บทที่ 6

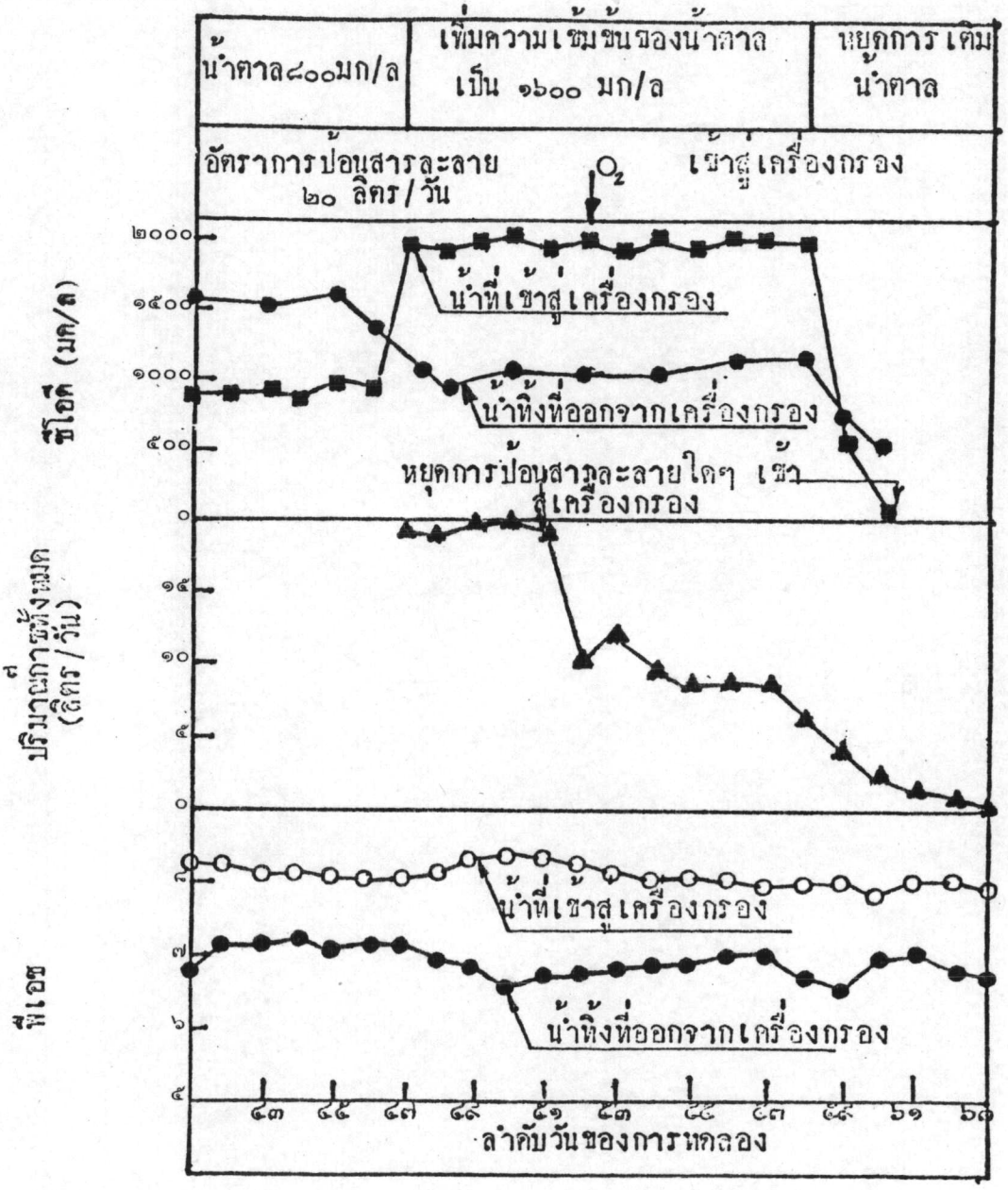
การวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 อิทธิพลของ ดีโอ (Dissolve Oxygen) ที่มีต่อการหมัก

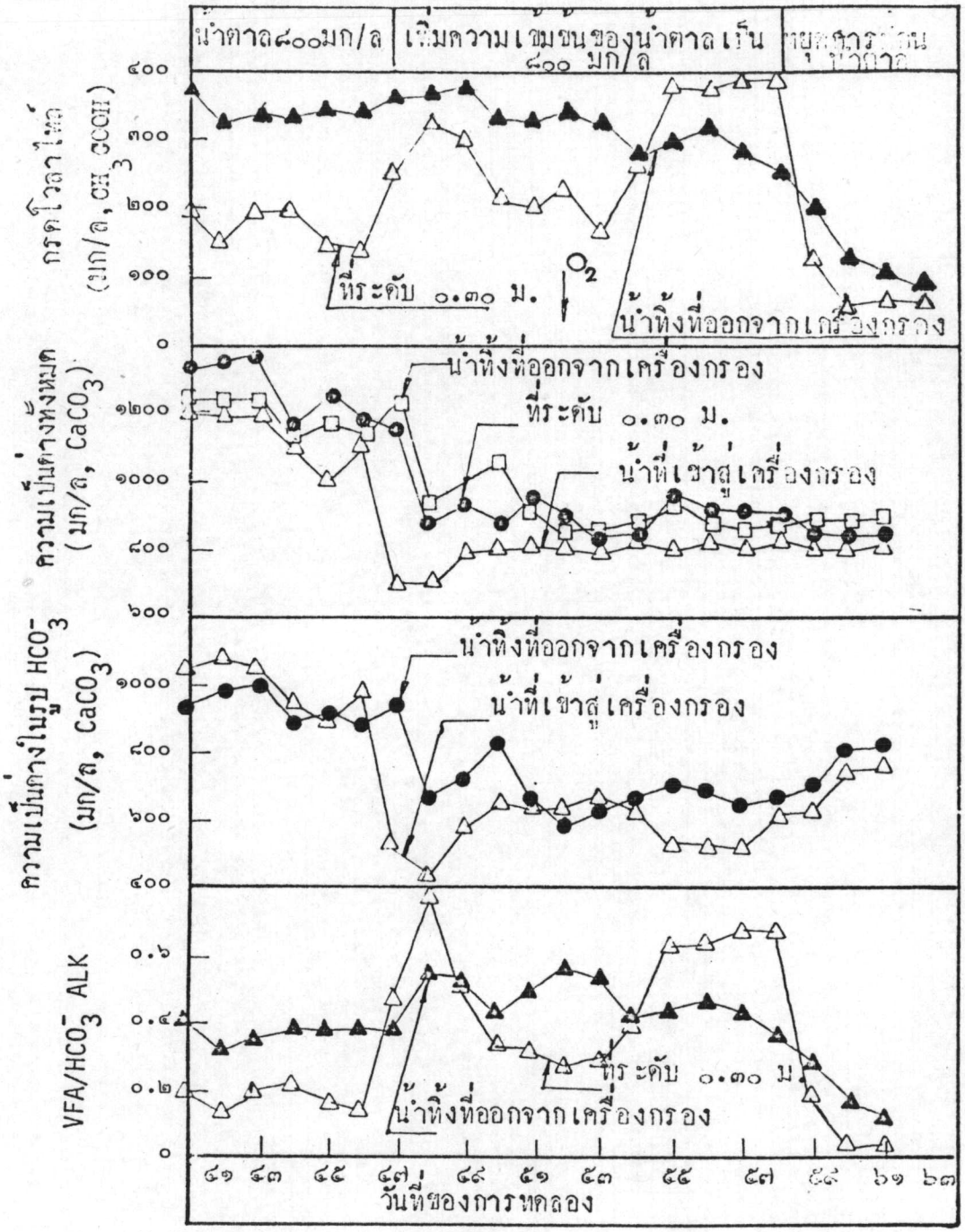
อิทธิพลของดีโอที่มีต่อการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เห็นได้จากผลการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์คือในวันที่ 51 ของการทดลอง ซึ่งอยู่ในตอนปลายของระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ ได้มี ดีโอในน้ำเสียที่เข้าสู่เครื่องกรองและทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองล้มเหลว รูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในระหว่างที่มีดีโอเข้าสู่เครื่องกรอง จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากเครื่องกรองจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากที่มีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองและหลังจากนั้นประมาณ 10 วัน ปริมาณก๊าซที่ได้จากเครื่องกรองจะลดลงจนเป็นศูนย์

