวสามารถเติมออกซิเจนให้กับน้ำที่ไหลผ่าน จึงทำให้ค่าโออาร์ทีของน้ำออกมีค่าในลักษณะดังกล่าว

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าโออาร์ทีเฉลี่ยของน้ำออกและเหนือชั้นตะกอนนอนของถังยูเอสบีและชุดควบคุม

ระยะ	OLR (กก.ซีโอดี) ลบ.ม.-วัน	โออาร์ทีเหนือชั้นตะกอนนอน (mv.)				โออาร์ทีในน้ำออก (mv.)			
		ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ชุด ควบคุม	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3
ชุดการทดลองที่ 1	12	-305	-175	-179	-184	-315	-9	-12	-1
ชุดการทดลองที่ 2	18	-	-202	-215	-212	-	50	18	57

5.2.9 ปริมาณโลหะ

ในงานวิจัยนี้เติมไอออนของนิกเกิลและโคบอลต์ตามตารางที่ 4.2 เป็นปริมาณ 0.25 และ 0.375 มิลลิกรัม/ลิตร ตามชุดการทดลอง เพื่อดูอิทธิพลของโลหะทั้งสองชนิดที่มีต่อการทำงานของระบบยูเอสบี ในการตรวจวัดปริมาณนิกเกิล, โคบอลต์, เหล็ก, ทองแดง ในน้ำเข้าและน้ำออกตามตารางที่ 5.9 ซึ่งแสดงปริมาณโลหะเหล่านี้ที่มีอยู่ในน้ำเข้าและน้ำออกกว่าค่าค่อนข้างแปรปรวน โดยเฉพาะปริมาณนิกเกิลและเหล็ก ในขณะที่โคบอลต์และทองแดงมีค่าแปรปรวนน้อยกว่า ปริมาณของนิกเกิลในน้ำเข้ามี

ค่าสูงถึงกว่า 1.1-3.01 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังที่ 1 และถังที่ 2 ทั้งๆที่ปริมาณที่เดิมจริงมีเพียง 0.25และ0.375 มิลลิกรัม/ลิตร ในถังที่ 3 ที่ไม่ได้เติมนิกเกิลกลับพบว่ามินิกเกิลสูงถึง 0.35-0.94 มิลลิกรัม/ลิตร เห็นได้ชัดว่าในน้ำเข้าที่เตรียมขึ้นมินิกเกิลปนอยู่ก่อน กรณีปริมาณของเหล็กและทองแดงที่พบก็น่าจะมาจากเหตุนี้เช่นเดียวกัน โคลบอลต์นั้นน่าจะมาจากการเติมเข้าไปเป็นแหล่งใหญ่ โดยสังเกตจากถังที่ 2 ซึ่งไม่ได้เติมโคลบอลต์ พบว่าปริมาณโคลบอลต์ต่ำจนเกือบวัดไม่ได้ซึ่งสอดคล้องกับ Kendrick , May และ Robinson(1991)ที่อ้างว่าโคลบอลต์เป็นธาตุที่หาได้ยากในธรรมชาติ

อย่างไรก็ตามปริมาณนิกเกิลทั้งในน้ำเข้าและน้ำออกที่วัดได้สูงมากจนผิดปกติซึ่งอาจเป็นเพราะว่าวิเคราะห์ปริมาณผิดพลาด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณนิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก และทองแดง ในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบ

วันที่	ถังที่1(mg/l)								ถังที่2(mg/l)								ถังที่3(mg/l)							
	Ni		Co		Fe		Cu		Ni		Co		Fe		Cu		Ni		Co		Fe		Cu	
	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
10 ต.ค. 38	1.63	0.32	0.46	0.12	2.3	0.89	0.32	0.26	1.75	0.44	0.01	0.003	2.45	0.62	0.29	0.28	0.56	0.48	0.46	0.15	1.78	0.63	0.34	0.25
16 พ.ย. 38	1.44	0.3	0.36	0.07	2.5	0.54	0.27	0.35	1.35	0.52	0.01	0.001	2.6	0.78	0.25	0.67	0.35	0.26	0.37	0.12	2.7	0.94	0.32	0.29
23 พ.ย. 38	1.94	0.48	0.52	0.11	1.9	0.57	0.26	0.44	1.88	0.35	0.02	0.003	1.6	0.89	0.19	0.34	0.72	0.44	0.44	0.07	1.65	0.67	0.26	0.63
30 พ.ย. 38	1.71	0.49	0.35	0.09	2.4	0.94	0.33	0.25	1.5	0.76	0.01	.001	2.35	0.87	0.29	0.3	0.45	0.29	0.45	0.12	2.63	1.01	0.47	0.54
7 ธ.ค. 38	1.1	0.47	0.51	0.06	1.01	0.83	0.17	0.1	1.1	0.39	0.01	.003	0.9	0.67	0.2	0.1	0.39	0.49	0.49	0.19	1.03	0.7	0.3	0.43
15 ธ.ค. 38	1.66	0.73	0.47	0.07	2.54	0.75	0.34	0.25	1.32	0.55	0.03	.001	2.77	0.69	0.33	0.47	0.59	0.53	0.49	0.12	2.68	0.89	0.42	0.72
20 ธ.ค. 38	2.3	0.97	0.49	0.08	2.65	0.84	0.42	0.32	1.75	0.64	0.03	.004	1.78	0.97	0.43	0.32	0.75	0.62	0.52	0.17	1.96	1	0.37	0.3
25 ธ.ค. 38	2.56	0.88	0.55	0.17	2.74	0.94	0.21	0.18	1.88	0.78	0.05	.006	2.54	0.67	0.46	0.37	0.64	0.88	0.55	0.14	2.74	0.94	0.44	0.53
12 ม.ค. 39	2.74	3.2	0.46	0.06	2.86	1.5	0.41	0.3	2.54	4.2	0.03	.003	2.56	2.1	0.35	0.54	0.94	1.2	0.47	0.21	2.86	1.5	0.39	0.37
22 ม.ค. 39	3	3.5	0.49	0.15	2.88	2.1	0.29	0.3	2.78	2.9	0.06	.002	2.92	2.7	0.36	0.71	0.87	1.34	0.53	0.26	2.88	2.1	0.42	0.44
2 ก.พ. 39	3.01	4.56	0.49	0.04	2.3	2.4	0.4	0.3	2.65	5.85	0.1	.07	2.55	2.8	0.34	0.67	0.8	1.32	0.48	0.28	2.3	2.4	0.32	0.22
AVG RUN#1	1.57	0.49	0.44	0.08	2.07	0.73	0.27	0.28	1.43	0.51	0.02	0.002	2.04	0.78	0.25	0.38	0.5	0.4	0.45	0.12	2.14	0.84	0.35	0.52
STD RUN#1	0.32	0.15	0.08	0.02	0.65	0.17	0.07	0.13	0.29	0.16	0.01	0.009	0.78	0.1	0.06	0.21	0.15	0.12	0.05	0.04	0.76	0.15	0.09	0.17
AVG RUN#2	2.92	3.75	0.48	0.08	2.68	2	0.37	0.3	2.66	4.32	0.06	0.063	2.68	2.53	0.35	0.64	0.87	1.29	0.49	0.25	2.68	2	0.38	0.34
STD RUN#2	0.15	0.71	0.02	0.06	0.33	0.46	0.07	0	0.12	1.48	0.04	0.035	0.21	0.38	0.01	0.09	0.07	0.08	0.03	0.04	0.33	0.46	0.05	0.11

โดยค่าAVG RUN# เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณ โลหะ ในแต่ละชุดการทดลอง

โดยค่าSTD RUN# เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณ โลหะ ในแต่ละชุดการทดลอง

5.3 ผลของนิกเกิลและโคบอลต์ต่อค่าพารามิเตอร์ต่างๆภายในชั้นตะกอน

ในงานวิจัยนี้มีผลวิจัยภายในชั้นตะกอนดังแสดงในตารางที่ 5.10-5.16 แตกต่างจากระบบยูเอเอสบี ต่างที่รายงานไว้ กล่าวคือในเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีตามลำดับความสูงของชั้นตะกอนซึ่งมักจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วที่บริเวณชั้นตะกอนด้านล่าง กลับปรากฏว่าลักษณะการกำจัดซีโอดีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่กลางถึงแทนโดยเฉพาะในถังที่ 1 และถังที่ 3 ซึ่งเดิมโคบอลต์

5.3.1 พิเศษภายในชั้นตะกอน

จากรูปที่ 5.18 ซึ่งแสดงค่าพีเอชที่ระดับความสูงต่างๆของชั้นตะกอนภายในถังยูเอเอสบีที่ อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีโอดี/ ลบ ม.-วัน พบว่าค่าพีเอชภายในชั้นตะกอนจากกันถึงจนถึง จุดเก็บตัวอย่างที่ 4 หรือระดับสูง 40 ซม.ของถังที่ 1 , 2 และ 3 มีค่าต่ำกว่า 6.8 ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อ ปฏิริยาการสร้างมีเทน(Attal et al.,1988) โดยเฉพาะถังที่ 2 ความสูงของชั้นตะกอนที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.8 ลามขึ้นไปถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 หรือระดับ 60 ซม.จากกันถึง ยังพบว่าชั้นตะกอนที่ระดับต่ำกว่าจุด เก็บตัวอย่างที่ 4 หรือระดับ 40 ซม.มีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ต่ำอีกทั้งสัดส่วนของกรดไขมัน ระเหยต่อสภาพต่าง และปริมาณกรดโวลาทิลที่ต่ำกว่าระดับดังกล่าวของทุกถังมีค่าเท่าๆกัน

พบว่าที่ชั้นตะกอนระดับสูงขึ้นไปของถังที่ 1 และถังที่ 3 นั้นมีค่าพีเอชที่สูงกว่าในถังที่ 2 กล่าวได้ว่าเป็นผลจากการเติมโคบอลต์ทำให้ชั้นตะกอนระดับสูงๆของถังที่ 1 และถังที่ 3 มีความสามารถ กำจัดกรดโวลาทิลสะสมหรือซีโอดีได้ดีกว่าชั้นตะกอนในถังที่ 2 ค่าพีเอชในชั้นตะกอนตอนบนของทั้ง สองถังดังกล่าวจึงมีค่าสูงกว่า

ตามตารางที่ 5.10 สมคะเน(2538)รายงานค่าพีเอชภายในชั้นตะกอนมีค่าประมาณ 6.8 เกือบตลอดชั้นตะกอน ในขณะที่สัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างมีค่าประมาณ 0.4- 0.5 ตลอด ชั้นตะกอน

อัตราการระสารอินทรีย์ประมาณ 18 กก.ซีโอดี/ ลบ ม.-วัน แนวโน้มของค่าพีเอชต่ำกว่า 6.7 ในชั้นตะกอนได้ลามสูงขึ้นกว่าเดิม พบว่าระดับความสูงของชั้นตะกอนที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.7 ในถังที่ 1 , 2 และ 3 เป็นดังนี้ 60 ซม., 40 ซม., 30 ซม. จนถึงกันถึง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าปริมาณกรดโวลาทิล สูงเป็นต้นเหตุของค่าพีเอชในชั้นตะกอนลด

5.3.2 กรดไขมันระเหย ภายในชั้นตะกอน

จากรูปที่ 5.19 ซึ่งแสดงปริมาณกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก ตามจุดเก็บตัวอย่างที่ชั้น ความสูงต่างๆของตะกอน ปริมาณกรดไขมันระเหยที่วัดแยกได้เป็นกรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติกใน ถังยูเอเอสบีนั้นทำให้ทราบถึงปฏิริยาหลักในระดับความสูงนั้น พบว่าที่อัตราการระสารอินทรีย์ 12 กก.ซี

ตารางที่ 5.10 แสดงข้อมูลตำแหน่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังชุดควบคุม อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน

จุดเก็บตัวอย่าง	กรดไขมัน ระเหย (mg/l as CaCO ₃)	COD (mg/l)	สภาพค่าง (mg/l as CaCO ₃)	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS (mg/l)
น้ำออก	2221	2337	4773	7.64	-220	360
จุดที่8	2338	2783	4840	6.77	-320	8120
จุดที่7	2526.5	2671	4840	6.71	-330	5540
จุดที่6	2396	2337	4706	6.74	-330	6340
จุดที่5	2381	2337	4684	6.85	-330	6260
จุดที่4	2251	2365	4884	6.75	-320	15780
จุดที่3	2360	-	5078	6.85	-330	21040
จุดที่2	2251	2365	5051	6.85	-340	25180
จุดที่1	2432	2921	5162	6.85	-330	2922
น้ำเข้า	1641	3061	3752	6.42	-	-

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด

ระดับตะกอนนอนสูง 40 ซม.จากกันถึง

(ที่มา: สมคะเน จริตงาม ,2538)

ตารางที่ 5.11 แสดงข้อมูลค่าแห่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่หนึ่ง อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	กรดอะซิติก (mg/l as CH ₃ COOH)	กรดโพรพิโอนิก (mg/l as CH ₃ COOH))	COD (mg/l)	สภาพด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Alk	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	ND	ND	379	4484	ND	7.8	40	116	62	53.5	0.06*	0.10*	0.83*	0.47*
จุดที่8	ND	ND	285	3757	ND	7.03	-100	11970	4670	39.	1.29	0.10	0.96	0.90
จุดที่7	ND	ND	475	3636	ND	7.08	-140	11110	6410	57.7	1.29	0.07	1.15	0.85
จุดที่6	76	55	1031	3636	0.04	6.96	-160	37670	27180	72.2	1.48	0.06	1.07	2.83
จุดที่5	339.6	210	1898	3515	0.19	6.81	-130	33100	21880	66.1	2.13	0.06	0.93	2.71
จุดที่4	456	289	1736	3636	0.25	6.72	-130	30160	18340	60.8	2.84	0.05	0.77	2.07
จุดที่3	563	367	2495	4363	0.25	6.64	-130	31760	23550	74.2	1.44	0.05	0.72	2.55
จุดที่2	563	367	2441	3878	0.28	6.6	-140	31620	19780	62.6	2.15	0.05	0.36	1.81
จุดที่1	642	462	3010	3757	0.35	6.66	-160	34630	21700	62.7	1.52	0.04	0.59	1.42
น้ำเข้า			3905	4230	-	7.34	-	-	-	-	0.507*	0.17*	1.01*	1.1*

