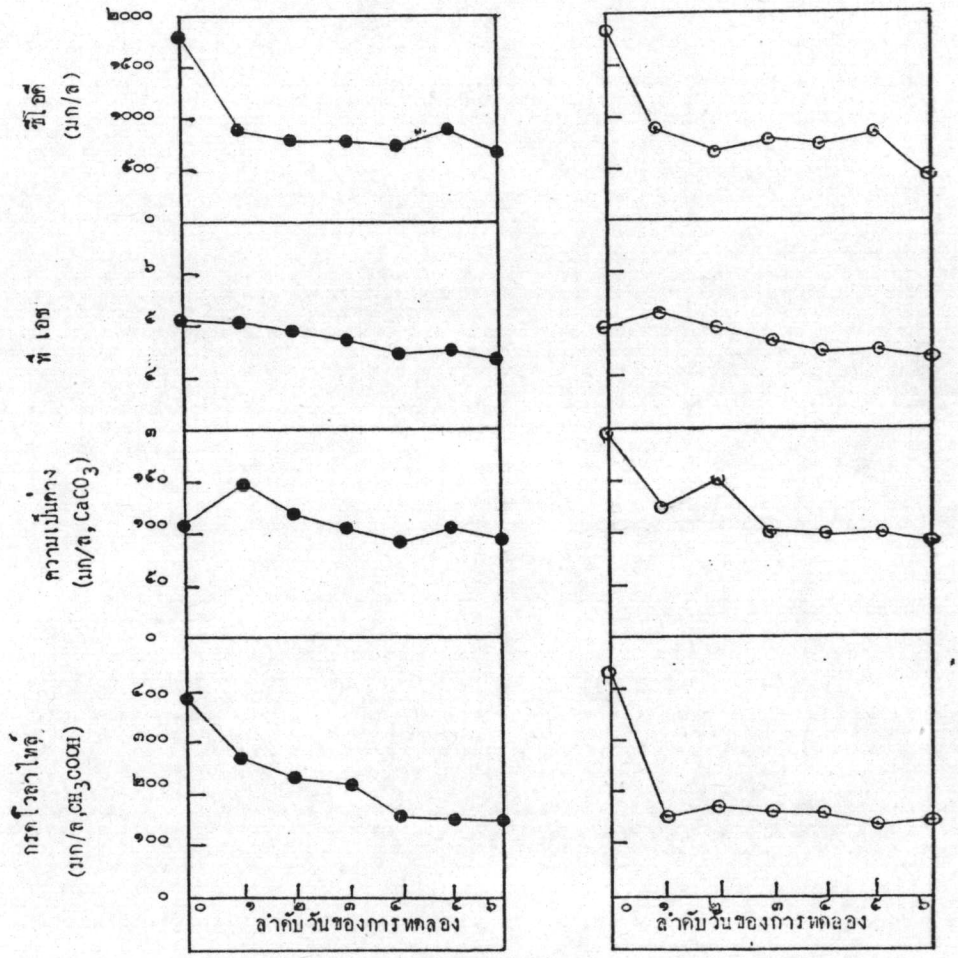
บทที่ 5

ผลของการทดลอง

การวิจัยนี้เริ่มทำการทดลอง เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2523 โดยได้เริ่มป้อนน้ำประปาเข้าสู่เครื่องกรองทั้งสองตัวก่อน เพื่อที่จะได้ทราบว่าน้ำทิ้งที่ออกมาจากเครื่องกรองเมื่อผ่านชังข้าวโพดที่เป็นตัวกลางแล้วจะมีคุณสมบัติอย่างไร ผลของการป้อนน้ำประปาเข้าสู่เครื่องกรองทั้งสองตัวตั้งแต่วันที่ 0- วันที่ 5 ของการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 5.1

เมื่อป้อนน้ำประปาที่มี พี เอช ประมาณ 7 มีสภาพความเป็นด่างประมาณ 80 มก/ล. ผ่านเครื่องกรองทั้งสองตัววันละ 20 ลิตร/ตัว น้ำทิ้งที่ออกมาจากเครื่องกรองทั้งสองจะมี ซีโอดี ในวันแรกประมาณ 1,800 มล/ล. และจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือประมาณ 600 มก/ล. พี เอช จะมีค่าประมาณ 4-5 และจะลดลงอย่างช้า ๆ กรดโวลาไทล์ในวันแรกมีค่าประมาณ 400 มก/ล. ในเทอมของกรดอะซิติก แล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างรวดเร็วเหลือ 150 มก/ล. จากข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อป้อนน้ำประปาผ่านเครื่องกรอง ชังข้าวโพดที่เป็นตัวกลางจะถูกละลายให้ปล่อยสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นกรดออกมา ซึ่งมีผลให้น้ำทิ้งที่ผ่านเครื่องกรองมี พี เอช ต่ำ และเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของมีเทนแบคทีเรีย ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในช่วง พี เอช 6.8-7.2 เท่านั้น ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีควบคุมระดับ พี เอช ในเครื่องกรองให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)