การเปลี่ยนแปลงของ ซีโอดี ในน้ำทิ้งหลังจากที่มีออกซิเจนเข้าสู่เครื่องกรองจะมีน้อย แม้ว่าปริมาณก๊าซที่ได้จากเครื่องกรองจะลดลง แต่เมื่อทำการตรวจวิเคราะห์ซีโอดีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ในเครื่องกรองจะพบว่า ซีโอดีที่ระดับความสูง 0.30 ม. ภายในเครื่องกรองภายหลังจากที่มีดีโอเข้าสู่ภายในเครื่องกรองแล้วจะสูงขึ้น แสดงว่าการทำลาย ซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องกรองหลังจากที่มีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองจะลดลง(รูปที่ 6.3) อนึ่ง อย่าลืมว่าสารอินทรีย์ที่เครื่องกรองได้รับนี้มาจากสองทาง คือ จากสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดส่วนหนึ่งและจากน้ำเสียสังเคราะห์อีกส่วนหนึ่ง สำหรับกรดโวลาไทล์ ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองในวันแรกหลังจากที่มีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองจะลดลงเล็กน้อย และหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจนกระทั่งเมื่อหยุดการป้อนน้ำเสียเข้าสู่เครื่องกรอง ปริมาณกรดโวลาไทล์จึงลดลง

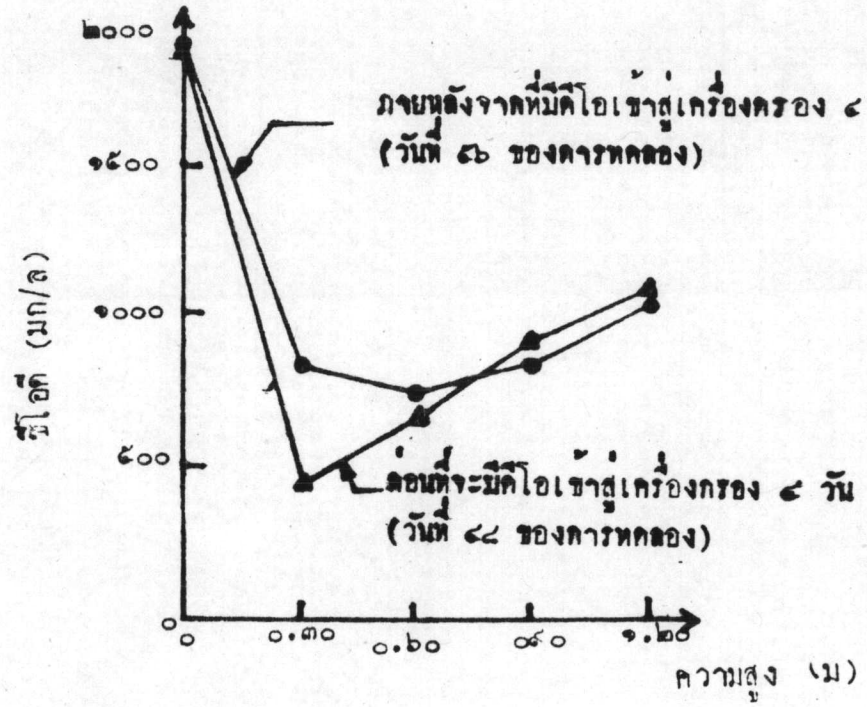
จากกราฟในรูปที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 พร้อมทั้งการบรรยายที่ผ่านมาพอสรุปได้ว่าเมื่อมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองจะมีผลยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรียและอาจจะยับยั้งการทำงาน



รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของซีโอดี, ปริมาณก๊าซ และพีเอช เมื่อมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาไทล์ สภาพความเป็นด่าง , อัตราส่วน VFA/HCO_3^- ALK เมื่อมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 6.3 ซีโอดีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง ในวันก่อนและหลังที่จะมีดีโอเข้าสู่เครื่องกรอง