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด

เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg / l

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.12 แสดงข้อมูลค่าแห่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่สอง อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอเอส/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	กรดอะซิดิก (mg/l as CH ₃ COOH)	กรดโพรพอีนิก (mg/l as CH ₃ COOH))	COD (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Alk	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS	VSS	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	228	293	1342	4757	0.14	7.23	0	40	28	70.	0.003*	0.10*	0.67*	0.39*
จุดที่8	298	349	1215	4606	0.17	6.87	-65	13430	8420	62.7	0.10	0.40	0.88	0.56
จุดที่7	335	331	1326	4606	0.17	6.88	-120	30760	20220	65.7	0.15	0.09	0.85	0.78
จุดที่6	436	358	1452	4506	0.21	6.84	-120	33880	20890	61.7	0.29	0.03	0.73	1.78
จุดที่5	548	389	1800	4440	0.25	6.66	-130	42470	32170	75.8	0.22	0.04	0.74	1.73
จุดที่4	637	470	2147	4363	0.30	6.56	-140	42860	32880	76.7	0.24	0.05	0.65	1.64
จุดที่3	528	408	1894	4120	0.27	6.51	-140	32500	22700	69.9	0.28	0.05	0.60	1.72
จุดที่2	472	341	2084	3757	0.26	6.51	-160	32500	19133	58.9	0.20	0.04	0.59	2.61
จุดที่1	487	344	2210	3636	0.27	6.49	-160	29900	16100	53.9	0.20	0.08	0.55	1.28
น้ำเข้า			3410	4320	-	7.4	-	-	-	-	0.01*	0.20*	0.9*	1.1*

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย หมายถึง ไม่ได้วัด

เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg/l

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.13 แสดงข้อมูลค่าแห่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่สาม อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ชีโอดี/ ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	กรดอะซิดิก (mg/l as CH ₃ COOH)	กรดไพรูวอนิก (mg/l as CH ₃ COOH)	COD (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Alk	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS	VSS	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	20	ND	385	4121	0.14	7.6	35	122	74	61	0.19*	0.43*	0.70*	0.49*
จุดที่8	16	ND	311	4242	0.17	7.01	-195	10533	3911	37	0.93	0.14	1.72	0.92
จุดที่7	13	ND	323	4848	0.17	7.07	-190	26220	17370	66	0.47	0.05	0.74	0.37
จุดที่6	15	66	447	4848	0.21	7.04	-160	21540	14490	67	0.96	0.06	1.39	0.67
จุดที่5	28	292	1194	4848	0.25	6.92	-160	34980	26510	76	0.67	0.07	0.95	0.64
จุดที่4	163	176	1790	4242	0.30	6.88	-170	32840	25220	77	0.72	0.07	1.05	0.69
จุดที่3	445	460	2362	4727	0.27	6.67	-150	23180	15090	65	1.21	0.06	0.96	0.54
จุดที่2	468	486	3333	4727	0.26	6.56	-140	28860	17270	60	0.94	0.10	0.88	0.76
จุดที่1	601	510	2437	4363	0.27	6.42	-100	24920	20720	83	1.03	0.06	0.75	0.34
น้ำเข้า			3581	4320	-	7.4	-	-	-	-	0.49*	0.30*	1.03*	0.39*

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด

เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg / l

ตารางที่ 5.14 แสดงข้อมูลตำแหน่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่หนึ่ง อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

จุดเก็บ ตัวอย่าง	กรดอะซิติก (mg./l as CH ₃ COOH)	กรดโพรพิโอนิก (mg./l as CH ₃ COOH))	COD (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Aik	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS	VSS	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	391	47.5	1902	4830	0.10	7.52	35	128	82	64.1	0.04*	0.30*	2.4*	2.85*
จุดที่8	775	34	2195	4673	0.18	6.91	-180	23770	14290	60.1	1.50	0.10	2.07	2.68
จุดที่7	1022	765	2400	4673	0.41	6.76	-180	28550	18090	63.4	2.45	0.19	1.92	1.83
จุดที่6	1203	780	2634	4620	0.44	6.66	-200	27800	17950	64.6	2.70	0.10	2.28	2.51
จุดที่5	1395	815	3102	4725	0.51	6.58	-190	32630	21430	65.7	2.53	0.08	1.16	2.67
จุดที่4	1517	865	3044	4515	0.52	6.52	-190	22940	15450	67.4	2.73	0.08	1.05	1.97
จุดที่3	1366	769	3219	4515	0.48	6.53	-195	28850	19390	67.2	2.83	0.10	1.08	1.29
จุดที่2	1412	853	3219	4695	0.53	6.51	-195	23300	14790	63.5	2.09	0.09	1.47	1.82
จุดที่1	1396	843	3278	4830	0.48	6.42	-180	30270	20100	66.4	2.42	0.07	0.98	1.25
น้ำเข้า			4920	5220	-	7.4	-	-	-	-	0.49*	0.4*	1.8*	2.02*

หมายเหตุ : เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้
 เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด
 เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg / l

ตารางที่ 5.15 แสดงข้อมูลค่าแห่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่สอง อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

จุดเก็บตัวอย่าง	กรดอะซิติก (mg/l as CH ₃ COOH)	กรดโพรพิออนิก (mg/l as CH ₃ COOH))	COD (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Alk	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS	VSS	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	410	740	1830	4725	0.26	7.45	120	98	61	67.2	0.07*	0.67*	2.1*	5.85*
จุดที่8	580	863	2160	4778	0.32	6.94	-160	10000	5430	54.3	0.09	0.13	1.30	3.32
จุดที่7	789	832	2310	4673	0.37	6.9	-200	29840	19550	65.5	0.14	0.12	0.75	1.67
จุดที่6	1033	948	2760	4778	0.44	6.82	-210	25180	16850	66.9	0.19	0.06	0.57	2.58
จุดที่5	1232	1171	3000	4620	0.55	6.72	-180	27210	21023	77.3	0.23	0.09	0.73	2.69
จุดที่4	1238	1259	3300	4830	0.55	6.68	-220	27450	22130	80.6	0.18	0.24	0.81	2.01
จุดที่3	1056	1082	3120	4725	0.48	6.66	-210	27390	22740	83	0.17	0.10	0.67	1.34
จุดที่2	1088	1173	3300	4513	0.53	6.61	-200	27670	21800	78.8	0.07	0.10	0.72	1.45
จุดที่1	1168	1277	3780	4935	0.53	6.59	-190	28240	22840	80.9	0.09	0.08	0.93	1.39
น้ำเข้า			4560	5343	-	7.62	-	-	-	-	0.1*	0.34*	1.76*	2.67*

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด

เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg/l

ตารางที่ 5.16 แสดงข้อมูลตำแหน่งต่างๆตามลำดับความสูงของถังปฏิกริยาที่สาม อัตราการระเหยอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ภายใต้สภาวะคงตัว

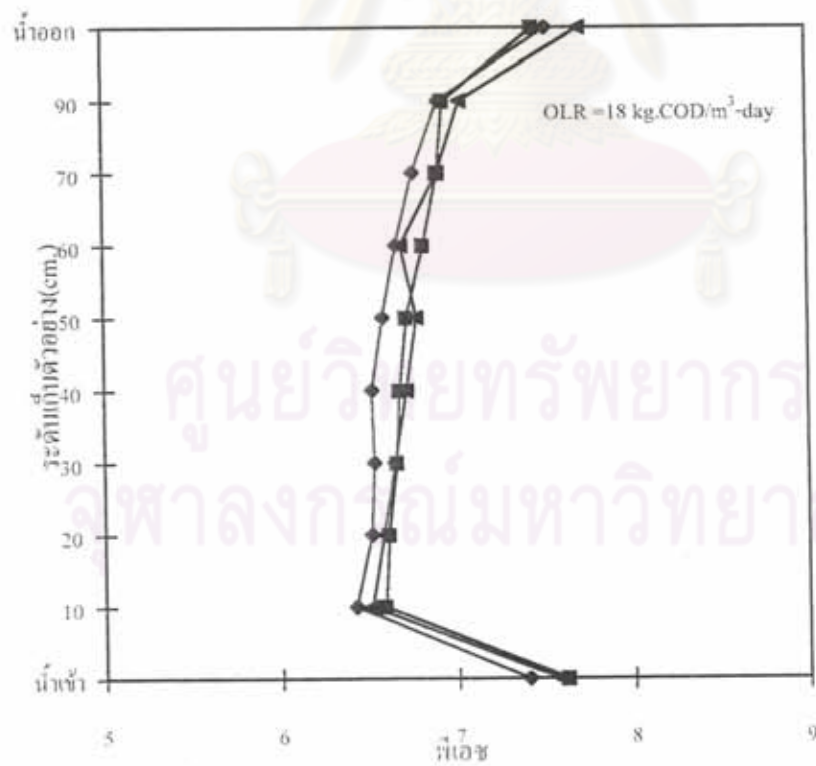
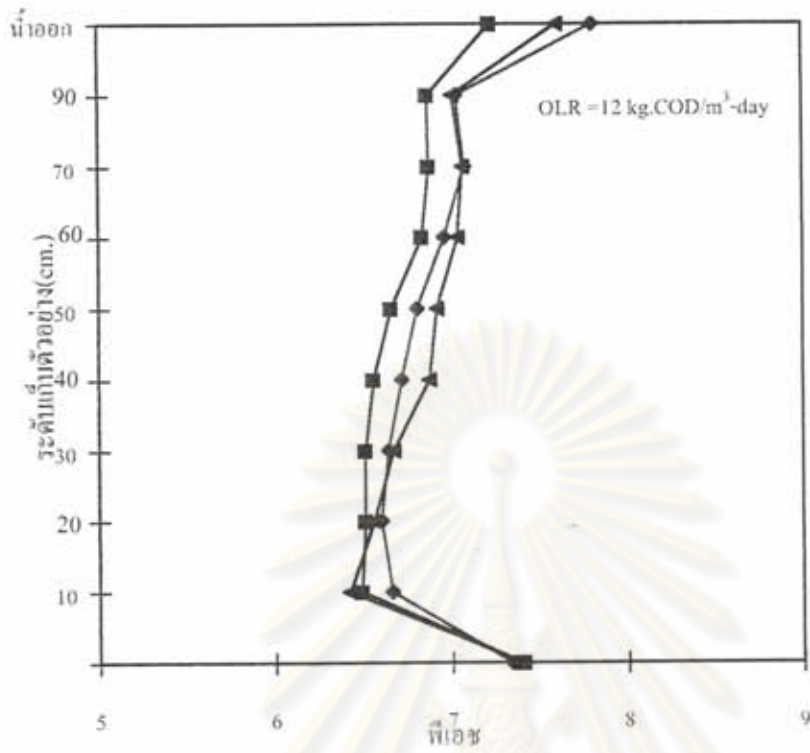
จุดเก็บตัวอย่าง	กรดอะซิติก (mg./l as CH ₃ COOH)	กรดโพรพิออนิก (mg./l as CH ₃ COOH))	COD (mg/l)	ความเป็นด่าง (mg/l as CaCO ₃)	VFA/Alk	พีเอช	โออาร์พี (mv.)	SS	VSS	%VSS	Co (mg/ g.TS)	Cu (mg/ g.TS)	Fe (mg/ g.TS)	Ni (mg/ g.TS)
น้ำออก	293.7	15.8	540	5985	0.06	7.71	50	100	63.5	64	0.08*	0.22*	6.80*	1.32*
จุดที่8	425	23.7	450	5723	0.08	7.03	-200	35790	23730	66	1.73	0.52	0.85	2.79
จุดที่7	548	323	1560	5880	0.19	6.9	-200	44800	32740	73	2.57	0.07	0.89	0.22
จุดที่6	664	379.7	2060	5670	0.20	6.69	-170	33230	21170	64	2.48	0.18	0.87	0.43
จุดที่5	1152	630	2400	6195	0.31	6.78	-180	37440	25380	68	2.39	0.09	0.74	0.23
จุดที่4	1107	602	2520	6195	0.29	6.72	-230	32690	20630	63	2.82	0.10	0.80	0.28
จุดที่3	1385	737	3180	5670	0.40	6.65	-190	27320	15260	56	3.29	0.10	0.82	0.25
จุดที่2	1426	767	3300	5880	0.40	6.58	-210	35120	23060	66	2.60	0.11	1.58	0.93
จุดที่1	1400	783	3480	5723	0.35	6.51	-170	35220	23160	66	1.52	0.14	0.69	0.54
น้ำเข้า			4800	5397	-	7.57	-	-	-	-	0.48*	0.32*	2.85*	0.80*

หมายเหตุ :