ในวันที่ 6 ของการทดลองจึงได้ทำการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start up) ในเครื่องกรอง เครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกใช้เวลาในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ถึงวันที่ 51 แบคทีเรียในเครื่องกรองจึงมีสภาพแข็งแรงพร้อมที่จะดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลต่อไป การเก็บข้อมูลทำโดยป้อนน้ำประปาที่มีความเป็นด่างและแร่ธาตุที่จำเป็นเข้าสู่เครื่องกรอง จนถึงวันที่ 151 จึงได้หยุดการทดลองและเปิดเครื่องกรองเอาชังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางออกมาล้าง นำไปตากแห้งแล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ส่วนประกอบบางอย่าง



รูปที่ 5.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรองทั้งสองตัว เมื่อได้รับการป้อนแต่เพียงน้ำประปา

ส่วนเครื่องกรองตัวที่ได้รับคาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ก็ได้เริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในเวลาและลักษณะเดียวกับเครื่องกรองตัวแรก แบคทีเรียในเครื่องกรองทั้งสองตัวมีสภาพแข็งแรงในเวลาไล่เรี่ยกัน แต่ได้มีเหตุการณ์อย่างหนึ่งเกิดขึ้นกับเครื่องกรองตัวที่ได้รับอาหารจากน้ำเสียสังเคราะห์ คือในวันที่ 52 ของการทดลอง ผู้วิจัยได้เป่าอากาศให้กับน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อมิให้มีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้นกับน้ำเสียก่อนที่จะเข้าเครื่องกรอง ทำให้มีออกซิเจนเข้าไปในเครื่องกรอง เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของเครื่องกรองลดลงอย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยพยายามทำการแก้ไขให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพกลับคืนมาแต่ไม่เป็นผลสำเร็จ ในวันที่ 62 ของการทดลอง การทำงานของเครื่องกรองก็ล้มเหลว โดยไม่สามารถผลิตก๊าซได้เลย จึงจำเป็นต้องเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในเครื่องกรองใหม่ จนกระทั่งเมื่อวันที่ 99 ของการทดลองแบคทีเรียจึงอยู่ในสภาพที่แข็งแรงพร้อมที่จะดำเนินการเก็บข้อมูลต่อไปได้ การเก็บข้อมูลทำโดยป้อนน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบตามตารางที่ 4.1 เข้าสู่เครื่องกรองภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงออร์แกนิคโหลดดิง 7 ระดับ รายละเอียดผลของการทดลองของเครื่องกรองทั้งสองตัวจะได้กล่าวแยกกันไปที่ละตัวดังต่อไปนี้

5.1 ผลของการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก

การทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกนี้มีจุดประสงค์ต้องการศึกษาถึงบทบาทของซังข้าวโพดในฐานะสับเสตรทในการผลิตก๊าซโดยเฉพาะการทดลองใช้เวลาทั้งหมด 151 วัน ซึ่งรวมเวลาที่ใช้ในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ 51 วัน การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ทำโดยใส่ตะกอนจากถังหมักของโรงงานกำจัดน้ำเสียชุมชน ห้วยขวาง เข้าสู่ทางด้านล่างของเครื่องกรอง 7 ลิตร แล้วเติมด้วยน้ำใส (Supernatant) จากถังหมักจนเต็ม จากนั้นจะค่อย ๆ ป้อนสารละลายน้ำตาลผสมโซเดียมไบคาร์บอเนตเข้าสู่เครื่องกรองและจะค่อย ๆเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลทีละน้อย เพื่อจุดประสงค์ให้ปริมาณแบคทีเรียในเครื่องกรองค่อย ๆ เพิ่มจนถึงจุดที่ต้องการ จนกระทั่งเมื่อแบคทีเรียมีปริมาณมากพอ และอยู่ในสภาพที่แข็งแรงดีแล้วจึงเริ่มดำเนินการเก็บข้อมูลต่อไป โดยการป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่จำเป็นและความเป็นด่างเข้าสู่เครื่องกรอง และเมื่อเวลาผ่านไปจะค่อย ๆ ลดปริมาณความเป็นด่างที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองลง