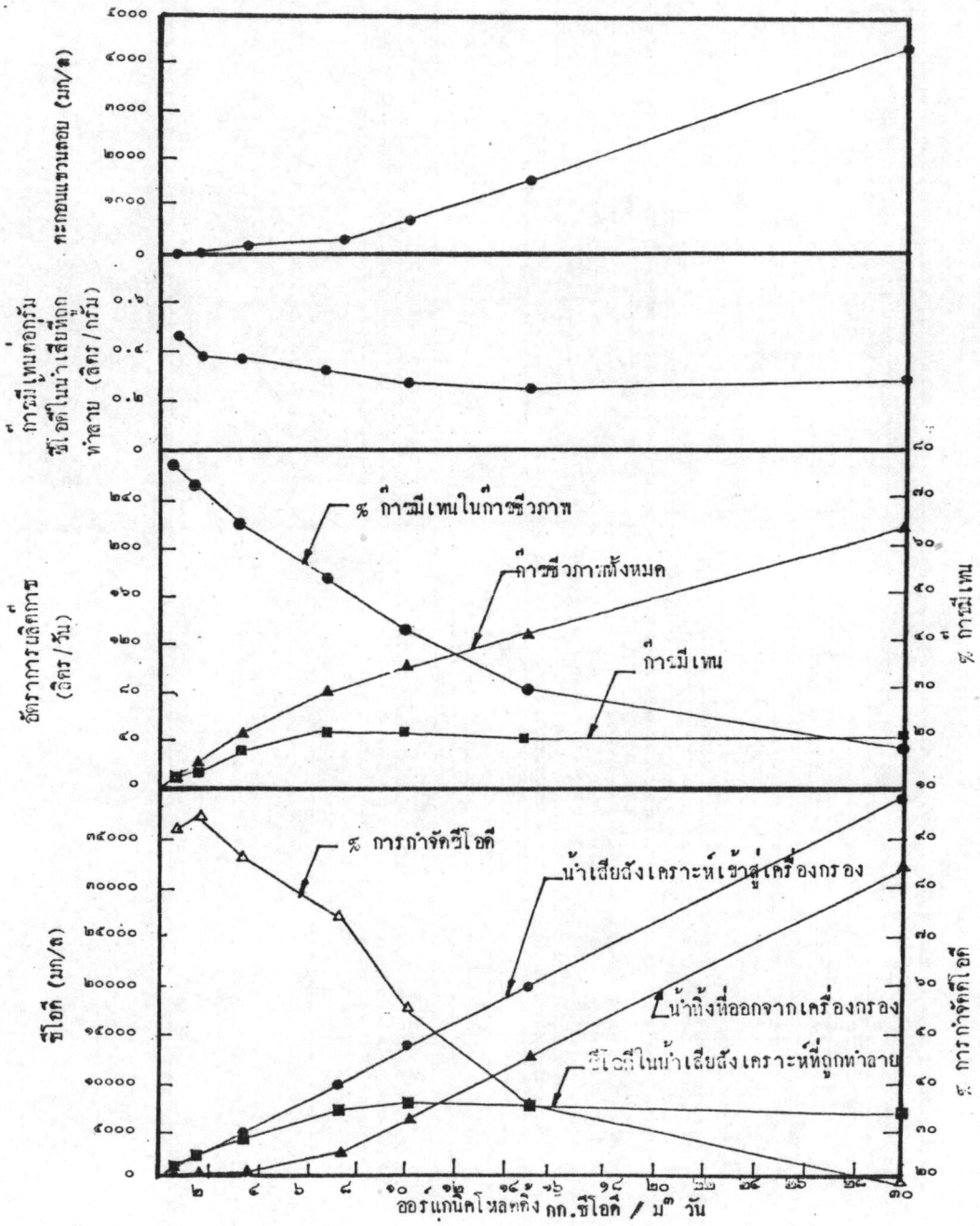
ของแบคทีเรีย พวกสร้างกรดบ้างเล็กน้อยแต่มีแบคทีเรียพวกสร้างกรดจะฟื้นตัวได้รวดเร็วกว่ามีเทนแบคทีเรียซึ่งฟื้นตัวได้ยากและช้ามาก ซึ่งมีผลทำให้เมื่อยังคงป้อนน้ำเสียเข้าสู่เครื่องกรองในอัตราที่เท่าเดิม แบคทีเรียพวกที่สร้างกรดจะผลิตกรดโวลาไทล์ในอัตราที่มีเทนแบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ทัน ทำให้มีกรดโวลาไทล์สะสมในเครื่องกรองและมีผลต่อเนื่องให้ พี เอช ลดต่ำลง ซึ่งจะยิ่งยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย จนในที่สุดการทำงานของมีเทนแบคทีเรียจะล้มเหลวอย่างสมบูรณ์

6.2 <u>อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง</u>

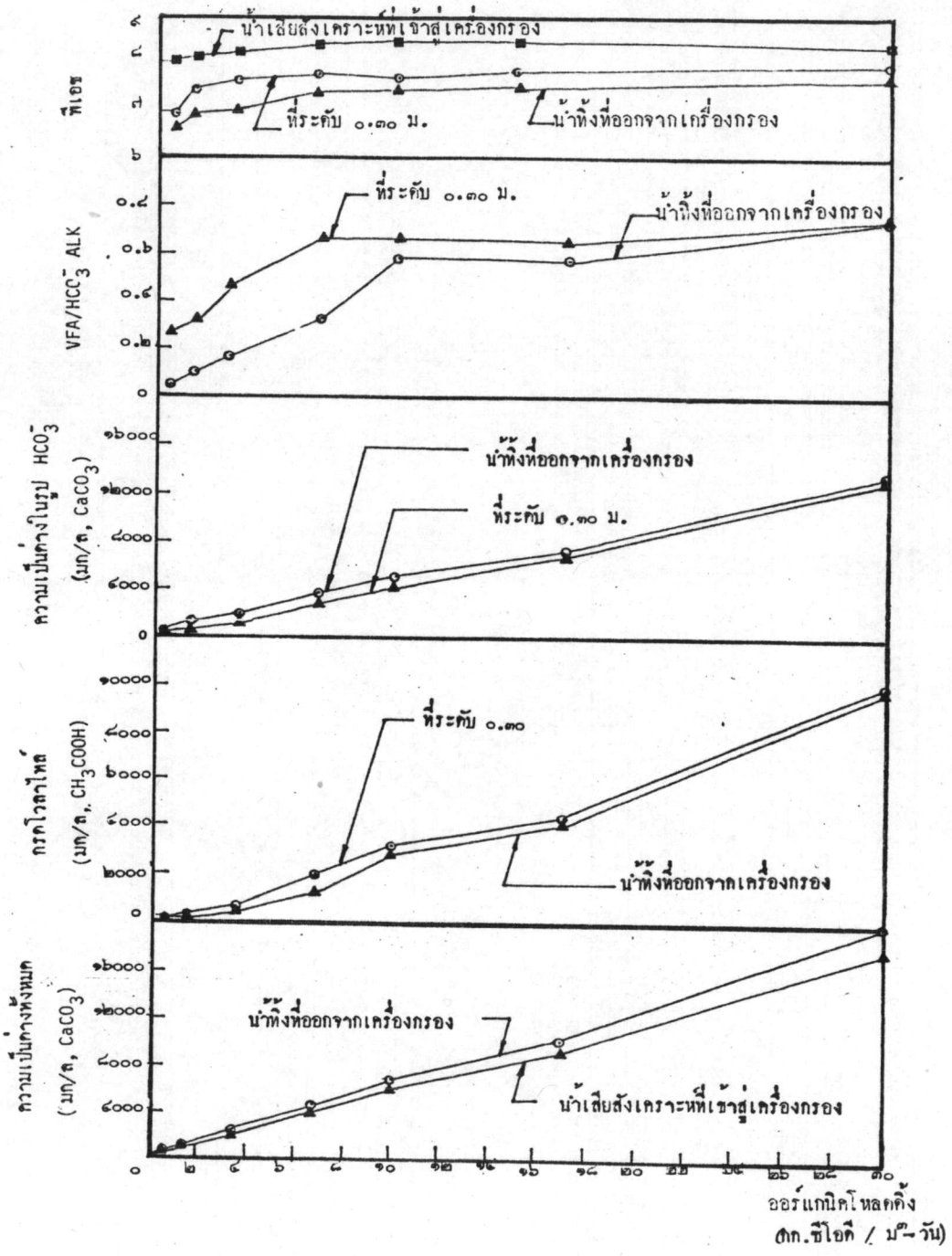
ข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนนั้น ได้จากการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิงทั้งสิ้น 7 ระดับ รูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออร์แกนิคโหลดดิงกับตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง