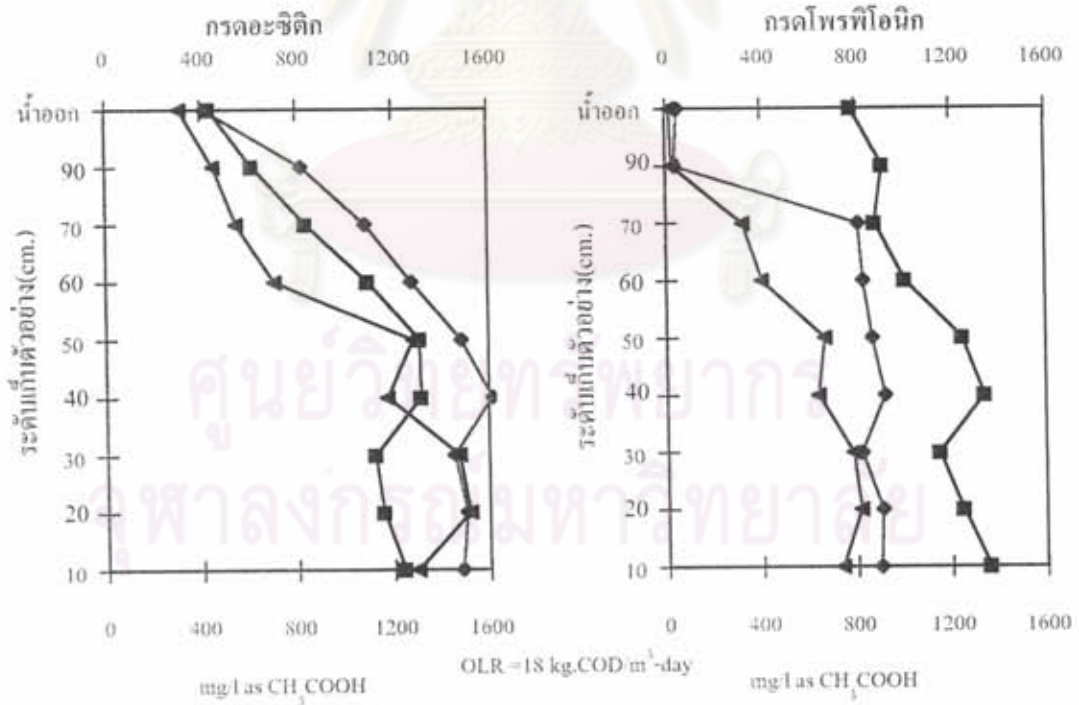
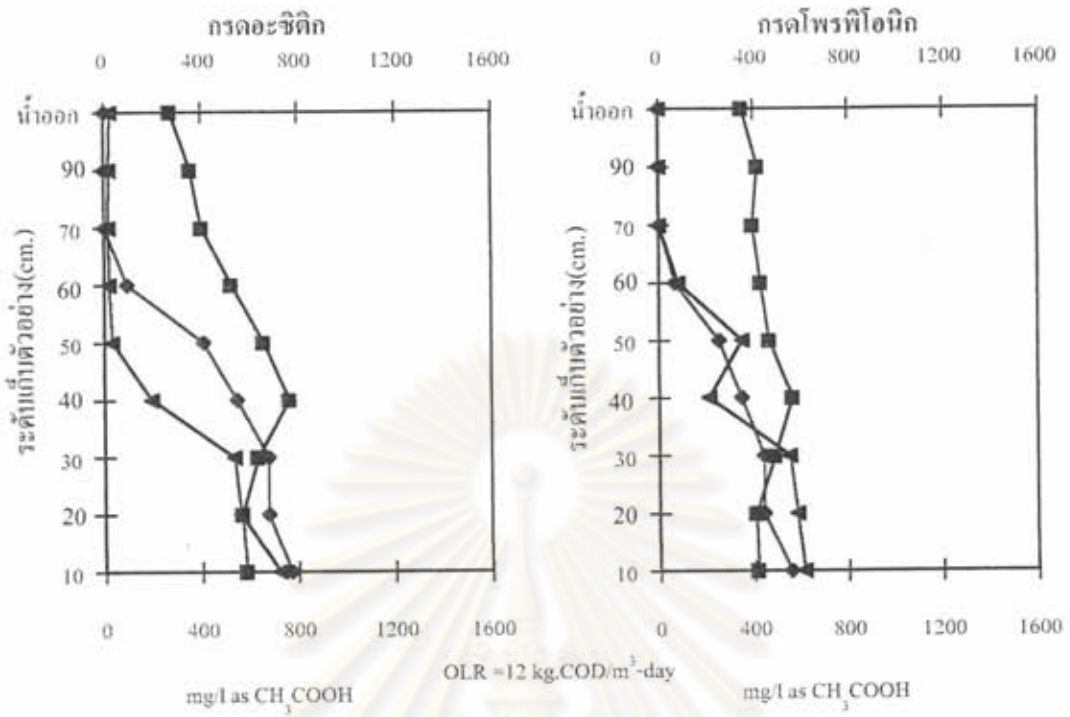
เครื่องหมาย ND หมายถึง ไม่สามารถวัดได้

เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้วัด

เครื่องหมาย * หมายถึง มีหน่วยเป็น mg / l



รูปที่ 5.18 แสดงค่าพีเอชที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอสบี
 ถังที่ 1 (◆) ถังที่ 2 (■) ถังที่ 3 (▲)



รูปที่ 5.19 แสดงปริมาณกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกที่ระดับความสูงต่างๆ ภายในถังยูเอสบี ดังที่ 1 (◆) ดังที่ 2 (■) ดังที่ 3 (▲)

ไอดี/ลบ.ม. - วัน กรดไขมันระเหยภายในถังที่ 1 และถังที่ 3 ลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างที่ 5 ถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ 6 (50-60 ชม.จากกันถัง) โดยกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีค่าลดลงจาก 340 และ 210 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกและ 28 และ 292 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก ในถังที่ 1 และ 3 เหลือ 76 และ 55 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกและ 15 และ 66 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก ตามลำดับถัง ในขณะที่ถังที่ 2 ปริมาณกรดอะซิติกลดลงช้าและกรดโพรพิโอนิกเกือบไม่ลดลงเลย

ตามตารางที่ 5.10 สมคะเน(2538) ไม่ได้วัดกรดไขมันระเหยแยกเป็นสองชนิด แต่ได้รายงานในรูปกรดไขมันระเหยทั้งหมดมีค่าประมาณ 2300-2500มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก ตลอดความสูงของชั้นตะกอน เสมือนว่าตะกอนในถังยูเอเอสบีของสมคะเน(2538)เป็นเพียงถังสร้างกรดที่ไม่สามารถกำจัดซีไอดีหรือกรดไขมันระเหยใดๆได้ จึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถังยูเอเอสบีทุกถังในงานวิจัยนี้

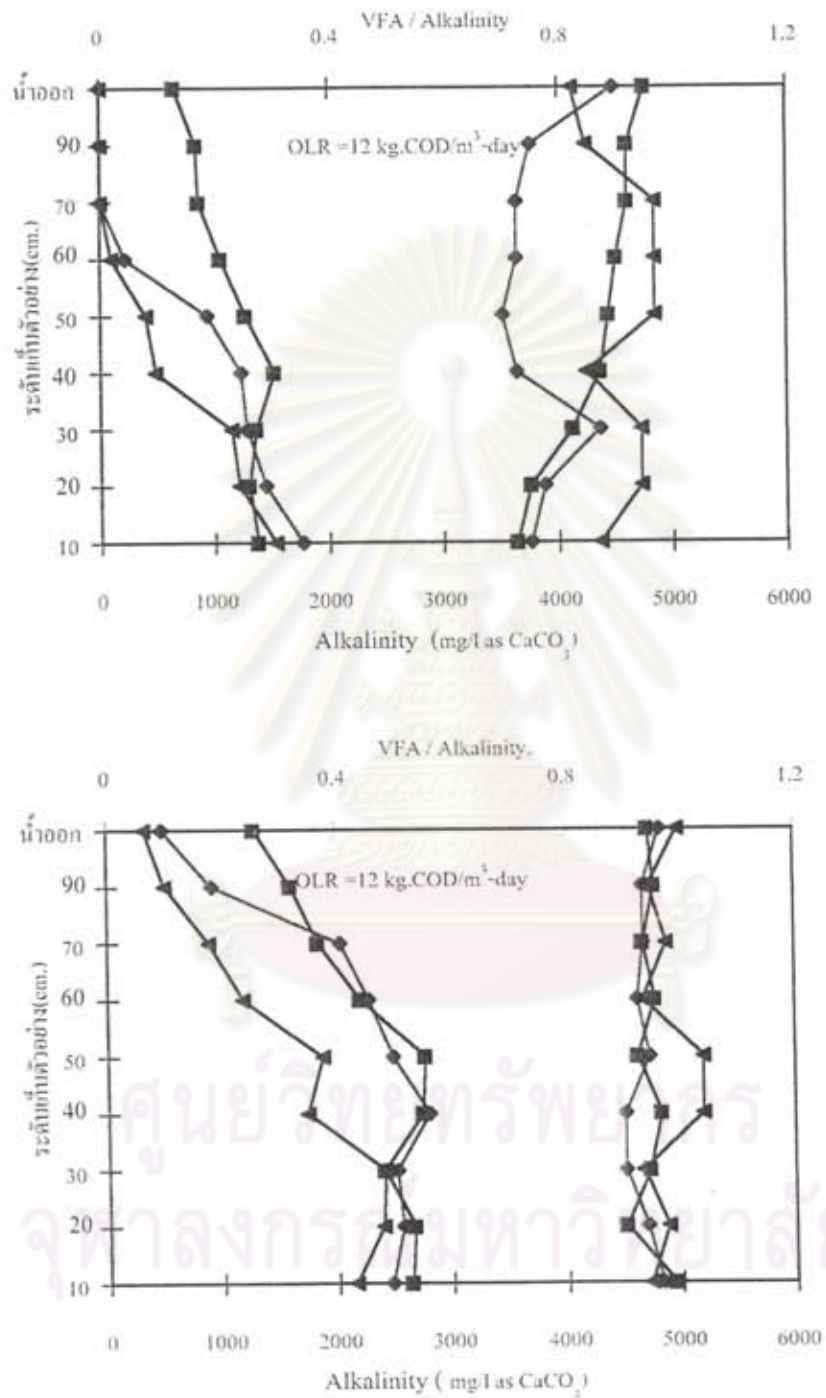
ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ปรากฏว่าการลดลงของกรดไขมันระเหยมีแนวโน้มเดียวกับในชุดการทดลองที่ 1 เพียงแต่ปริมาณกรดอะซิติกมีค่าเกือบคงที่บริเวณกันถังแล้วจึงเริ่มลดลงที่ชั้นตะกอนสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 5(50 ชม.จากกันถัง)ขึ้นไปและตำแหน่งที่กรดโพรพิโอนิกถูกย่อยสลายอยู่ที่ระดับชั้นตะกอนสูงกว่าชุดการทดลองที่ 1

จากรูปที่ 5.19 แสดงปริมาณกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก ตามชั้นความสูงของตะกอนของทั้งสองอัตราภาระสารอินทรีย์นั้นจะมีลักษณะคล้ายกันกล่าวคือปริมาณของกรดอะซิติกและโพรพิโอนิกลดลงอย่างช้าๆจนเกือบคงที่ในตอนล่างของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) แล้วลดลงอย่างรวดเร็วในชั้นตะกอนตอนบน ยกเว้นในถังที่ 2 ซึ่งปริมาณโพรพิโอนิกนั้นมีค่าสูงตลอดชั้นตะกอนและลดลงเพียงเล็กน้อยที่ชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ระดับบนในขณะที่กรดอะซิติกมีค่าลดลงช้าๆ พบว่าที่ทั้งสองอัตราภาระสารอินทรีย์ของถังใบที่ 1 และ ใบที่ 3 ปริมาณกรดโพรพิโอนิกซึ่งมีค่าเกือบคงที่ตลอดชั้นตะกอนจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากกรดอะซิติกที่ระดับชั้นตะกอนเดียวกันมีปริมาณลดลงถึงประมาณ 600-800 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติก

5.3.3 สภาพค่าง

รูปที่ 5.20 แสดงสภาพค่างและสัดส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างที่ระดับความสูงภายในชั้นตะกอนของถังยูเอเอสบีทั้งสาม พบว่าสัดส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างภายในชั้นตะกอนของทั้งสองอัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าน้อยกว่า 0.8 ทั้งสิ้น ชุดควบคุมของสมคะเน(2538)ได้รายงานว่า สภาพค่างภายในชั้นตะกอนมีค่างที่ ตลอดความสูงประมาณ 4700-5000 มก./ล.ในรูป แคลเซียมคาร์บอเนต

เมื่อปริมาณสภาพค่างในน้ำมีมากเกินไป เหตุใดค่าพีเอชของน้ำที่บริเวณกันถังของถังยูเอเอสบีที่ 2, 3 จึงมีค่าต่ำถึง 6.5 ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม. - วันและที่บริเวณกันถังของทุกถังที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม. - วัน แสดงว่าที่ระดับค่างกล่าวมีค่ากรดไขมันระเหยสะสมมาก



รูปที่ 5.20 แสดงสภาพต่างและสัดส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง ที่ระดับความสูงต่างๆ ภายในถังเอเอสบี ดังที่ 1 (—◆—) ดังที่ 2 (—■—) ดังที่ 3 (—▲—)