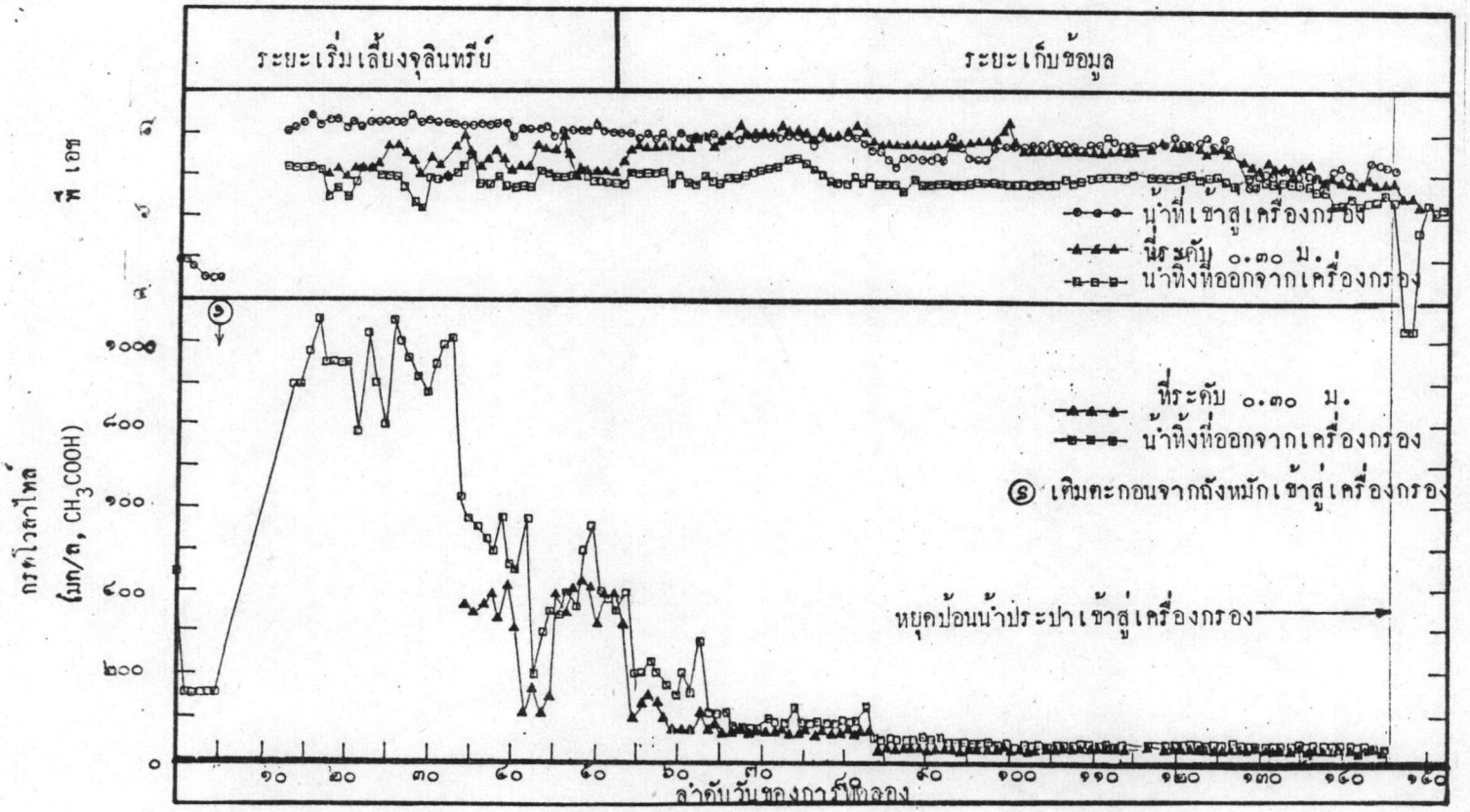
ทั้งนี้เพื่อมิให้ พี เอช ในเครื่องกรองสูงเกินกว่าที่มีเทนแบคทีเรียจะทำงานได้ดี

5.1.1 พี เอช, กรดโวลาไทล์และสภาพความเป็นด่าง

พี เอช

รูปที่ 5.2 แสดงกราฟของ พี เอช และกรดโวลาไทล์ ของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้อาหารจากภายนอกตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองจะถูกย่อยสลายให้สารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นกรดออกมา ซึ่งถ้าไม่มีการเติมสารบัฟเฟอร์ (Buffer) ให้แก่เครื่องกรองแล้ว พี เอช ในเครื่องกรองจะต่ำกว่าระดับที่มีเทนแบคทีเรียจะทำงานได้ ดังนั้น ในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์จึงจำเป็นต้องเติมโซเดี่ยมไบคาร์บอเนตลงไปในสารละลายน้ำตาลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของมีเทนแบคทีเรีย

ในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (วันที่ 0-51 ของการทดลอง) พี เอช ในสารละลายน้ำตาลที่เข้าสู่เครื่องกรองมีค่าประมาณ 8.3 ส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง พี เอช จะลดเหลือประมาณ 6.3 และเมื่อการทดลองดำเนินต่อไปในระยะเก็บข้อมูลด้วยการป้อนน้ำประปาผสมสารประกอบด่างและแร่ธาตุที่จำเป็น (ไม่มีสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก) ผลปรากฏว่ามีการลดต่ำของ พี เอช ในเครื่องกรองเช่นกัน โดยน้ำที่จุดเข้าเครื่องกรองมี พี เอช สูงสุดจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับความสูงของเครื่องกรอง และลดลงมากที่สุดในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง อย่างไรก็ตามหากไม่มีการปรับระดับความเป็นด่างในน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองแล้ว เมื่อทำการทดลองไปหลาย ๆ วัน พี เอช ในน้ำทิ้งจะค่อย ๆ สูงขึ้นกว่าวันก่อน ๆ เนื่องจากกรดอินทรีย์ในซังข้าวโพดถูกย่อยออกมามีปริมาณน้อยลง ๆ ดังนั้น เพื่อที่จะเป็นการทำให้ พี เอช ในเครื่องกรองไม่สูงเกินไป กว่าที่มีเทนแบคทีเรียจะทำงานได้ดีจึงจำเป็นต้องลดปริมาณสารประกอบด่างลงไปเรื่อย ๆ จนท้ายที่สุดสภาพความเป็นด่างที่มีอยู่ในน้ำประปาเพียงอย่างเดียว ก็เพียงพอที่จะรักษาระดับ พี เอช ภายในเครื่องกรองให้อยู่ในช่วงเหมาะสมที่มีเทนแบคทีเรียจะทำงานได้ การป้อนน้ำประปาเข้าสู่เครื่องกรองดำเนินมาจนถึงวันที่ 146 ของการทดลอง จึงหยุดการป้อนน้ำประปาหรือสารละลายใด ๆ ทั้งสิ้นเข้าสู่เครื่องกรอง อย่างไรก็ตามการทดลองเก็บข้อมูลยังทำต่ออีกจนถึงวันที่ 151 ซึ่งในช่วงนี้จะไม่มีการ



รูปที่ 5.2 พีเอช และกรดโวลาไทล์ในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก

ป้อนสารละลายใด ๆ เข้าสู่เครื่องกรองอีก แต่จะเก็บตัวอย่างน้ำจากในเครื่องกรองมาวิเคราะห์หาตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งทำได้โดยสูบน้ำประปาจากภายนอก 200 มล. เข้าไปไล่น้ำในเครื่องกรองออกมา โดยจะปล่อยทิ้งไปเสียก่อน 150 มล. ส่วนที่เหลือ 50 มก/ล. หลังจึงจะนำไปวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ผลปรากฏว่า พี เอช ในตอนบนสุดของเครื่องกรองในวันหลังจากที่หยุดป้อนน้ำประปาเข้าสู่เครื่องกรองจะมีค่าต่ำลงมาเหลือ 3.3 และในสองวันต่อมา พี เอช ในตอนบนสุดของเครื่องกรองจะสูงขึ้นเป็น 6.10 อย่างไรก็ตามจากการเก็บตัวอย่างน้ำในเครื่องกรองที่ระดับ 0.30 ม. จากด้านล่างออกมาตรวจวิเคราะห์ด้วย ทำให้ทราบว่าขณะที่ พี เอช ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำถึงระดับ 3.3 นั้น พี เอช ที่ความสูง 0.30 ม. ของเครื่องกรองยังมีค่าประมาณ 6.4 มิได้ลดต่ำลงเหมือนในน้ำทิ้ง อนึ่ง ขณะที่ พี เอช ในตอนบนของเครื่องกรองลดต่ำลงเหลือ 3.3 นั้น มีเทนแบคทีเรียมิได้ตายไป ดูได้จากที่เครื่องกรองยังสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ในอัตราไม่น้อยกว่าเดิม) ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุจากที่ พี เอช ที่ลดต่ำถึงระดับ 3.3 มิได้เกิดขึ้นตลอดทั้งเครื่องกรองและการลดต่ำลงของ พี เอช จนถึงระดับ 3.3 ในตอนบนของเครื่องกรองเป็นไปในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 2 วัน เท่านั้น ทำให้มีเทนแบคทีเรียยังพอที่จะทนสภาพอยู่ได้