6.2.1 <u>อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นจะทำให้ก๊าซทั้งหมดที่ได้จากเครื่องกรองสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ไปด้วย แต่ปริมาณก๊าซมีเทนจะมีขีดจำกัดอยู่ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน โดยให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 43.2 ลิตร/วัน การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นไปกว่าระดับนี้ จะไม่ทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากเครื่องกรองสูงขึ้น จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการทำงานของมีเทนแบคทีเรียถูกจำกัดอยู่ที่ระดับ 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ซึ่งทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนไม่เพิ่มขึ้น แต่แบคทีเรียที่สร้างกรดจะมีการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณขึ้นอยู่เรื่อย ๆ ซึ่งดูได้จากการเพิ่มผลปฏิกริยาของมัน (กล่าวคือ กรดโวลาไทล์, เปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา) ส่วนสาเหตุที่ทำให้การทำงานของมีเทนแบคทีเรียถูกจำกัดอยู่ที่ 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน อาจจะมีสาเหตุจากหลายประการด้วยกัน เช่น



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างออร์แกนิคโหลดดิ้งกับซีโอดี , อัตราการผลิตก๊าซ และตะกอนแขวนลอยในการทดลองของเครื่องกรองที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างออร์แกนิคโหลดดิ้งกับปริมาณความเป็นด่าง , กรดโวลาไทล์ , VFA/HCO_3^- ALK และพีเอช ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

1. <u>เนื่องจากการลดลงของ SRT ซึ่งมีอิทธิพลมาจากการพัดพาของก้าซที่เกิดในเครื่องกรอง</u>

จากผลการทดลองของ Doque et al[59] และ Eastman and Ferguson[60] พบว่า การลดลงของ SRT จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของมีเทนแบคทีเรียในขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจนลดลง สำหรับในการทดลองครั้งนี้ การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้มีปริมาณก้าซทั้งหมดในเครื่องกรองสูงขึ้นเป็นเหตุให้ความปั่นป่วนภายในเครื่องกรองมีระดับสูงขึ้น ก้าซเหล่านี้อาจจะพาเซลล์แบคทีเรียทั้งพวกที่สร้างกรดและพวกที่สร้างมีเทนออกมาจากเครื่องกรองเป็นจำนวนมาก ซึ่งดูได้จากการเพิ่มของปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งเมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้น แต่แบคทีเรียพวกที่สร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและสามารถสร้างเซลล์มาทดแทนได้มากกว่าส่วนที่ถูกระบายออกไป ทำให้ปริมาณเซลล์ของมันในเครื่องกรองเพิ่มขึ้นตลอดเวลา มีผลให้ปริมาณกรดไวลาไทล์ในน้ำทิ้งและก้าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ส่วนมีเทนแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่ามาก การชะพาเซลล์ให้หลุดออกไปอย่างรวดเร็วของก้าซจะทำให้มีเทนแบคทีเรียมีระยะเวลาอยู่ในเครื่องกรองต่ำลง ๆ จนถึงจุดที่มันไม่สามารถจะขยายพันธุ์เพิ่มปริมาณเซลล์ในเครื่องกรองให้สูงขึ้นได้ จึงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ของมันคือก้าซมีเทนมีขีดจำกัดอยู่ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน เท่านั้น

2. <u>เนื่องจาก พี เอช ในเครื่องกรองมีระดับสูงเกินไป</u>

การที่ พี เอช ในการทดลองที่ออร์แกนิคโหลดดิง ตั้งแต่ 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ขึ้นไปอยู่ในระดับสูง (พี เอช ในน้ำทิ้งสูงกว่า 7.8 และที่ระดับ 0.30 ม. สูงกว่า 7.5) อาจจะมีผลยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย เนื่องจากตามปกติแล้ว พี เอช ที่เหมาะสมต่อการทำงานของมีเทนแบคทีเรียจะอยู่ในช่วง 6.8-7.2 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองของ Clark and Speech[31] พบว่า แม้ พี เอช ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนจะมีค่าสูงถึง 8.0 แต่การทำงานของเครื่องกรองจะยังไม่ถูกยับยั้งเลย จนกว่าเมื่อ พี เอช ในน้ำทิ้งสูงกว่า 8.0 ขึ้นไป เมื่อไรจึงจะมีผลยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรียในเครื่องกรอง และจากผลการทดลองของ ไพพรรณ พรประภา และมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์[52] ในการทดลองกำจัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลโดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนพบว่า แม้ พี เอช ภายในเครื่องกรองและในน้ำ

ทั้งจะมีระดับสูงถึง 7.6-8.1 (สูงกว่าในการทดลองครั้งนี้) แต่เครื่องกรองก็ยังมีประสิทธิภาพในการทำลาย ซีโอดี สูงกว่า 90 % ดังนั้น ผลของการจำกัดในการทำงานของมีเทนแบคทีเรียเนื่องจาก ฟี เอช ภายในเครื่องกรองและในน้ำทิ้งมีระดับสูงนี้ จึงเป็นเพียงข้อสันนิษฐานอย่างหนึ่งเท่านั้น

3. <u>เนื่องจากสารพิษในน้ำเสียสังเคราะห์</u>

การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ให้สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้น จะทำให้มี Na^+ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอาจจะมีผลยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรียได้ แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ Na^+ ที่ออร์แกนิคโหลดดิงที่สูงสุดในการทดลองคือ 30 กก. ซีโอดี/ม^3.-วัน จะมีปริมาณ 3600 มก/ล. ซึ่งอยู่ในช่วงที่ McCarty[30] อ้างว่ามีผลยับยั้งปานกลาง (Moderate Inhibition) เท่านั้น และจากผลการทดลองของบุญส่ง ไข่เกษ[53] ที่ทำการทดลองกำจัดน้ำเสียจากโรงงานผักกาดดอง โดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจน ปรากฏว่าความเข้มข้นของ Na^+ สูงถึง 34,000 มก/ล. จึงจะมีผลยับยั้งอย่างรุนแรงต่อการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย

ดังนั้น ผลจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้จึงไม่สามารถที่จะสรุปได้อย่างแน่นอนว่าสาเหตุที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อการยับยั้งการทำงานของมีเทนแบคทีเรียเป็นข้อใดใน 3 ข้อที่ได้กล่าวมา ฉะนั้น การสรุปผลในครั้งนี้จึงทำได้แต่เพียงสันนิษฐานว่า การจำกัดของการทำงานของมีเทนแบคทีเรียอาจจะมีผลเนื่องมาจากสาเหตุข้อใดข้อหนึ่งหรือจากทั้ง 3 ข้อประกอบกัน

6.2.2 <u>อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อการกำจัด ซีโอดี</u>

การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของเปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดีลดลง ส่วนการทำลายปริมาณ ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์นั้นจะมีค่าจำกัดอยู่ที่ออร์แกนิคโหลดดิงระดับหนึ่ง คือ 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน เช่นเดียวกับปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากเครื่องกรอง แสดงให้เห็นว่าการผลิตมีเทนกับการทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียมีความเกี่ยวข้องกันโดยตรง ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีแทนแบคทีเรียทำการย้ายอีเลคตรอนในสารอินทรีย์ไปสะสมไว้ในก๊าซมีเทนและมีเทนจะลอยหนีออกจากถังหมักทำให้สภาวะออซิเดชั่น (Oxidation State) ลดลงซึ่งเป็นการ

ลดลงของ ซีโอดี ในน้ำเสียนั่นเอง ดังนั้น สาเหตุที่การทำลาย ซีโอดี มีขีดจำกัดอยู่ที่ออร์แกนิคโหลดดิง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน จึงขึ้นอยู่กับการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย เช่นเดียวกับการผลิตก๊าซมีเทนและมีเหตุผลดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 6.2.1

6.3 <u>อิทธิพลของความสูงที่มีต่อการหมักของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน</u>

จากผลการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ปรากฏว่า เมื่อเครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ตลอดการทดลอง บริเวณก้นถังกรองจนถึงระดับความสูง 0.30 ม. จะเป็นบริเวณส่วนใหญ่ที่มีการทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสีย เช่นที่ ออร์แกนิคโหลดดิง 0.833 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ภายใต้ระดับ 0.30 ม. จากก้นถังกรองจะมีการทำลาย ซีโอดี ถึง 75 % ของการทำลาย ซีโอดี ที่เกิดขึ้นในเครื่องกรอง และเมื่อเครื่องกรองทำงานที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูงขึ้นไปอีก การทำลาย ซีโอดี เหนือระดับ 0.30 ม. จะลดน้อยลงจนไม่มีเลยที่ออร์แกนิคโหลดดิง 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากอิทธิพลของการพัดพาเซลล์ของก๊าซที่เกิดขึ้นในเครื่องกรอง ทำให้เมื่อเครื่องกรองทำงานที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูง ๆ เช่นที่ 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ความสูงของเครื่องกรองเหนือระดับ 0.30 ม. จากก้นถังกรองมิได้ก่อให้เกิดประโยชน์ในการทำลาย ซีโอดี เลย ดังนั้น การใช้เครื่องกรองขนาดที่มีความสูงไม่มากนักต่อกันอย่างอนุกรม อาจจะทำให้ผลดีกว่าเครื่องกรองตัวเดียวที่มีความสูงมาก ๆ ในแง่ที่สามารถแยกก๊าซออกไปได้ก่อน ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียประสิทธิภาพในการเก็บเซลล์ของเครื่องกรอง อย่างไรก็ตามในการออกแบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนเพื่อการใช้งานจริง ๆ ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนระดับออร์แกนิคโหลดดิงอย่างกระทันหันเกิดขึ้น ความสูงของเครื่องกรองไม่ควรน้อยกว่า 1.20 ม. ทั้งนี้เพื่อป้องกันการมิให้การทำงานของเครื่องกรองล้มเหลวในกรณีที่มีการเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงอย่างกระทันหัน (เกิด Shock Load) ดังกล่าว

6.4 <u>บทบาทของชังข้าวโพดในฐานะเป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

ผลของข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงบทบาทชังข้าวโพดในฐานะสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น สามารถพิจารณาได้จากการทดลองของเครื่องกรองทั้งตัวประกอบกัน จากข้อมูลของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซมีเทน

ต่อกรัมซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกทำลาย (แสดงในรูปที่ 6.4 และตารางที่ 5.5) ทำให้ทราบได้ว่ามีบางส่วนของข้าวโพดถูกใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซมีเทนขณะที่เครื่องกรองทำการทดลองอยู่ที่ออร์แกนิคโหลดดิง 0.833, 1.67 และ 3.33 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน โดยที่พิจารณาได้จากการที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกทำลายที่การทดลองในระดับออร์แกนิคโหลดดิงเหล่านี้มีค่าสูงกว่า .35 ลิตร/กรัม ซึ่งตามทฤษฎีแล้วถ้าเครื่องกรองได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์แต่เพียงอย่างเดียวแล้วปริมาณก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีในน้ำเสียที่ถูกทำลายจะไม่สามารถมีค่าสูงเกินกว่า .350 ลิตร/กรัมไปได้ หลังจากนั้น เมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป 153 วัน และการทดลองกระทำที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 6.67 กก./ซีโอดี/ม^3.-วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกทำลายจะลดลงเหลือ 0.32 ลิตร/กรัม ซึ่งน้อยกว่า .35 ลิตร/วัน และจะลดลงไปมากกว่านี้ เมื่อเพิ่มระดับออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นไปอีก ซึ่งอาจจะมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดเหลือน้อยมากจนถือว่าหมดสภาพฐานะสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้วหรือเนื่องจากเมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นจะมีเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรองมากขึ้นทำให้ต้องใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์เป็นจำนวนมากทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ถูกทำลายลดลง ซึ่งไม่สามารถจะยืนยันได้ว่าควรจะมีสาเหตุมาจากข้อใดมากกว่ากัน หรืออาจจะมาจากสาเหตุทั้งสองข้อประกอบกันก็ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้อมูลจากเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์มาพิจารณาประกอบจะทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงความสามารถของซังข้าวโพดในฐานะสับเสตรทในการผลิตก๊าซได้สมบูรณ์ขึ้น