5.3.4 ซีโอดี

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม. - วัน ซีโอดีของน้ำภายในถังยูเอเอสบีที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.21 พบว่าปริมาณซีโอดีของทุกถังจะถูกกำจัดอย่างรวดเร็วตั้งแต่ทางน้ำเข้าจนถึงระดับจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (10 เซนติเมตรจากก้นถัง) ถึงประมาณ 40% ของซีโอดีน้ำเข้า ในถังที่ 1 และถังที่ 3 ปริมาณซีโอดีก็มีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระดับจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 จากนั้นจึงถูกกำจัดอย่างรวดเร็วในช่วงจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 ถึงจุดที่ 7 (50 - 70 ซม. จากก้นถัง) ถึง 40% รวมเป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงประมาณ 90% แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการกำจัดซีโอดีของตะกอนชั้นบนมีค่าสูงกว่าของตะกอนชั้นล่าง ในขณะที่ลักษณะการกำจัดซีโอดีในถังที่ 2 ที่เหนือจากระดับจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จนถึงจุดน้ำออก จะถูกกำจัดอย่างช้า ๆ จนได้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมประมาณ 60% จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโอบอลด์มีอิทธิพลต่อการกำจัดซีโอดี ดังนั้นถังที่ 1 และถังที่ 3 จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าถังที่ 2

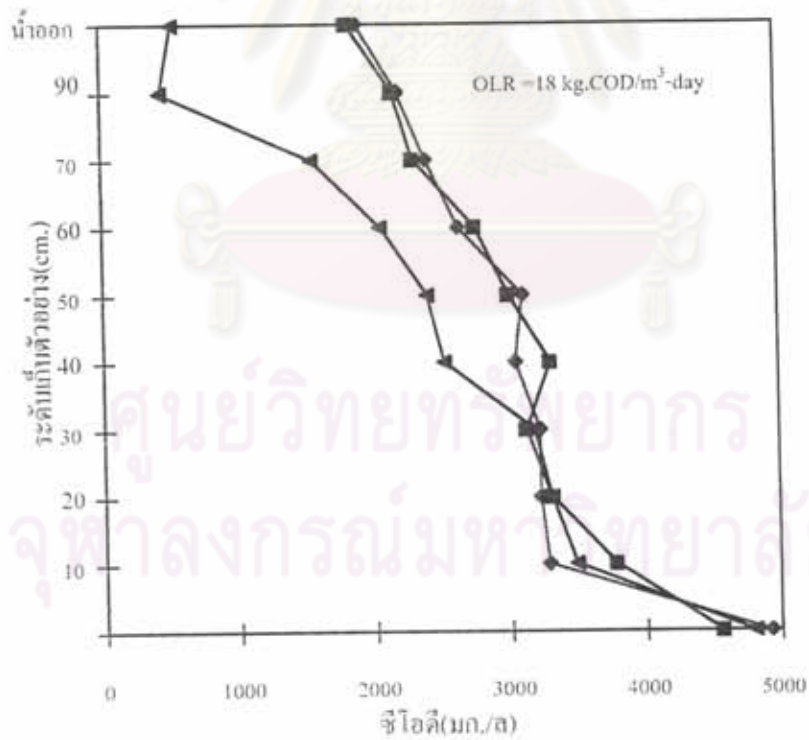
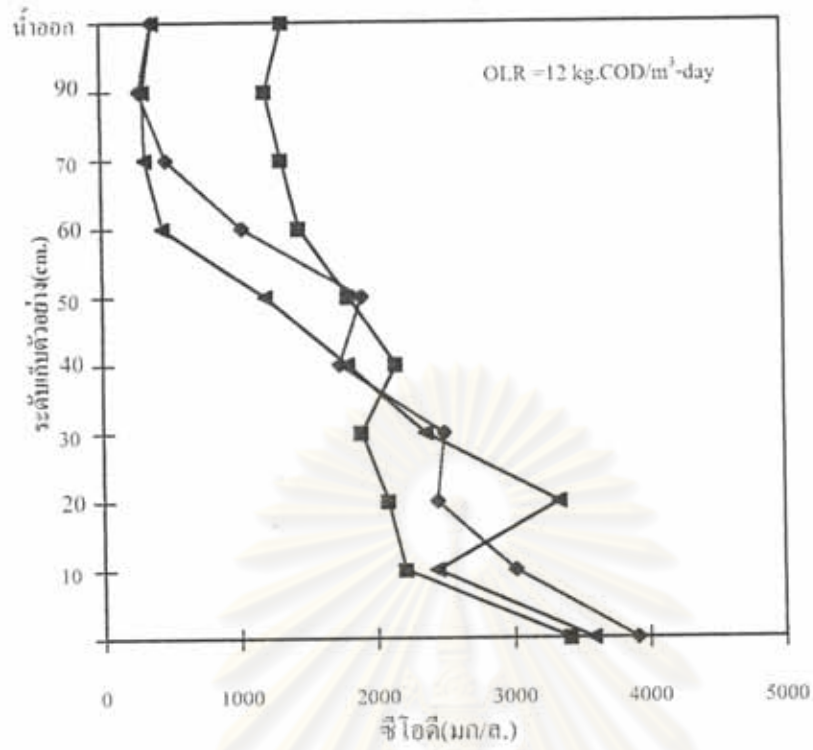
เช่นเดียวกับที่อ้างถึงกรณีไขมันระเหย จากชุดควบคุม(สมคะเน, 2538) รายงานว่าเกือบไม่มีการกำจัดซีโอดีเลยตลอดชั้นตะกอน

5.3.5 ของแข็งแขวนในถังยูเอเอสบีและเปอร์เซ็นต์โวลูไทล์ของตะกอน

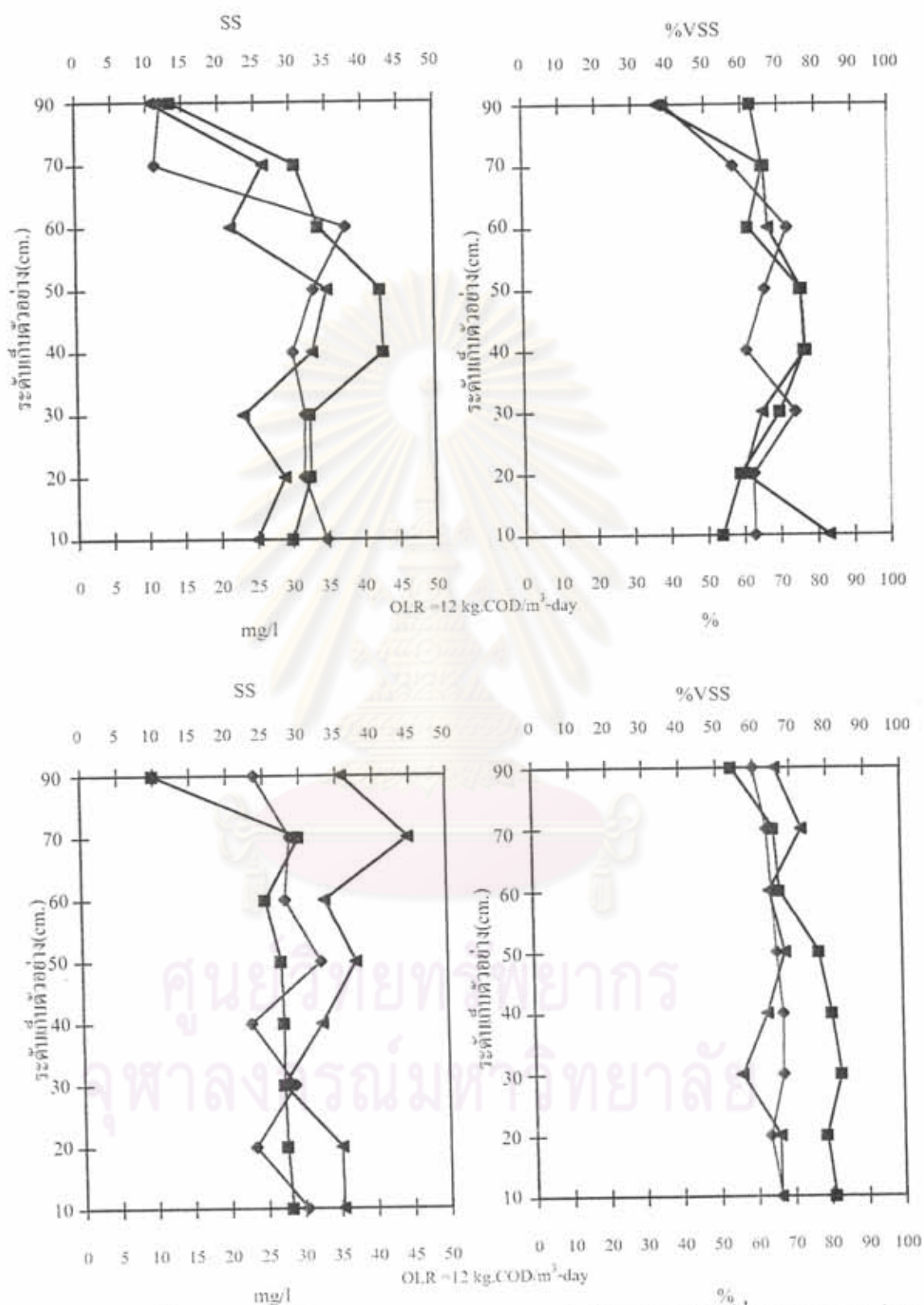
พบว่าในถังสามถังชั้นตะกอนจะแบ่งออกได้ 2 ส่วนคือ ชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) และชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) โดยชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) จะมีค่าตะกอนแขวนลอยสูงกว่า 40 ถึง 100 กรัม/ลิตร ในขณะที่ชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) จะมีค่า 15 - 30 กรัม/ลิตร (Lettiga et al, 1980) จากรูปที่ 5.22 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยและเปอร์เซ็นต์โวลูไทล์ของตะกอนในถังยูเอเอสบีนั้น ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าค่าตะกอนแขวนลอยของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) ทุกถังจะมีค่าอยู่ในช่วง 25-35 กรัม/ลิตร ยกเว้นเพียงช่วงระดับความสูง 40-50 ซม. จากก้นถังที่ 2 เท่านั้นที่มีค่าสูงถึง 43 กรัม/ลิตร แสดงว่าตะกอนภายในถังยูเอเอสบีในการวิจัยนี้มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ

ส่วนเปอร์เซ็นต์โวลูไทล์ของตะกอนแขวนลอยของถังที่ 1 และถังที่ 3 จะมีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 60-70% ตลอดชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่าตะกอนแขวนลอยลดลงในชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) เหลือประมาณ 40% ส่วนถังที่ 2 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์โวลูไทล์ของตะกอนประมาณ 60-70% ตลอดทั้งชั้นตะกอน แต่จะมีค่าเพียง 54% ในชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) ที่ระดับ 70-90 ซม. จากก้นถัง

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ปรากฏว่าตะกอนในถังที่ 1 และ 3 มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอน(granule) ตลอดทั้งถึงปฏิภาน โดยที่มีค่าตะกอนแขวนลอยค่อนข้างคงที่ประมาณ 25-30 และ 35 กรัม/ลิตรตามลำดับ ส่วนในถังที่ 2 ชั้นตะกอนยังแบ่งออกเป็น 2 ชั้นเช่นเดิม โดยชั้น



รูปที่ 5.21 แสดงปริมาณซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี
ถังที่ 1 (◆) ถังที่ 2 (■) ถังที่ 3 (▲)



รูปที่ 5.22 แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยและเปอร์เซ็นต์โวลูไทต์ที่ระดับความสูงต่างๆ ภายในถังยูเอเอสบี ดังที่ 1 (◆) ดังที่ 2 (■) ดังที่ 3 (▲)

ตะกอนนอน(Sludge Bed)มีค่าก่อนข้างคงที่ประมาณ 28-30 กรัม/ลิตร จากกันถึงระดับสูง 70 ซม. เนื่องจากนั้นค่าตะกอนแขวนลอยลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 10 กรัม/ลิตร

และเช่นเดียวกันเปอร์เซ็นต์โวลูไทล์ของตะกอนแขวนลอยถึงที่ 1 และถึงที่ 3 มีค่าก่อนข้างคงที่ตลอดทั้งชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ประมาณ 60-70% ส่วนถึงที่ 2 จะมีสูงถึงประมาณ 80% ช่วงระดับ 50 ซม.ล่าง. แล้วลดลงเหลือ 54% ที่ระดับ 90 ซม.จากกันถึง

ยังพบอีกว่าตะกอนที่ระดับต่ำกว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จะมีลักษณะเป็นเมือกเหลวสีขาวขุ่นปนกับตะกอนนอน(Sludge Bed)เป็นส่วนน้อย ปรากฏการณ์ดังกล่าวพบในทุกถังและในทั้งสองอัตราการสารอินทรีย์ แต่ที่ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันนั้นชั้นตะกอนบริเวณดังกล่าวจะเหลวกว่า