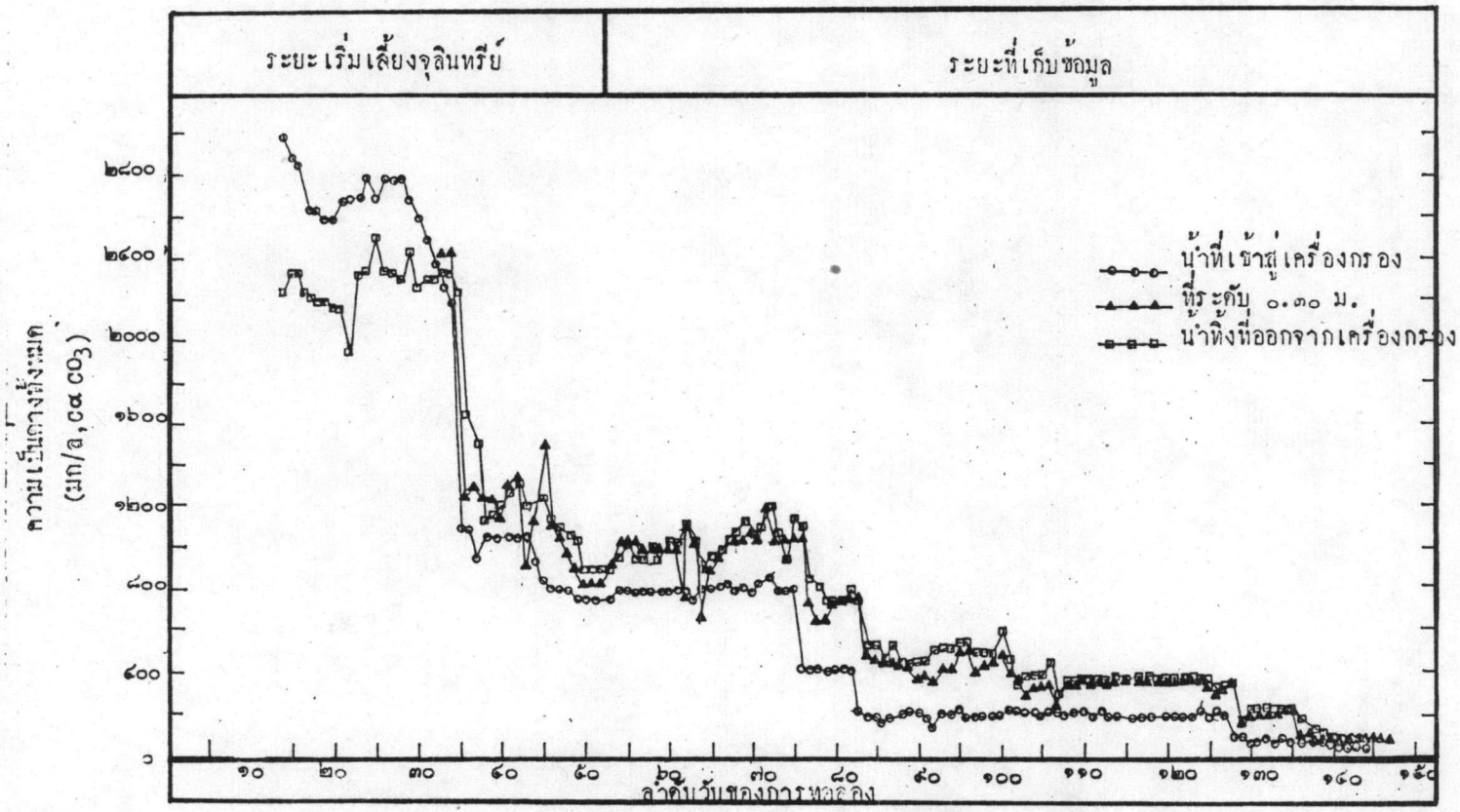
<u>กรดโวลาไทล์</u>

กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาไทล์แสดงอยู่ในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าหลังจากที่มีการเติมตะกอนแบคทีเรียจากถังหมักเข้าสู่เครื่องกรอง (วันที่ 5 ของการทดลอง) กรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งที่มาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมในขณะที่ยังไม่มีการเติมตะกอนแบคทีเรียเข้าสู่เครื่องกรองเป็นอันมาก ซึ่งอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากการที่แบคทีเรียที่ใส่เข้าไปสามารถปล่อยเอนไซม์ออกมาช่วยย่อยสลายซังข้าวโพดให้เป็นกรดอินทรีย์ได้รวดเร็วขึ้น หลังจากนั้นเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป ปริมาณกรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งเมื่อเข้าสู่ระยะเก็บข้อมูล (วันที่ 51) กรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งจะมีปริมาณ 400-500 มก/ล. (ในเทอมกรดอะซิติก) และเมื่อใกล้สิ้นสุดการทดลอง ปริมาณกรดโวลาไทล์จะลดลงเหลือประมาณ 15-20 มก/ล. เท่านั้น