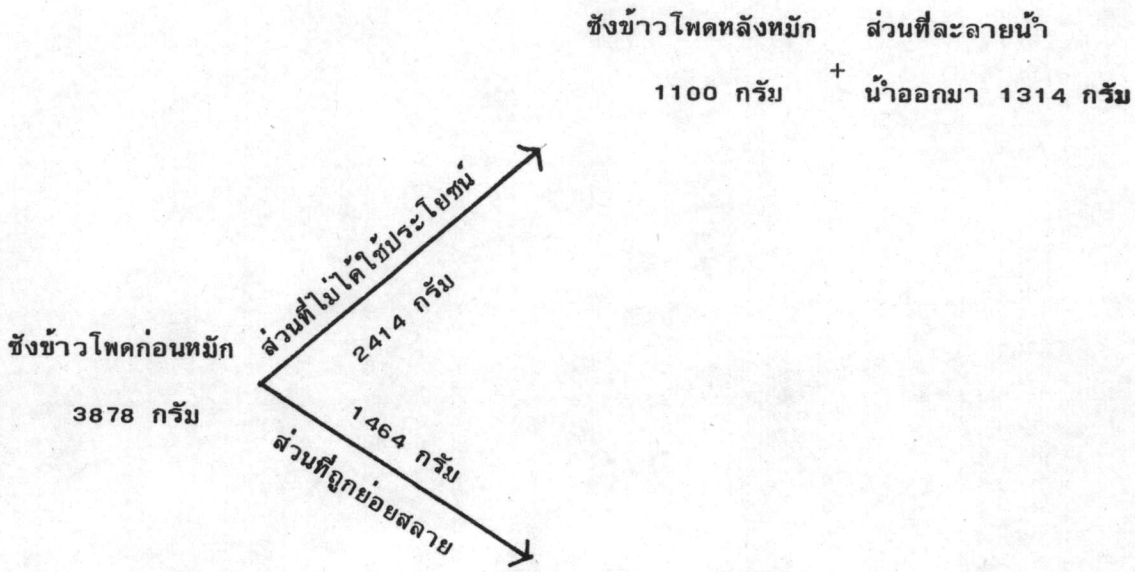
การทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกใช้เวลา 152 วัน เมื่อก่อนที่จะหยุดการทดลองปริมาณก๊าซที่ได้จากเครื่องกรองจะลดลงเหลือประมาณวันละ 1 ลิตร/วัน ซึ่งนับว่าน้อยมากจนอาจจะถือได้ว่าขณะนั้นซังข้าวโพดหมดสภาพที่จะใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว จึงได้หยุดการทดลองและเปิดเครื่องกรองนำซังข้าวโพดออกมาหาคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5.5 ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว จะเห็นได้ว่าน้ำหนักซังข้าวโพดหายไประหว่างการหมัก 2778 กรัม หรือ 71.6 % ซึ่งน้ำหนักที่หายไปนี้คือ (ก) สารอินทรีย์ที่ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและเซลล์แบคทีเรีย (ข) สารอินทรีย์ซึ่งถูก

ละลายออกมากับน้ำทิ้งซึ่งสามารถวัดได้ในเทอมซีโอดี จากรูปที่ 5.5 ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า A และ B คือพื้นที่แทนค่าปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดีที่ถูกชะละลายออกมาจากซังข้าวโพด โดยที่แบคทีเรียไม่สามารถนำไปใช้ได้ทันมีปริมาณ 1460 กรัมซีโอดีหรือคิดเป็นน้ำหนักซังข้าวโพดก่อนหมักได้ 1314 กรัม ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้นับตั้งแต่วันที่ 52-152 มีปริมาณประมาณ 400 ลิตรคิดเป็นน้ำหนักซังข้าวโพดก่อนหมักได้ 1039 กรัม เมื่อรวมน้ำหนักปริมาณสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดที่ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (1039 กรัม) บวกกับน้ำหนักสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดที่เหลืออยู่ (1100 กรัม) จะได้เท่ากับ 3453 กรัมซึ่งน้อยกว่าน้ำหนักซังข้าวโพดก่อนใช้งานอยู่ 425 กรัม น้ำหนักที่หายไปอาจจะเป็นน้ำหนักเซลล์แบคทีเรียที่สร้างขึ้นมา และเป็นก๊าซที่เกิดในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ซึ่งไม่ได้ทำการวัดปริมาณรวมทั้งอาจจะเป็นซังข้าวโพดบางส่วนที่หลุดหายไป ในขณะที่นำเอาซังข้าวโพดมาล้างและตากให้แห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก สมดุลย์ของน้ำหนักซังข้าวโพดในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนแสดงให้เห็นในรูปที่ 6.6

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องกรองทั้งสองตัว ทำให้ทราบว่าซังข้าวโพดจะหมดสภาพที่เหมาะสมสำหรับเป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซชีวภาพในเวลาประมาณ 150 วันนับตั้งแต่เริ่มใช้งาน โดยจะต้องใช้เวลาในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์อีกประมาณ 40-60 วัน ดังนั้นซังข้าวโพดจะสามารถใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซได้ประมาณ 90-110 วันเท่านั้น ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากซังข้าวโพดนี้ เมื่อพิจารณาดูแล้วพบว่า มีปริมาณน้อยมากคือจะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 400 ลิตรหรือเป็นปริมาณเฉลี่ย 4 ลิตร/วัน และเมื่อเปรียบเทียบขณะที่เครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดติง 6.67-10 กรัมซีโอดี/$ม^3$.-วัน อันเป็นระดับการทำงานที่เครื่องกรองสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากที่สุดคือ 43.2 ลิตร/วัน (หรือ 1.588 $ม^3$. ต่อ $ม^3$. ปริมาตรเครื่องกรองต่อวัน) ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากสารอินทรีย์ในซังข้าวโพด 4 ลิตร/วันจะเป็นปริมาณ 9 % ของก๊าซที่ผลิตได้เท่านั้น อีกทั้งสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดจะหมดไปภายในระยะเวลาอันสั้น คือ 90-110 วันเท่านั้นด้วย ดังนั้น จะเห็นได้ว่าซังข้าวโพดไม่ใช่เหล่งคาร์บอนที่พอเพียงในการผลิตก๊าซชีวภาพ

6.5 บทบาทของซังข้าวโพดในฐานะตัวกลางของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน

จากข้อมูลที่แสดงปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งสอง



ก. <u>การเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดที่ผ่านการหมักแบบไร้ออกซิเจน</u>

ซังข้าวโพดที่ถูกย่อยสลาย ⟶ 400 ลิตรมีเทน เซลล์ ≠ อื่น ๆ

1464 กรัม (100 %) 1039 กรัม (70.97) + 425 กรัม (29.03 %)