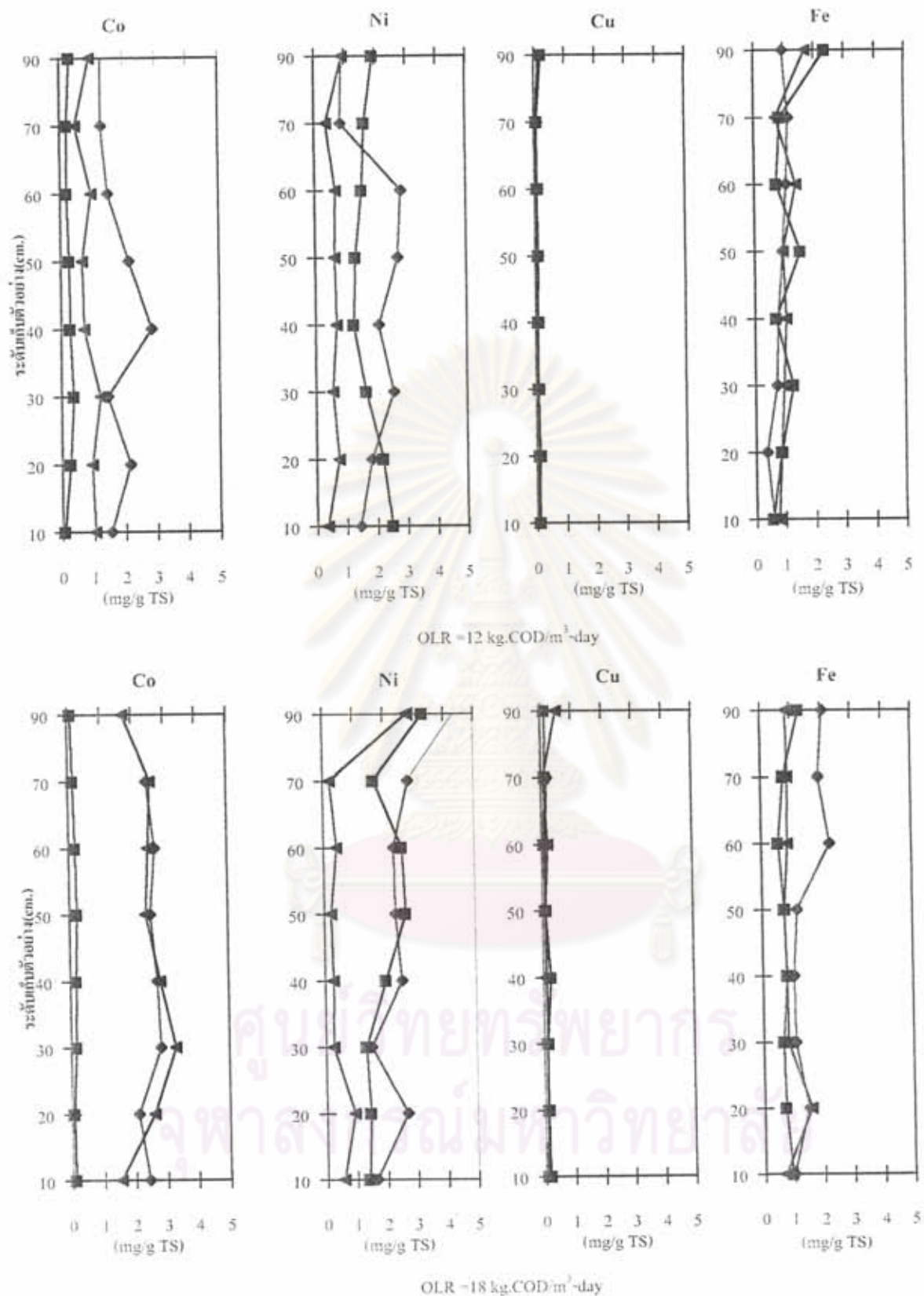
5.3.6 ปริมาณโลหะ

จากรูปที่ 5.23 แสดงปริมาณของโลหะในช่วงความสูงชั้นตะกอนของถังยูเอเอสบี ที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าตะกอนในถึงที่ 1 ปริมาณโคบอลต์สะสมสูงกว่าในถึงที่ 3 อย่างเห็นได้ชัดและยังมีปริมาณนิกเกิลสะสมสูงกว่าในถึงที่ 2 ด้วยเช่นกัน ในขณะที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ปริมาณโคบอลต์สะสมในถึงที่ 1 และถึงที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน และปริมาณนิกเกิลสะสมในถึงที่ 1 และถึงที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน

จากตารางที่ 5.17ที่แสดงข้อกำหนดมาตรฐานปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่จะถูกแยกประเภทการนำไปใช้ประโยชน์ เมื่อพิจารณาจากปริมาณนิกเกิลที่สะสมในตะกอน เพราะว่าถือเป็นตะกอนอันตรายตามตารางที่ 5.11-5.14 จะพบว่าตะกอนดังกล่าวไม่เหมาะที่จะนำไปทิ้งหรือนำไปทำปุ๋ย เนื่องจากมีปริมาณนิกเกิลสูงกว่า 200 mg/kg อย่างไรก็ตามตะกอนจากถังยูเอเอสบีไม่จำเป็นต้องนำไปทิ้งเพราะสามารถนำไปขายได้

จากการวิจัยที่อัตราการสารอินทรีย์ 12 และ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ได้สรุปรวมพารามิเตอร์ต่างๆตามลำดับความสูงไว้ดังรูปที่ 5.24และ5.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

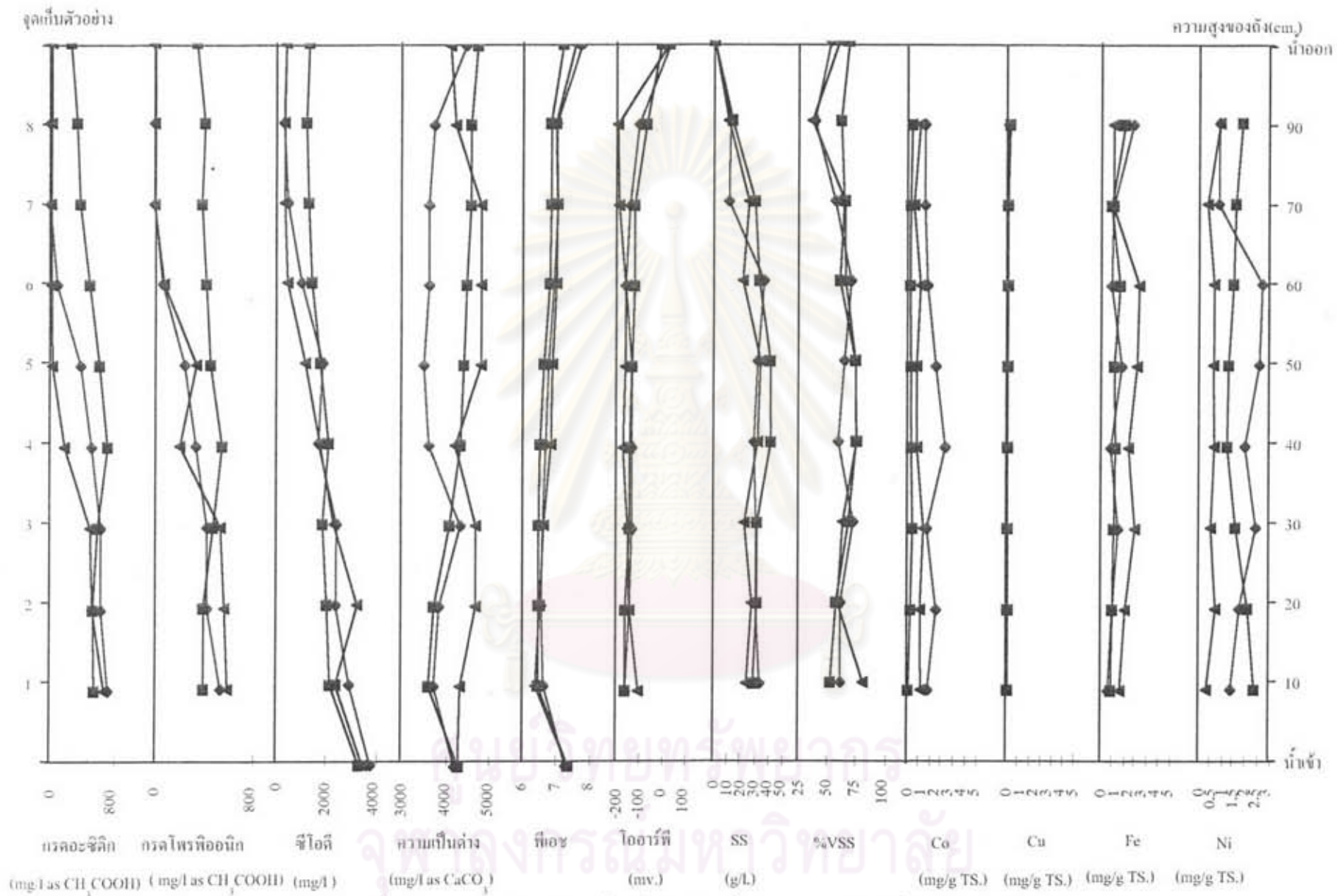


รูปที่ 5.23 แสดงปริมาณ โลหะตัวต่างๆที่สะสมในตะกอนที่ระดับความสูงต่างๆ
ภายในถังยูเอเอสบี ดังที่ 1 (◆) ดังที่ 2 (■) ดังที่ 3 (▲)

ตารางที่ 5.17 ข้อกำหนดเพื่อแยกประเภทการใช้งานของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักหรือสารเคมีของรัฐเม็กซิโก (ASCE, vol 1, 1992)

ชนิดโลหะ	ชนิดที่ 1 ไม่ควบคุมการใช้หาก ได้ผ่านการรับรองว่ามีค่า ไม่เกิน (มก./กก. ตะกอนแห้ง)	ชนิดที่ 2 พื้นที่ควบคุมการใช้งาน โดยผ่านการรับรองว่ามีค่า ไม่เกิน (มก./กก. ตะกอนแห้ง)	ชนิดที่ 3 พื้นที่ควบคุมและรับรองว่าจะ ต้องไม่ใช่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่ อาหาร หากสูงกว่าจะถูก บันทึกและมีความผิด (มก./กก. ตะกอนแห้ง)
แคดเมียม	2	25	25
ตะกั่ว	300	1000	1000
นิกเกิล	200	200	200
สังกะสี	2500	2500	2500
ทองแดง	1000	1000	1000
โครเมียม (รวม)	0	1000	1000
ปรอท	10	10	10
โมลิบดีนัม	10	10	10
โบรอน (ส่วนละลายน้ำ)	300	300	300
พีซีบี			
- ใช้เป็นปุ๋ย	2		
- ใช้เป็นส่วนผสมดิน	2		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

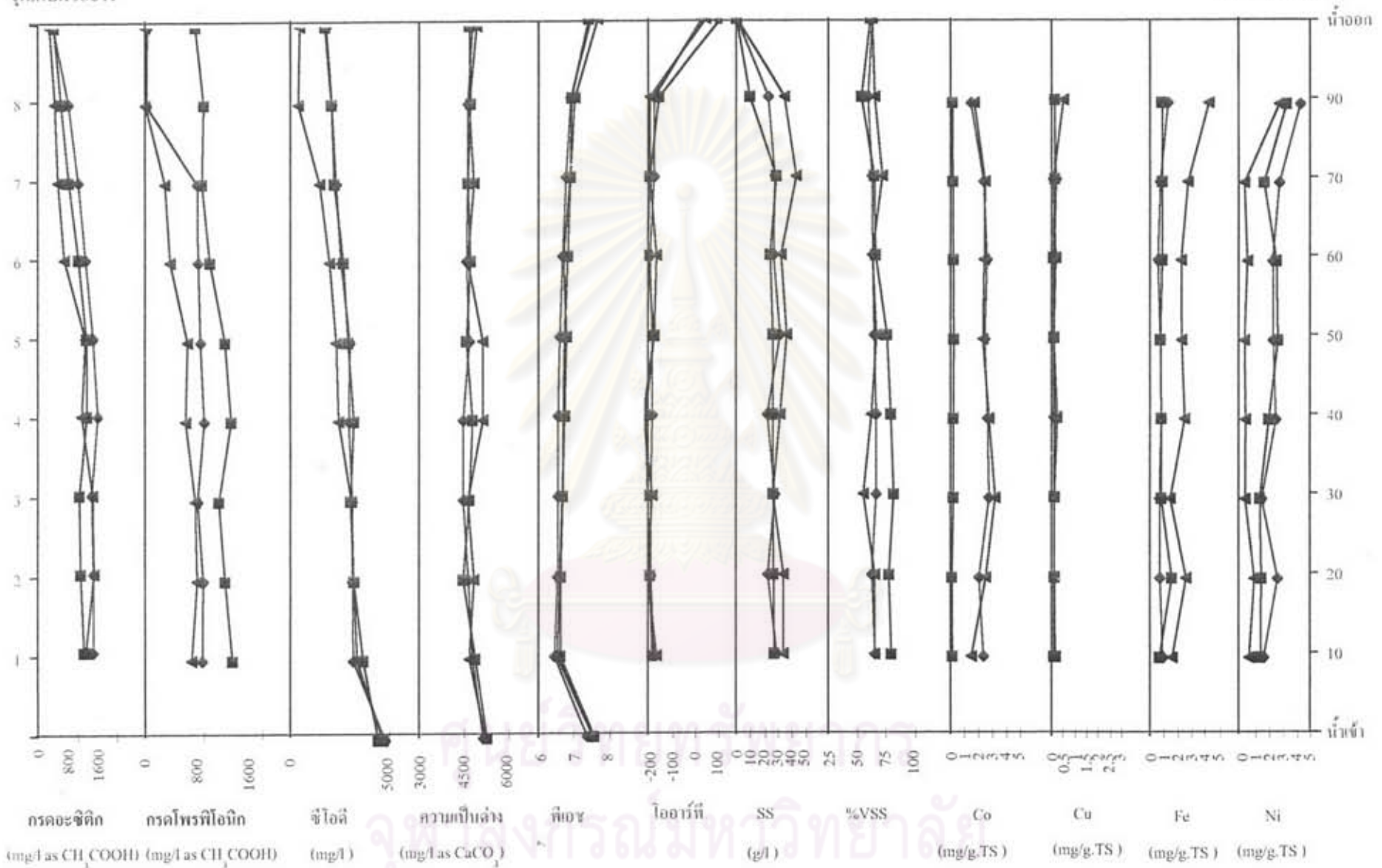


ภาพที่ 5.24 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆที่จุดเก็บตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ของถังยูเอสบีถังที่ 1 (◆), ถังที่ 2 (■) และ ถังที่ 3 (▲)

จุดเก็บตัวอย่าง

ความสูงของถัง(cm.)