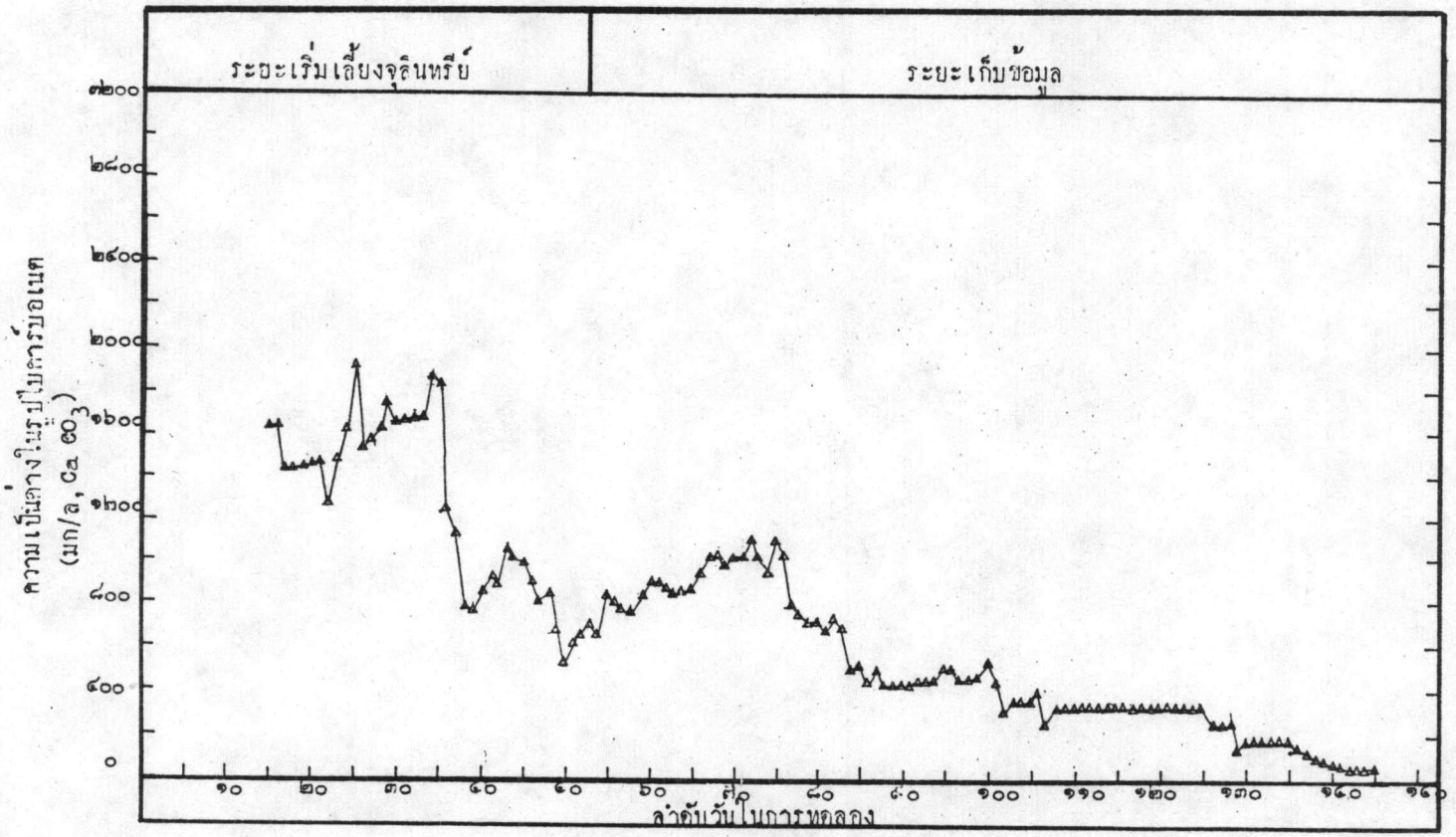
สภาพความเป็นด่าง

รูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 เป็นกราฟแสดงความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) และความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต (Bicarbonate Alkalinity) ตามลำดับสภาพความเป็นด่างที่เกิดขึ้นภายในเครื่องกรองต้าที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกในขณะที่ทำการทดลองจะมาจากโซเดี่ยมไบคาร์บอเนต, แอมโมเนียไบคาร์บอเนตและการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจนในรูปของยูเรียที่เติมลงไปในน้ำประปาที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง ในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ปริมาณความเป็นด่างที่เติมลงไปในสารละลายน้ำตาลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองจะมีปริมาณสูงเพื่อให้พอเพียงที่จะสะเทินกับกรดไวลาไทล์ที่เกิดขึ้นมา ต่อมาเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไปจะค่อย ๆ ลดปริมาณความเป็นด่างที่ต้องการลง เพราะกรดไวลาไทล์จะถูกใช้เป็นสับเสตรทของมีเทนแบคทีเรียม