ก๊าซยีล = 70.97 % เซลล์ยีล ≤ 29.03 %

ข. <u>การผลิตมีเทน ก๊าซยีลและเซลล์ยีลที่ได้รับจากการหมักแบบไร้ออกซิเจนของซังข้าวโพด</u>

รูปที่ 6.6 สมดุลย์ของน้ำหนักซังข้าวโพดในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

ตัวจะเห็นได้ว่าซังข้าวโพดมีความสามารถเก็บตะกอนแบคทีเรียไว้ได้ดีในเครื่องกรองที่ระดับออร์แกนิคต่ำ ๆ โดยบริเวณ 0.30 ม. จะมีตะกอนแบคทีเรียมากที่สุด แต่เมื่อเครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงสูงมาก ความสามารถของซังข้าวโพดในการเก็บกักเซลล์จะลดลง ซังข้าวโพดสามารถให้ปริมาณช่องว่างในเครื่องกรองได้ประมาณ 40-47 % (ก่อนการใช้งาน) ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณช่องว่างที่ได้ในกรณีที่ใช้หินเป็นตัวกลาง (51) (52) (53) แต่จะน้อยกว่าปริมาณช่องว่างที่ได้ในกรณีที่ใช้ตัวกลางเป็นวัสดุสังเคราะห์บางประเภท เช่นในการทดลองของ Mueller & Mancini[49] ที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ซึ่งให้ปริมาณช่องว่างสูงถึง 96 %

เมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป 230 วัน ซังข้าวโพดในเครื่องกรองจะยังอยู่ในสภาพที่สามารถทำงานเป็นตัวกลางได้และคาดว่าถ้ายังให้มีน้ำเสียอยู่ในเครื่องกรองตลอดเวลา ซังข้าวโพดจะยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางไปได้อีกเป็นเวลานานพอสมควรทีเดียว ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าข้อดีของซังข้าวโพดที่เป็นตัวกลางจะมีดังนี้คือ

1. เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีน้ำหนักเบา ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้างฐานรากของเครื่องกรอง

2. มีผิวขรุขระช่วยในการยึดเกาะของแบคทีเรีย

3. เมื่อซังข้าวโพดถูกใช้งานไปจะมีปริมาณช่องว่างเพิ่มขึ้นเนื่องจากบางส่วนจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายไป ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเป็นข้อดีที่ตัวกลางชนิดอื่น เช่นหินไม่มี อย่างไรก็ตามข้อเสียของการใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลางคือมันจะมีอายุในการใช้งานจำกัดอยู่ที่ระยะเวลาหนึ่งซึ่งน้อยกว่าตัวกลางที่เป็นวัสดุคงทนถาวร เช่น หิน

6.6 <u>การเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดภายหลังผ่านการใช้งาน (ผ่านการหมัก)</u>

เนื่องจากซังข้าวโพดประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถย่อยสลายและนำไปใช้เป็นสับเสตรทได้เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้น เมื่อมันถูกนำมาใช้งานเป็นตัวกลางในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน ส่วนประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ดังกล่าวจะถูกแบคทีเรียย่อยสลายไป ๆ จนกระทั่งในที่สุด

จะมีสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้เหลืออยู่น้อยมาก ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของการละลายซีโอดี, ปริมาณกรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งและปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากเครื่องกรองในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก (แสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.5) ตัวแปรดังกล่าวเหล่านี้จะมีปริมาณสูงในตอนเริ่มการทดลองและจะค่อย ๆ ลดน้อยลงจนกระทั่งมีปริมาณน้อยมาก เมื่อก่อนหยุดการทดลอง อันแสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดจะถูกใช้เหลือน้อยลง ๆ จนกระทั่งถึงจุดที่ซังข้าวโพดไม่อยู่ในฐานะที่สามารถจะเป็นสับเสตรทของแบคทีเรียได้ในระดับหวังผลอีกต่อไป ซึ่งกินเวลาในการใช้งานประมาณ 150 วัน (รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ด้วย) อย่างไรก็ตามซังข้าวโพดจะยังคงมีสภาพที่สามารถจะทำงานเป็นตัวกลางได้ต่อไป

สำหรับลักษณะของซังข้าวโพดก่อนใช้งานและหลังจากผ่านการใช้งานจนหมดสภาพที่เหมาะสมที่จะเป็นสับเสตรทแล้วนั้น แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า ค่าซีโอดี ในซังข้าวโพดก่อนและหลังการหมัก ไม่แตกต่างกันมากนัก เปอร์เซนต์โวลาไทล์หลังการหมักมีค่าน้อยกว่าก่อนการหมักเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเป็นเพราะสารอินทรีย์ส่วนที่แบคทีเรียสามารถนำไปใช้งานได้จะถูกใช้ไปทำให้มีเปอร์เซนต์สารอนินทรีย์ (Fixed Solids) เพิ่มขึ้น สิ่งที่ควรสังเกตคือเปอร์เซนต์โปรตีนในตอนหลังหมักจะสูงถึง 12 % ซึ่งก่อนการหมักมีเพียง 3 % ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากมีเซลล์แบคทีเรียจำนวนมากมาเกาะอยู่รอบ ๆ ทำให้มีเปอร์เซนต์โปรตีนสูงขึ้น ส่วนเปอร์เซนต์คาร์โบไฮเดรทบางส่วนซึ่งวิเคราะห์โดยใช้สารแอนโทรน (Anthrone) จะมีเปอร์เซนต์ลดลง แสดงว่าคาร์โบไฮเดรทเหล่านี้ถูกแบคทีเรียนำไปใช้เป็นสับเสตรท สำหรับลักษณะทางกายภาพของซังข้าวโพดหลังผ่านการหมัก (รูปที่ 5.14) จะมีน้ำหนักเบาขึ้น มีช่องว่างตรงใส้กลาง ผิดกับตอนก่อนใช้งานซึ่งจะทำให้เครื่องกรองมีปริมาณช่องว่างสำหรับการเก็บกักเซลล์และน้ำเสียเพิ่มขึ้น

6.7 <u>การสร้างและสะสมตัวของเซลล์แบคทีเรียภายในเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง</u>

เป็นการยากที่จะทราบถึงปริมาณที่แน่นอนของการสร้างและสะสมตัวของตะกอนเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง เนื่องจากตะกอนแบคทีเรีย