ภาพที่ 5.25 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆที่จุดเก็บตัวอย่าง ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีดังที่ 1 (◆), ดังที่ 2 (■) และ ดังที่ 3 (▲)

5.4 อิทธิพลของนิกเกิลและโคบอลต์ต่อการเดินระบบยูเอเอสบี

แนวความคิดการกำหนดขอบเขตงานวิจัยนี้สืบเนื่องมาจากผลการวิจัยของสมคะเน จริตงาม (2538) เรื่อง ระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกริยายูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียปานกลาง และงานวิจัยของชำนาญ ภายประสิทธิ์(2538) เรื่อง การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียเข้มข้นสูง

ในงานของสมคะเน จริตงาม (2538) นั้นเตรียมน้ำเข้าตามตารางที่ 4.2 และใช้ถังปฏิกริยาใบหนึ่ง จากทั้งหมดสามถังเหมือนกับถังปฏิกริยาในงานนี้ แต่ไม่เติมทั้งไอออนของนิกเกิลและโคบอลต์ในน้ำเข้า ปรากฏว่าระบบยูเอเอสบีในงานวิจัยดังกล่าวทำงานได้ดีมากที่อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน., เวลาถักน้ำเท่ากับ 12 ชม. มีประสิทธิภาพสูงถึง 95 %และ แต่เมื่ออัตราการระสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 9 และ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.ประสิทธิภาพผลต่ำเหลือ 29.5% ในขณะที่งานชำนาญ ภายประสิทธิ์(2538) เมื่อเติมนิกเกิลและโคบอลต์ลงในน้ำเข้า ปรากฏว่าระบบยูเอเอสบีสามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้ถึง 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยคาดว่าเหตุที่ชำนาญ ภายประสิทธิ์(2538) สามารถเดินระบบได้ที่อัตราการระสารอินทรีย์สูงกว่างานของสมคะเน จริตงาม (2538) น่าจะเป็นผลมาจากการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ในน้ำเข้า

5.4.1 การฟื้นประสิทธิภาพเนื่องจากโคบอลต์

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 ว่ามีรายงานว่าทั้งนิกเกิลและโคบอลต์เป็นส่วนประกอบสำคัญของโคเอ็นไซม์และกลุ่มพรีออสติติก(prosthetic)ของเอ็นไซม์สำคัญของจุลชีพสร้างมีเทนและจุลชีพสร้างอะซิติก เช่น F420 ในไฮโดรจีนเนส ,F430 ในเมธิลทรานสเฟอร์เรส และ วิตามินบี 12 เป็นต้น ดังนั้นหากขาดนิกเกิลและโคบอลต์ในสารอาหารของจุลชีพสร้างมีเทนจะไม่สามารถเติบโตและดำรงชีวิตอยู่ได้ แต่หากปริมาณของโลหะทั้งสองชนิดมีน้อยเกินไปก็จะทำให้ปริมาณของโลหะทั้งสองชนิดกลายเป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของจุลชีพสร้างมีเทน หากมีปริมาณมากพอก็จะช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนแต่หากมีมากเกินไปก็จะไปยับยั้งการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนได้เช่นกัน ในการวิจัยนี้ได้พยายามวิเคราะห์ผลช่วงต่างๆ เพื่อชี้ให้เห็นบทบาทของนิกเกิลและโคบอลต์ต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี ภายได้เงื่อนไขการวิจัยตามบทที่ 4 จะสามารถระบุอิทธิพลของการเติมไอออนนิกเกิลและโคบอลต์และอธิบายปรากฏการณ์ในการวิจัยได้ดังนี้

การเติมนิกเกิลช่วยกระตุ้นการทำงานของยูเอเอสบีอย่างชัดเจน จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดควบคุม(สมคะเน,2538)ที่ไม่ได้เติมนิกเกิลและโคบอลต์กับถังยูเอเอสบีที่ 2 ที่เติมนิกเกิล ที่อัตราการระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 29.5% และ 60%ตามลำดับซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก จึงอาจจะสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากอิทธิพลของการเติมนิกเกิลไปช่วยกระตุ้นการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนซึ่งเป็นจุลชีพหลักของระบบยูเอเอสบี

การเติมโคบอลต์นั้นช่วยกระตุ้นการทำงานของยูเอเอสบีได้มากกว่าการเติมนิกเกิล โดยพิจารณาจากผลการทดลองในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ประมาณ 9-12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในช่วงแรกที่ระบบมีอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)มีสีน้ำตาลเข้มด้วยเม็ด(granule)สีขาวซึ่งจะมีมากที่บริเวณก้นถัง ยิ่งทดลองนานขึ้นปริมาณเม็ด(granule)สีขาวก็ยิ่งลามขยายตัวขึ้นตามความสูงของชั้นตะกอนของทุกถัง แต่ภายหลังจากการเติมโลหะทั้งสองชนิดในน้ำเข้าตามตารางที่ 4.2 สีตะกอนของแต่ละถังเริ่มเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ในถังที่ 1 ซึ่งเติมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์เปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้นภายหลังการเติมเพียง 3 วัน และกลายเป็นสีดำทั้งชั้นตะกอนภายใน 4 สัปดาห์ ส่วนในถังที่ 3 ที่เติมเพียงโคบอลต์ตะกอนจะเปลี่ยนสีในลักษณะเดียวกันแต่ต้องใช้เวลาถึง 5 สัปดาห์จึงกลายเป็นสีดำทั้งชั้นตะกอน ในขณะที่ถังที่ 2 ซึ่งเติมเพียงนิกเกิลนั้นสีของเม็ดตะกอนยังคงมีสีขาวเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มเดิมช่วงก่อนเติมโลหะ และกลายเป็นสีขาวทั้งชั้นตะกอนภายใน 4 สัปดาห์

Thaweewri J.(1994) ได้รายงานความสัมพันธ์ของสีเม็ดตะกอนกับความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (Specific Methanogenic Activity , SMA) ว่า SMAของเม็ดสีดำ > SMAของเม็ดสีขาว > SMAของเม็ดสีเทา อีกทั้งยังระบุว่าขนาดของเม็ดสีดำ < เม็ดสีขาว < เม็ดสีเทา ดังที่ได้กล่าวข้างต้นว่าถังที่ 1 และ 3 ที่เติมโคบอลต์ในงานวิจัยนี้ทำให้เม็ดตะกอน(granule)มีสีดำคล้ำขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จึงอาจระบุได้ว่าการเติมโคบอลต์ช่วยกระตุ้นให้ชั้นตะกอนมีความสามารถในการสร้างมีเทนดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

นอกจากนี้สิ่งที่สามารถยืนยันว่าการเติมโคบอลต์นั้นช่วยกระตุ้นการทำงานของยูเอเอสบีได้อย่างชัดเจน ก็คือ ช่วงกลางเดือนพฤศจิกายนที่ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายตะกอน (granule) ชั้นบนของตะกอนออกทั้งหมดถังละ 2 ลิตร ทำให้ประสิทธิภาพของถังที่ 2 และถังที่ 3 ลดลงอย่างมาก ส่วนถังที่ 1 ถึงแม้ประสิทธิภาพไม่ลดลงแต่เม็ด(granule)เปลี่ยนเป็นสีขาว ภายหลังจากเดินระบบต่อไปด้วยเงื่อนไขเดิมอีก 3-4 สัปดาห์ ถังที่ 1 ที่เติมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์ เม็ดตะกอนสีขาวก็เปลี่ยนกลับมาเป็นสีดำเหมือนเดิม ส่วนในถังที่ 2 และถังที่ 3 ที่ประสิทธิภาพลดลงอย่างมายนั้นมีเพียงถังที่ 3 ที่เติมโคบอลต์เท่านั้นที่ประสิทธิภาพของระบบได้ฟื้นจากประมาณ 50% ขึ้นเป็นเท่ากับ 90%ภายใน 20 วันในขณะที่ถังที่ 2 ที่เติมเพียงนิกเกิลแม้จะให้เวลาถึง 50 วัน แต่ประสิทธิภาพของระบบไม่มีแนวโน้มจะกลับมาเหมือนเดิมและมีค่าประมาณ 60% และเม็ด(granule)ยังคงมีสีขาว เป็นข้อยืนยันได้อย่างดีว่าการเติมโคบอลต์ช่วยกระตุ้นการทำงานของยูเอเอสบีและยังอาจกล่าวได้ว่าปริมาณโคบอลต์ในน้ำเข้าของถังที่ 2 ซึ่งวัดปริมาณโคบอลต์ในน้ำนั้นได้ต่ำมากเพียง 0.01 - 0.1 มก./ล. ว่าปริมาณโคบอลต์ดังกล่าวต่ำเกินไป จนทำให้ประสิทธิภาพของยูเอเอสบีในถังที่ 2 ไม่อาจฟื้นกลับมาดีได้เท่ากับถังที่เติมโคบอลต์ด้วย

ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน การเติมนิกเกิลพร้อมกับโคบอลต์ในน้ำเข้าช่วยกระตุ้นให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยพิจารณาจากการเติมนิกเกิลพร้อมกับโคบอลต์ในถังที่ 1 ให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงกว่าถังที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์ ตะกอนจากถังที่ 1 จะมีขนาดเล็กกว่าในถังที่ 3 แต่มีสีดำเหมือนกัน หากดูค่าเฉลี่ยของซีโอดีและกรดไขมัน ระยะเวลาของ

น้ำออกของถังต่างๆเป็นดังนี้ $COD_{Ni\&Co} < COD_{Co} < COD_{Ni}$ และ $VFA_{Ni\&Co} < VFA_{Co} < VFA_{Ni}$ แม้ว่าตัวเลขไม่ต่างกันมากนักแต่อาจตั้งเป็นข้อสังเกตได้ แต่ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันปรากฏว่าถังที่ 1 ซึ่งเติมทั้งนิกเกิลและโคบอลต์กลับมีประสิทธิภาพต่ำกว่าถังที่ 3 ที่เติมเพียงโคบอลต์

นอกจากนี้ยังระบุได้ว่าโคบอลต์ช่วยส่งเสริมการก่อเม็ดตะกอน ในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ประมาณ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)ของถังที่ 1 และถังที่ 3 ซึ่งมีการเติมโคบอลต์เริ่มกลายเป็นเม็ด(granule)ขนาดเล็กๆ ในขณะที่ชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket)ของถังที่ 2ซึ่งเติมนิกเกิล ชั้นตะกอนลอยยังคงมีลักษณะละเอียดและฟุ้งกระจาย จึงคาดว่าเนื่องมาจากการเติมโคบอลต์ที่อาจเป็นสาเหตุทางตรงหรือทางอ้อมที่ทำให้ปุยตะกอนเหนือชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)กลายเป็นเม็ด ปรากฏการณ์นี้สังเกตได้ชัดตั้งแต่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ประมาณ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และยังคงเป็นต่อไปจนจบการวิจัย

ปริมาณนิกเกิลในน้ำเข้าซึ่งเตรียมตามตารางที่ 4.2 ก่อนที่จะเติมนิกเกิลนั้นไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดการเติบโตของจุลชีพสร้างมีเทนในงานวิจัยนี้ โดยพิจารณาจากผลการทดลองช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ประมาณ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่มีการถ่ายชั้นตะกอนนอนบนจนประสิทธิภาพในถังที่ 2ซึ่งเติมเพียงนิกเกิลและถังที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์ตกต่ำ แต่ปรากฏว่าด้วยเวลาเท่ากันมีเพียงถังที่ 3 เท่านั้นที่สามารถฟื้นฟูประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี และมีเม็ดตะกอน(granule)เกิดใหม่เป็นเม็ดแน่นสีดำซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าน้ำเข้าของถังที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์ก็ทำให้มีธาตุอาหารและแร่ธาตุต่างๆครบถ้วน จึงอาจระบุว่าน้ำเข้าของถังที่ 3ที่ไม่ได้เติมนิกเกิลนั้นมีปริมาณนิกเกิลเพียงพอที่จะทำให้ระบบยูเอเอสบีทำงานได้อย่างปกติ

น้ำเข้าซึ่งเตรียมตามตารางที่ 4.2 หากไม่มีการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ น้ำเข้าดังกล่าวก็ไม่ได้ขาดโลหะทั้งสองตัวอย่างแน่นอน เนื่องจากในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้นมีความต้องการโลหะทั้งสองชนิดเช่นเดียวกับที่ต้องการธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน หรือ ฟอสฟอรัส เพื่อนำไปใช้เป็นโครงสร้างเซลล์(building block) ขณะที่จุลชีพสร้างมีเทนต้องการโลหะทั้งสองไปใช้ในเอ็นไซม์หลักที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของจุลชีพนั้น ดังนั้นหากในน้ำเข้าขาดนิกเกิลหรือโคบอลต์ระบบยูเอเอสบีนั้นจะต้องล้มเหลวในเวลาไม่นาน ข้อยืนยันว่านิกเกิลและโคบอลต์มีอยู่แน่นอนก็คือผลการวิจัยในช่วงอัตราภาระสารอินทรีย์ประมาณ 3 ถึง 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันของงานวิจัยนี้ พบว่าในช่วงดังกล่าวระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่า 90% แม้ว่าจะไม่มีการเติมนิกเกิลและโคบอลต์ลงในน้ำเข้า

อีกทั้งยังพบว่าตลอดช่วงดังกล่าวมีเม็ดตะกอนเพิ่มขึ้นตลอด ซึ่งหากน้ำเข้าระบบนั้นขาดนิกเกิลหรือโคบอลต์จะเป็นไปไม่ได้ที่มวลตะกอนในถังจะเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบจะมีค่าสูงถึงที่ สอดคล้องกับงานวิจัยของสมคะเน จริตงาม(2538) และชำนาญ กายประสิทธิ์(2538) ที่รายงานว่าแม้จะไม่ได้เติมนิกเกิลหรือโคบอลต์ ระบบยูเอเอสบีสามารถทำงานได้

อย่างมี ประสิทธิภาพสูงที่ อัตราการระสารอินทรีย์ประมาณ 6 กก.ซี ไอดี/ลบ.ม.-วันและมีเม็ด ตะกอน(granule)เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

5.4.2 ปฏิกิริยาการแบ่งเฟสปฏิริยาภายในชั้นตะกอน

ปรากฏการณ์สำคัญที่สังเกตพบในงานวิจัยนี้ คือ ปรากฏการณ์แบ่งเฟสปฏิริยาภายในชั้น ตะกอน โดยปฏิริยาย่อยสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายในชั้นตะกอนของถังยูเอเอสเกิด แยกออกเป็นสองชุดอย่างชัดเจนตามความสูงของชั้นตะกอนดังนี้

- ชั้นล่างมีลักษณะเป็นปฏิริยาไฮโดรไลส์และปฏิริยาสร้างกรด
- ส่วนชั้นบนมีลักษณะเป็นปฏิริยาสร้างมีเทน

การแบ่งสองเฟสนี้เกิดขึ้นไม่ชัดเจนที่ค่าอัตราการระสารอินทรีย์ต่างๆ ประมาณ 6 กก.ซี ไอ ดี/ลบ.ม.-วัน เวลาที่ก้นน้ำเท่ากับ 12 ชั่วโมงในชุดควบคุม(สมคะเน , 2538) และที่อัตราการระสารอินทรีย์ เท่ากับ 12 กก.ซี ไอ ดี/ลบ.ม.-วัน เวลาที่ก้นน้ำประมาณ 6 ชั่วโมง ของชุดควบคุม(สมคะเน,2538)ชั้นตะกอน ไม่มีการแบ่งเฟสและโดยเป็นชั้นสร้างกรดเป็นหลัก ขณะที่ในการวิจัยชุดนี้ที่ค่า 12 กก.ซี ไอ ดี/ลบ.ม.-วัน และเวลาที่ก้นน้ำเท่ากับ 6 ชม . กลับเกิดการแบ่งเฟสภายในชั้นตะกอนที่ชัดเจน ดังรูปที่ 5.24 ในถังที่ 1 และถังที่ 3 การแยกเฟสของปฏิริยาดังกล่าวสามารถสังเกตได้ชัดเจนจากรูปที่ 5.24 ซึ่งรวบรวมค่า พารามิเตอร์ต่างๆตามความสูงของชั้นตะกอนที่อัตราการระสารอินทรีย์ประมาณ 12 กก.ซี ไอ ดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าค่ากรดไขมันระเหยและซีไอดีมีค่าค่อนข้างคงที่ตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 จนถึงจุดเก็บตัวอย่างที่ 5 (ระดับ 10 ถึง 50 ซม.จากก้นถัง)แล้วจึงถูกกำจัดอย่างรวดเร็วตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างที่ 6 ขึ้นไป ค่าพีเอชก็ เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่แสดงการแบ่งเฟสของปฏิริยาโดยสังเกตว่าที่ตั้งแต่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 - จุดเก็บ ตัวอย่างที่ 5 ค่าพีเอชต่ำกว่า 6.8 ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับปฏิริยาสร้างมีเทนและค่าพีเอชที่เหนือจุดเก็บ ตัวอย่างที่ 5 จะมีค่าสูงกว่า 6.8

ปรากฏการณ์ที่ชั้นตะกอนด้านล่างกลายเป็นชั้นสร้างกรดนั้นไม่สามารถอ้างได้ว่าเป็น เพราะชนิดของโลหะที่เติมเข้าไปได้ชัดเจน จากการพิจารณาตารางที่ 5.10 ถึง 5.16 จะพบว่าชุดควบคุม ที่ไม่เติมทั้งนิกเกิลและ โคบอลต์นั้นชั้นตะกอนเป็นชั้นสร้างกรดทั้งชั้น ส่วนชุดที่เติมนิกเกิลหรือ โคบอลต์ หรือเติมทั้งคู่ก็ทำให้ชั้นตะกอนตอนล่างมีค่าพารามิเตอร์ตัวต่างๆเหมือนกัน ในถังที่ 2 ซึ่งเติมเพียงนิกเกิล นั้นชั้นตะกอนมีลักษณะเป็นชั้นสร้างกรดมากกว่าอีกสองถัง ก็ไม่อาจระบุได้ว่าเนื่องมาจากการเติม นิกเกิลเพราะสิ่งนี้เกิดขึ้นภายหลังจากที่ผู้วิจัยทำการดึงเม็ดตะกอนชั้นบนออกจากถังปฏิริยาดังละ 2 ลิตร จนกระทั่งประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของถังที่ 2 ลดลงจาก 90 % เหลือเพียง 60 % ซึ่งแสดงว่าในถังที่ 2 ที่เติมเพียงนิกเกิลนั้นมีการแบ่งเฟสของปฏิริยาในชั้นตะกอนอยู่ก่อน โดยชั้นตะกอนตอนบนนั้นทำ หน้าที่สร้างมีเทนดังนั้น เมื่อถูกถ่ายชั้นตะกอนส่วนบนที่มีความสามารถในการกำจัดซีไอดีหรือในการ สร้างมีเทนออกมา ประสิทธิภาพของระบบจึงตกต่ำลงทันที

การแบ่งเฟสปฏิริยาภายในถังยูเอเอสบีไบเดียวกันทำให้ควบคุมค่าพีเอชภายในถังยากขึ้น แตกต่างจากการแยกเฟสปฏิริยาข่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนออกเป็นสองถังปฏิริยา ซึ่งมีข้อดีหลายประการเช่นในเฟสแรกที่สร้างกรดทำหน้าที่ช่วยในการไฮโดรไลส์สารอาหารขนาดใหญ่ให้สามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น และจุลชีพกลุ่มสร้างกรดก็จะนำสารอาหารที่ขนาดเล็กลงนั้นไปใช้ จนเกิดเป็นกรดไขมันระเหยขนาดเล็กๆ เช่น กรดอะซิติก กรดโพรนิโอนิก กรดบิวทริก ฯลฯ แต่ปัญหาในการควบคุมพีเอชจะน้อยกว่าเนื่องจากจุลชีพในถังสร้างกรดนี้สามารถทำงานได้ในช่วงพีเอชที่กว้างคือ 5.0 - 7.5 ทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการควบคุมพีเอช น้ำออกจากถังแรกจะกลายเป็นกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนอะตอม 1-3 อะตอม เมื่อเข้าสู่ถังที่สองจึงข่อยสลายได้ง่ายและถูกไปใช้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบรวมสามารถรับอัตราภาระสารอินทรีย์ได้สูงกว่าปฏิริยาข่อยสลายแบบเฟสเดียวรวมทั้งมีปัญหาการล้มเหลวของระบบน้อยลง ในกรณีของการวิจัยนี้ การแบ่งเฟสปฏิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นภายในชั้นตะกอนของถังไบเดียวโดยตะกอนชั้นล่างเป็นช่วงไฮโดรไลส์และสร้างกรด ส่วนชั้นบนเป็นช่วงสร้างมีเทน ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการควบคุมสภาวะต่างๆ รวมทั้งค่าพีเอชให้เหมาะแก่การทำงานของทั้งสองเฟสภายในถังไบเดียวเป็นเรื่องยาก

5.4.3 สมมติฐานของสาเหตุการแบ่งเฟสภายในชั้นตะกอน

ปฏิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนประกอบด้วยปฏิริยาข่อยหลายชุดและมีจุลชีพเกี่ยวข้องกันหลายกลุ่มซึ่งต้องพึ่งพาอาศัยกัน จากรูปที่ 5.21 จะเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณซีโอดีของถังที่ 1 และถังที่ 3 ถูกลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อไหลผ่านชั้นตะกอนตอนบนเท่านั้นแสดงว่ามีการแบ่งเฟสที่ชัดเจน คาดว่าต้องมีปัจจัยแวดล้อมเฉพาะบางอย่างในตะกอนชั้นล่างที่จำกัดไม่ให้ปฏิริยาสร้างมีเทนหรือกำจัดอะซิเตดหรือโปรพิโอเนตเกิดขึ้นหรือเกิดได้ช้า ในขณะที่ชั้นตะกอนตอนบนไม่มีปัจจัยดังกล่าวมาขัดขวางหรือยับยั้งการดำเนินไปของปฏิริยากำจัดซีโอดี ซึ่งอาจแจกแจงดังต่อไปนี้

ก) พีเอชตะกอนชั้นล่างไม่เหมาะสมต่อปฏิริยาสร้างมีเทน

จากรูปที่ 5.18 จะพบว่าชั้นตะกอนตอนล่างซึ่งเป็นเฟสสร้างกรดนั้นมีค่าพีเอชน้อยกว่า 6.8 ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำงานและการดำรงชีวิตของจุลชีพ 2 กลุ่ม กล่าวคือจุลชีพสร้างอะซิติกจากการข่อยกรดโพรพิโอนิก ที่มีค่าพีเอชเหมาะสม 6.8-8.5 และจุลชีพสร้างมีเทนจากกรดอะซิติกที่มีค่าพีเอชเหมาะสม 6.8-7.2 (Boone and Xun, 1987) จึงพบว่าในชั้นตะกอนช่วงที่พีเอชต่ำกว่า 6.8 ปริมาณกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกจะสะสมตัวสูง ในขณะที่จุลชีพสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (H_2 -Utilizing MB) ทำงานได้เนื่องจากพีเอชเหมาะสมเท่ากับ 6.8 - 5.4 (Attal et al, 1988)

จากค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลชีพสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน (H_2 -utilizing MB) มีค่าประมาณ 6.8-5.4 จึงอาจจะได้ว่าปริมาณกรดโพรพิโอนิกที่มีค่าสูงในตะกอนชั้นล่างไม่ได้เนื่องมาจากค่าความดันข่อยของไฮโดรเจนมีค่าสูงหรือมาจากการขาดจุลชีพสร้างมีเทนจากไฮโดรเจนเพราะช่วงพี

เอชที่ระดับดังกล่าวยังเหมาะสมต่อการทำงานและดำรงชีพ และอาจสรุปได้ว่าการเกิดเฟสสร้างกรดในตะกอนชั้นล่างไม่ได้มีเหตุจากชนิดของโลหะที่เดิมแต่เนื่องมาจากที่เอชมีค่าไม่เหมาะสมต่อจุลชีพที่สร้างมีเทน อย่างไรก็ตามที่เอชที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในงานวิจัยนี้เป็นเพียงปลายเหตุ จำเป็นจะต้องมีสาเหตุอื่นมาก่อน

ข) ชนิดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมเป็นน้ำเข้าทำให้เกิดกรดไขมันระเหยปริมาณสูงที่กั้นถึง

ในการวิจัยนี้ใช้น้ำเข้าซึ่งเตรียมจากน้ำสัปปะรดเข้มข้น ซึ่งมีส่วนประกอบจากน้ำตาลผลไม้เป็นหลัก น้ำตาลกลุ่มนี้สามารถย่อยสลายได้ง่าย ดังนั้นเมื่อน้ำเข้าสู่ตะกอนล่างจากถังปฏิกรณ์ น้ำตาลกลุ่มนี้จะถูกแปลงเป็นกรดไขมันระเหยตัวต่างๆอย่างรวดเร็วทำให้ในตะกอนชั้นล่างเกิดกรดอะซิติก และโพรพิโอนิกปริมาณสูงอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่น่าสังเกตว่าเหตุใดปริมาณกรดไขมันระเหยจึงไม่ถูกย่อยสลายไปอย่างรวดเร็วเหมือนที่เกิดในถังสร้างมีเทนในระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั่วไป