ในเครื่องกรองนั้นอาจจะจำแนกได้เป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นตะกอนแขวนลอยซึ่งจากการสังเกตพบว่าจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (floc) อยู่ตามช่องระหว่างตัวกลางและจะสามารถประมาณปริมาณเซลล์ของแบคทีเรียส่วนนี้ได้จากปริมาณตะกอนแขวนลอยภายในเครื่องกรองแต่ปริมาณแบคทีเรียอีกส่วนหนึ่งที่เกาะอยู่บนผิวของตัวกลางในขณะที่เครื่องกรองยังทำงานอยู่นั้นไม่สามารถจะหาปริมาณออกมาได้ แต่ถ้าเมื่อหยุดการทดลองแล้วและในกรณีที่ตัวกลางเป็นวัสดุที่คงทนถาวรการเปิดเครื่องกรองนำเอาตัวกลางออกมาล้าง อาจจะหาปริมาณแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนตัวกลางได้ แต่ในกรณีของการทดลองครั้งนี้ซังข้าวโพดที่เป็นตัวกลางเป็นอินทรีย์วัสดุที่เปื่อยยุ่ยได้ง่าย การล้างซังข้าวโพดเพื่อที่จะหาปริมาณแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนผิว อาจจะทำได้ยากมาก เพราะซังข้าวโพดจะยุ่ยและแตกสลายกลายเป็นชิ้นเล็ก ๆ ปนกับเซลล์แบคทีเรีย จึงเป็นการยากมากมีจะหาอัตราการสร้างและสะสมเซลล์ที่แน่นอนของแบคทีเรียในเครื่องกรองสำหรับการทดลองครั้งนี้

6.8 ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง

สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองที่ใช้ตัวกลางเป็นซังข้าวโพดจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าในระยะเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start Up) ซีโอดีในน้ำทิ้งจะมีปริมาณสูงกว่า ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง ซึ่งมีสาเหตุเนื่องจากขณะนั้นซังข้าวโพดถูกย่อยละลายสารอินทรีย์ออกมาเป็นปริมาณมากและแบคทีเรียในเครื่องกรองยังมีประสิทธิภาพในการทำงานไม่สูงพอ แต่หลังจากเมื่อเวลาในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ผ่านไปและแบคทีเรียเจริญเติบโตสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ตัวกลางเป็นซังข้าวโพดนี้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ดี โดยจะมีเปอร์เซ็นต์การกำจัด ซีโอดี สูงสุดที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 1.66 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ซึ่งให้เปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี เท่ากับ 94 % และการเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี ลดลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลางเพื่อจุดประสงค์ในการกำจัดความสกปรกในน้ำเสีย

6.9 ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นตัวกลาง

ผลของการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้ตัวกลางเป็นซังข้าวโพด อย่างไรก็ตามปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากเครื่องกรองจะมีปริมาณจำกัดอยู่ที่ 43.2 ลิตร/วัน ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ด้วยเหตุผลซึ่งได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 6.2.1 และปริมาณก๊าซมีเทนที่มาจากส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดจะมีปริมาณน้อยเกินไปที่จะนำมาใช้อย่างจริงจังในทางปฏิบัติ อนึ่ง เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่เครื่องกรองได้รับโดยเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะมีค่าต่ำที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงสูงและจะมีค่าสูงที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ๆ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก ซึ่งอาจจะถือได้ว่าขณะนั้น เครื่องกรองกำลังทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่ต่ำที่สุดแล้ว เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะสูงมาก เช่นในวันที่ 51 ของการทดลองเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจะสูงถึง 80 % และเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไปเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจะยิ่งสูงขึ้นไปอีก โดยในช่วงท้าย ๆ ของการทดลอง เช่นในวันที่ 146 เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจะสูงขึ้นเป็น 90 % สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะเมื่อเครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ๆ จะมีคุณสมบัติในการกรองแบคทีเรียไว้ในเครื่องกรองได้ดี ทำให้มีแบคทีเรียทั้งพวกที่ผลิตมีเทนและพวกที่สร้างกรดอยู่ในเครื่องกรองมากเมื่อเทียบกับปริมาณสารอินทรีย์ที่มันได้รับ การหยุดป้อนสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเข้าไปในเครื่องกรองตัวนี้จะทำให้ สารอาหารสำหรับแบคทีเรียมีจำกัด และตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในขั้นแรกของปฏิกริยาการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน แบคทีเรียพวกที่สร้างกรดจะย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งหลายให้เป็นกรดอินทรีย์ที่โมเลกุลใหญ่แล้วย่อยสลายต่อไปให้เป็นกรดอะซิติก, ก๊าซไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ จากนั้นมีเทนแบคทีเรียจะเปลี่ยนสารประกอบทั้งสามตัวนี้ให้กลายเป็นก๊าซมีเทนต่อไป ในกรณีที่สารอาหารมีจำกัดแต่ภายในเครื่องกรองมีมีเทนแบคทีเรียอยู่มาก มีเทนแบคทีเรียจึงต้องพยายามใช้สารอาหารทุกตัวที่มีเพื่อการดำรงชีพและคาร์บอนไดออกไซด์ก็เป็นสับเสตรทชนิดหนึ่งของมีเทนแบคทีเรีย ดังนั้นมันจึงพยายามใช้คาร์บอนไดออกไซด์ทุกโมเลกุลที่มีเป็นแหล่งคาร์บอนในการผลิตมีเทน ทำให้เปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพต่ำและเปอร์เซนต์มีเทนสูงขึ้นเรื่อย ๆ

แม้ว่าขณะนั้น ก๊าซชีวภาพที่ได้จากเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจะลดลงก็ตาม ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาดูปริมาณกรดโวลาไทล์และซีโอดีในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองตัวนี้ก็จะเห็นได้ว่ามีปริมาณน้อยและลดลงเช่นเดียวกับเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์เช่นกัน ดังนั้น อาจจะสรุปได้ว่าการที่มีเปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำหรือเปอร์เซนต์ CH_4 สูงในก๊าซชีวภาพมีสาเหตุ เนื่องจากมีเทนแบคทีเรียสามารถใช้สับเสตรทของมันได้อย่างสมบูรณ์

ในกรณีตรงกันข้าม เมื่อเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงสูง ๆ เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจะต่ำ ปริมาณกรดโวลาไทล์และเปอร์เซนต์คาร์บอนไดออกไซด์จะสูงขึ้นเรื่อย ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นการทำงานของแบคทีเรียพวกที่สร้างกรดจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่ามีเทนแบคทีเรีย ทำให้ผลปฏิกริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรดคือ คาร์บอนไดออกไซด์, กรดโวลาไทล์เพิ่มขึ้น แต่การทำงานของมีเทนแบคทีเรียจะถูกจำกัดอยู่ที่ระดับหนึ่งมีผลทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนมีขีดจำกัดและเปอร์เซนต์มีเทนในก๊าซชีวภาพลดลง