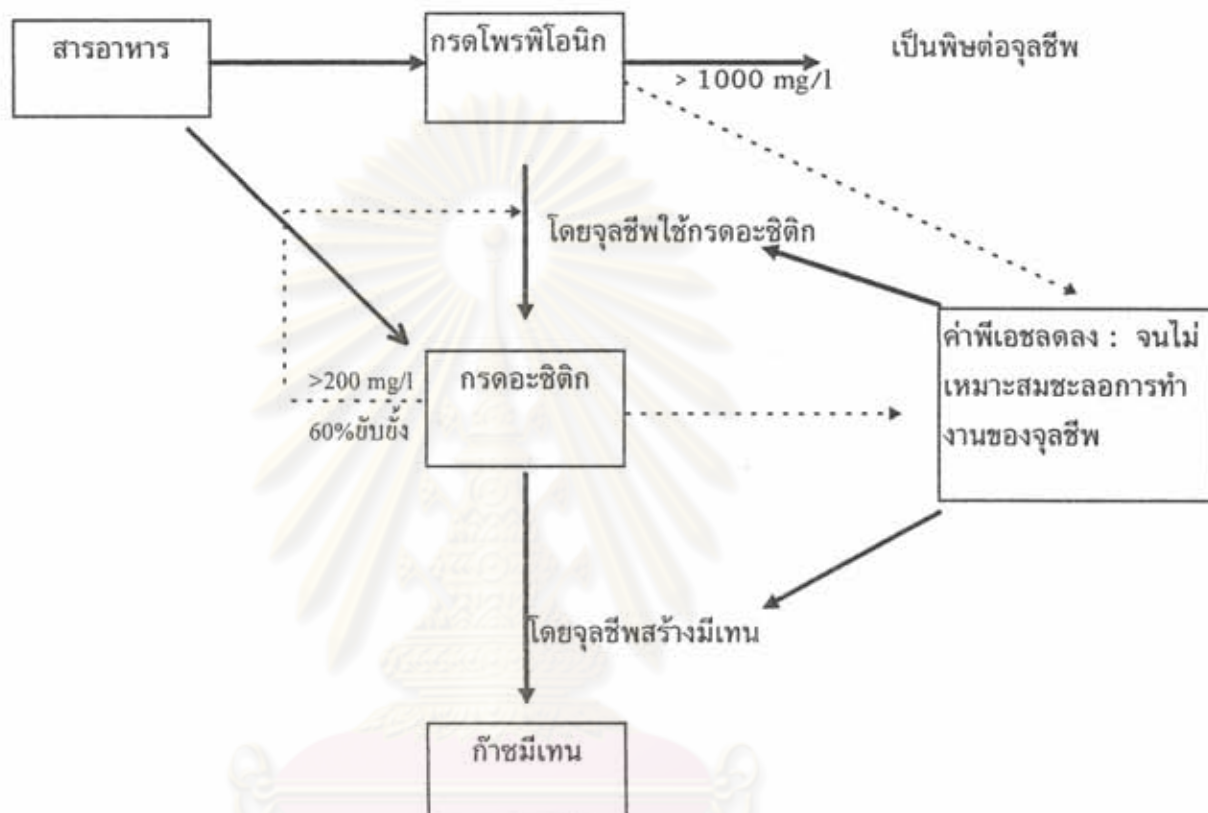
ค) กรดอะซิติกปริมาณสูงสามารถไปยับยั้งการย่อยสลายกรดโพรพิโอนิก

จากรูปที่ 5.19 และ 5.21 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยและค่าซีไอดีตามลำดับความสูงที่ค่าอัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วันนั้น พบว่าค่าซีไอดีและกรดไขมันระเหยจะลดลงช้าๆที่ระดับชั้นตะกอนสูง 10 ถึง 50 ซม.จากกันถึง กล่าวคือกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิกมีค่าประมาณ 300-800 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกและมีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.8 แต่เมื่อกรดอะซิติกมีค่าต่ำกว่า 200 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกและพีเอชสูงกว่า 6.8 ปริมาณซีไอดีและกรดไขมันระเหยจึงถูกกำจัดลงอย่างรวดเร็ว ที่อัตราการสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เวลาเก็บน้ำเท่ากับ 6 ชม. ปริมาณกรดไขมันระเหยที่สะสมจะมีค่าสูงขึ้นอีก พบว่าค่าซีไอดีและกรดไขมันระเหยจะอย่างรวดเร็วเมื่อกรดอะซิติกมีค่าต่ำกว่า 1000 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกและพีเอชสูงกว่า 6.8

Mawson และคณะ (1991) อ้างว่ากรดอะซิติกปริมาณสูงกว่า 500 และ 1000 มก./ล.ในรูปกรดอะซิติกจะไปชะลอปฏิกิริยากำจัดกรดโพรพิโอนิกได้ 30% และ 55% ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองชุดที่ 2/1 ถึง 2/3 ที่อัตราการสารอินทรีย์เท่ากับ 18 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อปริมาณกรดอะซิติกสูงก็ทำให้อัตราการกำจัดกรดโพรพิโอนิกชดเชยตัวสิ่งที่จะเกิดตามมาคือค่าพีเอชลดลงจากการสะสมตัวของกรดไขมันระเหยซึ่งจะทำให้สภาพแวดล้อมในการกำจัดกรดอะซิติกแย่ลง จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบตกต่ำลงหรือความสามารถในการกำจัดซีไอดีลดต่ำลงในที่สุด ดังนั้นการแบ่งเฟสปฏิกิริยาในชั้นตะกอนไม่ได้ส่งผลช่วยให้ระบบสามารถรับค่าอัตราการสารอินทรีย์สูงขึ้นอย่างที่คาดไว้แต่เดิม

Gorris, Van Deursen and Van der Drift (1989) พบว่าการย่อยสลายของกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทิเรต ในการเริ่มเลี้ยงถังปฏิกรณ์แบบชั้นตะกอนนอนขยายตัว (Fluidized bed reactor) พบว่า ปริมาณกรดอะซิติกมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะชะลออัตราปฏิกิริยาการย่อยกรดโพรพิโอนิกลง 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ปริมาณต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่ส่งผลใดๆต่อการย่อยสลายกรดโพรพิโอนิก

จากข้อมูลการรายงานจากนักวิจัยต่างๆจึงขอนำมาแสดงไว้ในรูปที่ 5.26 ซึ่งแสดงวงจรชีวิตจากการสะสมตัวของกรดไขมันระเหย ในการวิจัยนี้ทุกชุดการทดลองจะพบว่าเกือบทั้งชั้นตะกอนมีค่ากรดอะซิติกสูงกว่า 200 มก./ล. ยกเว้นในชั้นตะกอนระดับบนของชุดการทดลองที่ 1/1 และ 1/3



รูปที่ 5.26 แสดงวงจรชีวิตจากการสะสมตัวของกรดไขมันระเหย

ปริมาณกรดอะซิติกสูงดังกล่าวอาจจะบ่งชี้ว่าอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย(กรดโพรพิโอนิก)

ง) โคบอลต์ช่วยกระตุ้นให้ตะกอนชั้นบนกลายเป็นเฟสสร้างมีเทน

ชนิดของโลหะไอออนที่เติมในแต่ละการทดลองได้แก่ นิกเกิล โคบอลต์ นั้นไม่เป็นสาเหตุให้ชั้นตะกอนตอนล่างมีลักษณะเป็นเฟสสร้างกรดอย่างที่อ้างแล้ว ว่าที่อัตราภาวะสารอินทรีย์เท่ากับ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน , เวลาพักน้ำเท่ากับ 6 ชั่วโมง ชั้นตะกอนตอนล่างกลายเป็นเฟสสร้างกรดนั้นปรากฏอยู่ในทุกชุดการทดลองไม่ว่าจะเติมนิกเกิลหรือ โคบอลต์หรือเติมทั้งคู่หรือไม่เติมทั้งคู่ก็ตาม ดังนั้นหลังการตั้งชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ตอนบนจากทั้งสามถึงในกลางเดือนพฤศจิกายน จึงทำให้

ประสิทธิภาพของระบบในชุดการทดลองที่ 1/2 และ 1/3 ลดต่ำลงอย่างมากทันทีแสดงว่าชั้นตะกอนด้านล่างมีสภาพเป็นชั้นสร้างกรดยุ่ก่อนแล้ว

แต่ชนิดของโลหะอาจมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิดเฟสสร้างมีเทนขึ้นที่ชั้นตะกอนด้านบน โดยพบว่าหลังการถ่ายชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)ด้านบนออกแล้วตามมาด้วยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังที่ 2 และถังที่ 3 ลดลงทันที จากรูปที่ 5.22 ปรากฏว่ามีเพียงถังที่ 1 ซึ่งเติม निकเกิลและโคบอลต์ ถังที่ 3 ซึ่งเติมเพียงโคบอลต์ ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สูงประมาณ 90% โดยชั้นตะกอนด้านบนมีลักษณะเป็นเฟสสร้างมีเทน

5.4.4 สมมุติฐานเกิดการไหลแบบสัดวงจรของน้ำในถังยูเอสบี

ปรากฏการณ์คาดว่าจะเกิดขึ้นในการวิจัยนี้คือการไหลเสาะช่อง(channelling)ดังแสดงในรูปที่ 5.27 สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนในการวิจัยนี้กล่าวคือ ทุกถังยูเอสบีมีขนาดและลักษณะเม็ดตะกอนในแต่ละด้านของถังที่ระดับเดียวกันแตกต่างกันมาก ตัวอย่างเช่นด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นเม็ด(granule)ขนาดใหญ่และพบฟองก๊าซไหลหึ่งตลอดเวลา แต่อีกฝั่งหนึ่งเป็นปุ๋ยละเอียดหรือเม็ดเล็กๆและไม่พบหรือเกือบไม่พบ



รูปที่ 5. 27 จำลองการไหลแบบเสาะช่อง(channelling)ของน้ำในถังยูเอสบี



ก๊าซไหลผ่านเลข อย่างที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 ว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะ
ได้ผลผลิตเป็นก๊าซออกมาทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน แต่จากที่ด้านหนึ่งไม่มีก๊าซไหล
ผ่านจึงอาจจะบ่งชี้ได้ว่าด้านนั้นว่าไม่มีน้ำเข้า(สารอาหาร)ไหลผ่านในขณะที่อีกฝั่งที่มีก๊าซไหลผ่านตลอด
เวลา ก็เนื่องมาจากน้ำเข้าไหลผ่าน แสดงว่าน้ำไหลเข้าไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัดของชั้นตะกอน และเกิดจุด
อับ(dead zone)ขึ้นในบางส่วนของชั้นตะกอนที่น้ำไม่ได้ไหลผ่าน(ดังรูปที่ 5.27)

Morval และคณะ(1990) รายงานถึงความสัมพันธ์ขนาดเม็ดตะกอนแปรผันตามอัตราภาระสาร
อินทรีย์ ส่วนGrotenhuisและคณะ(1991a) รายงานความสัมพันธ์ขนาดเม็ดตะกอนแปรผันตามความเข้ม
ชั้นของน้ำเข้า ดังนั้นอาจยืนยันปรากฏการณ์ที่ระบุว่าเม็ดตะกอนขนาดไม่เท่ากันในแต่ละด้านของถังที่
ระดับตะกอนสูงเท่ากันมาจากปัญหาการแบบไหลเลาะช่อง(channelling)ในชั้นตะกอน ดังนั้นบริเวณใดที่
มีสารอาหารไหลผ่านมากนั้น ขนาดเม็ดตะกอนจะใหญ่กว่าบริเวณที่สารอาหารอาหารไม่ไหลผ่าน
ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดอัตราภาระสารอินทรีย์เกินในบางจุด (local sludge overloading) ตามแนวหรือร่อง
ที่ลึมน้ำเข้าไหลผ่าน ทำให้เกิดกรดไขมันระเหยเข้มข้นสูงมากจนปริมาณความเป็นด่างที่จุดนั้นไม่พอ
และทำให้ pH ที่จุดหรือแนวนั้นลดต่ำลง ซึ่งน่าจะต่ำกว่า pH ที่จุดข้างเคียง แม้กระทั่งมีค่าต่ำกว่าค่าที่เอชที่
วัดจากชั้นตะกอนที่ถูกดึงออกมา

ในการทดลองชุดนี้ทั้ง 6 ชุดการทดลอง ใช้เพียงกรวยฐานสี่เหลี่ยม (hopper) เป็นหัวกระจายน้ำ
เข้า และใช้ความเร็วน้ำไหลขึ้นประมาณ 0.3 เมตร/ชั่วโมง ซึ่งสาเหตุสองประการนี้สนับสนุนการไหลลัด
ช่อง(channelling)ในชั้นตะกอน การไหลของน้ำเข้าผ่านเม็ดตะกอน(granule)ในถังยูเอเอสบีแตกต่างจาก
การที่น้ำไหลผ่านชั้นทราย กล่าวคือเม็ดตะกอนบริเวณใดที่น้ำไหลผ่านมากหรือรับภาระสารอินทรีย์มากก็
จะมีขนาดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้นซึ่งจะทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ด(void)บริเวณนั้นใหญ่ขึ้นด้วย ดังนั้นหาก
แนวใดเริ่มมีน้ำเข้ามากกว่าแนวอื่นเล็กน้อย ก็มีโอกาสน้ำเข้าจะไหลผ่านได้สะดวกขึ้นอีกเนื่องจากช่อง
ว่างระหว่างเม็ด(void)จะขยายใหญ่ขึ้นประกอบกับก๊าซที่ไหลผ่านจะช่วยเพิ่มขนาดช่องว่างและช่วยขยับ
เม็ดตะกอน ส่วนแนวอื่นที่อาหารไหลผ่านน้อยลงเม็ดจะมีขนาดเล็กลงและไม่มีก๊าซไหลผ่านทำให้ชั้น
ตะกอนอัดตัวลงมาจนอาจเกิดเป็นจุดอับ (dead zone)

อีกปัจจัยหนึ่งที่สนับสนุนการเกิดจุดอับ (dead zone) ก็คือตะกอนยูเอเอสบีจะมีสารโพลีเมอร์
เป็นองค์ประกอบที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอน(Sam-soon,1987) ดังนั้นหากชั้นตะกอนไม่เกิด
ขยายตัว ตะกอนดังกล่าวก็มีแนวโน้มจะจับรวมกันเป็นก้อน และกลายเป็นจุดอับ(dead zone)

ในระบบยูเอเอสบีนั้นต้องให้ความสำคัญต่อระบบกระจายน้ำให้ทั่วถึงทั้งชั้นตะกอน เพื่อป้องกันการ
การเกิดจุดอับ(dead zone) ขึ้นภายในชั้นตะกอน ซึ่งอาจแยกได้ 2 แนวทางคือ

- 1) ใช้ระบบกระจายน้ำเข้าที่ดี : ระบบกระจายน้ำเข้าที่สามารถกระจายน้ำเข้าได้ทั่วหน้าตัด
- 2) การทำให้ชั้นตะกอนขยายตัว : เพื่อให้ตะกอนทุกส่วนได้ใช้ประโยชน์ โดยใช้ความเร็วน้ำ
ไหลขึ้นประมาณ 1-6 ม. /ชม. (Lettinga และHulshoff,1994)