อนึ่ง ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองนั้นมาจากเกลือไบคาร์บอเนตที่เติมเข้าไปเพียงอย่างเดียว ส่วนปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งนั้นส่วนหนึ่งมาจากความเป็นด่างอิสระ (Free HCO_3^- Alkalinity) ที่เหลือจากการเติมในน้ำที่เข้าสู่เครื่องกรองและอีกส่วนหนึ่งมาจากความเป็นด่างที่เกิดจากกรดไวลาไทล์ (Volatile acid Alkalinity) อันเกิดจากปฏิกริยาการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในเครื่องกรอง การที่ปริมาณความเป็นด่างในน้ำทิ้งจะสูงกว่าในน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองเล็กน้อย อาจจะมีสาเหตุจากการที่ในระยะนี้มีการเติมยูเรียซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนเข้าสู่เครื่องกรองด้วย ความจริงแล้วจุดประสงค์ในการเติมยูเรียนี้เพื่อต้องการให้เป็นแหล่งไนโตรเจน สำหรับสร้างเซลล์แบคทีเรีย แต่ในทางปฏิบัติแล้วการเติมยูเรียเข้าไปในเครื่องกรองยูเรียจะถูกย่อนสลายให้ก๊าซแอมโมเนียและคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะรวมกันได้แอมโมเนียไบคาร์บอเนต ทำให้มีสภาพความเป็นด่างเพิ่มขึ้น ผลของการเติมยูเรียและทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณความเป็นด่างสูงขึ้นนี้เป็นไปในลักษณะเดียวกับการทดลองของไพพรรณ พรประภาและมั่นสิน ตัณฑุลเวศม์[52] ในการทดลองกำจัดน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลโดยใช้เครื่องกรองไร้ออกซิเจน



รูปที่ 5.3 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก



รูปที่ 5.4 สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตในน้ำทิ้งของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก

5.1.2 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ ไม่ได้ต้องการศึกษาบทบาทของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีต่อขบวนการหมัก จึงมีการรักษาระดับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้มีมากพออยู่เสมอ ไนโตรเจนได้มาจากการเติมยูเรียและ NH_4HCO_3 (แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต) ส่วนฟอสฟอรัสได้จาก KH_2PO_4 ที่ผสมลงไปในน้ำเข้าในการทดลองของเครื่องกรองตัวนี้ได้วิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพียง 3 ครั้งเท่านั้นคือในวันที่ 82, 96, 130 ของการทดลองและได้ผลดังตารางที่ 5.1 ข้างล่าง

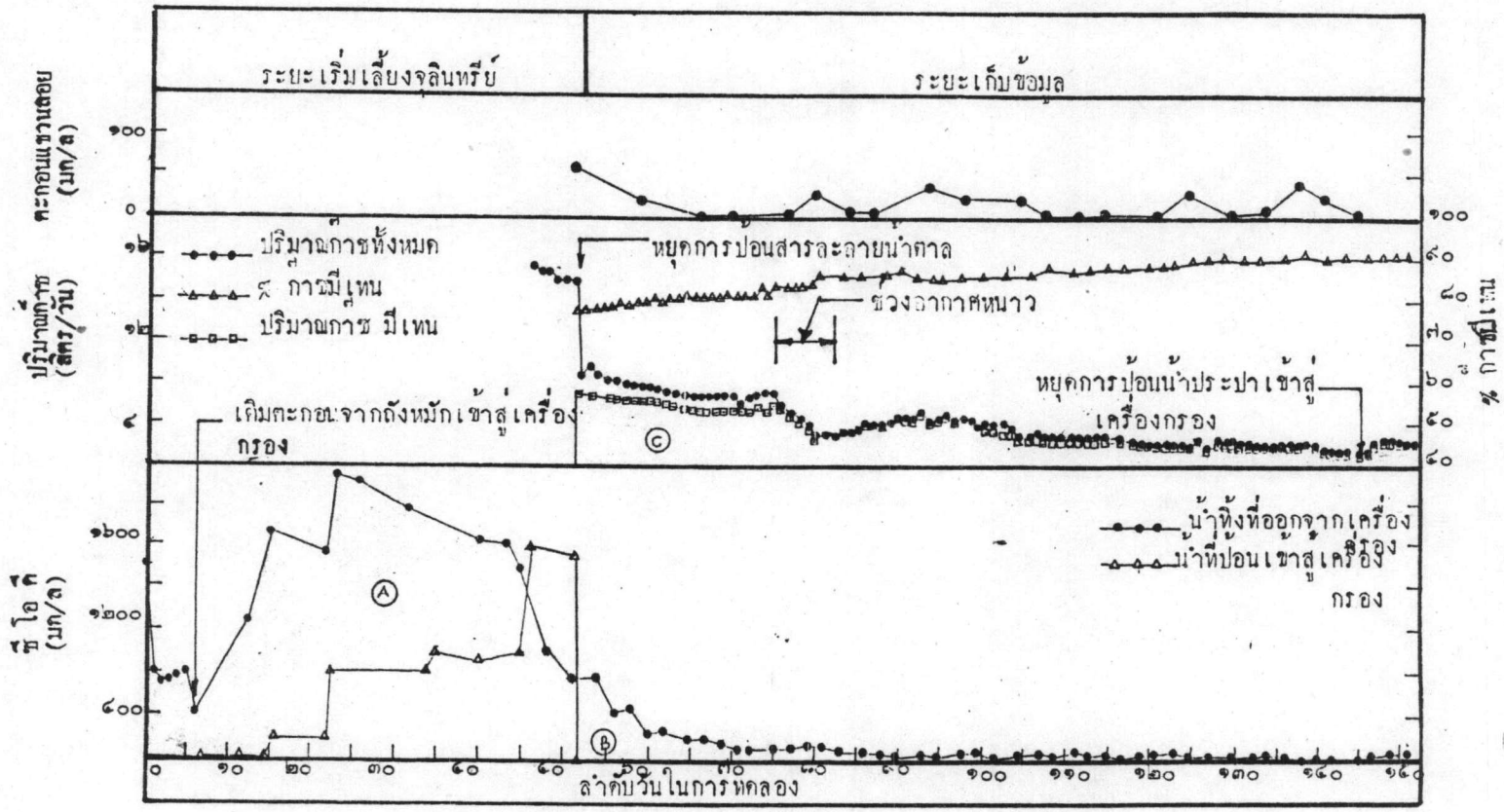
ตารางที่ 5.1 แสดง N,P และ COD:N:P ในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก

ลำดับวันของการทดลอง	ไนโตรเจน (มก/ล.)		ฟอสฟอรัส (มก/ล.)		COD:N:P ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง
	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	
82	77.2	60.10	16.80	16.3	100:36:9
96	29.2	25.1	9.3	9.1	100:25.1:9.3
130	30.8	30.2	8.8	8.8	100:61:18

จะเห็นได้ว่าค่า COD:N:P ในน้ำทิ้งและน้ำเข้าในวันต่าง ๆ ในการทดลองมีค่าสูงกว่าระดับต่ำสุดที่มีเทนแบคทีเรียต้องการ (สูงกว่า 100:1.1:0.2) อยู่เสมอ

5.1.3 ตะกอนแขวนลอย

ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกมาจากเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกแสดงอยู่ในรูปที่ 5.5 เนื่องจากในการทดลองของเครื่องกรองตัวนี้ สารอินทรีย์ที่แบคทีเรียได้รับและสามารถนำไปใช้ได้นั้น มีปริมาณจำกัดคืออยู่ในซังข้าวโพดเท่านั้น ดังนั้นปริมาณเซลล์ภายในเครื่องกรองจึงมีน้อยอีกทั้งก๊าซที่ได้จากเครื่องกรองตัวนี้ ซึ่งมีผลต่อการชะเซลล์



รูปที่ 5.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตะกอนแขวนลอย, ซีโอดี และอัตราการผลิตก๊าซของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก

แบคทีเรียให้หลุดออกจากเครื่องกรองก็อยู่ในปริมาณที่ต่ำ ทำให้มีเซลล์แบคทีเรียหลุดออกมากับน้ำที่ออกจากเครื่องกรองน้อยมาก ปริมาณเซลล์ที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งจากเครื่องกรองในแต่ละวันจะอยู่ในช่วง 10-30 มก/ล. โดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของการทดลองจะมีตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งเพียงประมาณ 10 มก/ล. เท่านั้น ตะกอนแขวนลอยเหล่านี้มีระดับไวลาไทล์อยู่ในช่วง 90-93%

5.1.4 <u>อัตราการละลาย ซีโอดี ออกจากซังข้าวโพด</u>

รูปที่ 5.5 แสดงผลการเปลี่ยนแปลง ซีโอดีและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก ในระยะแรกของการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ น้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะมี ซีโอดี สูงกว่าในสารละลายน้ำตาลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง ด้วยสาเหตุเนื่องจากซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางถูกย่อยละลายสารอินทรีย์ออกมาประการหนึ่ง และแบคทีเรียในเครื่องกรองยังมีประสิทธิภาพในการทำลาย ซีโอดี ไม่สูงพออีกประการหนึ่ง แต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่าในระยะนี้จะไม่มีการทำลาย ซีโอดี ในเครื่องกรองเลย แท้ที่จริงแล้วเป็นไป ว่าในระยะต้น ๆ ของการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์นี้ อาจจะมีการทำลาย ซีโอดี เกิดขึ้นภายในเครื่องกรองอยู่บ้าง แต่อัตราการทำลาย ซีโอดี โดยแบคทีเรียน้อยกว่าอัตราละลาย ซีโอดี ของซังข้าวโพดในเครื่องกรอง จึงทำให้ ซีโอดี ในน้ำทิ้งสูงกว่า ซีโอดี ของสารละลายที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง จนกระทั่งถึงระยะหลัง ๆ ของการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ ซีโอดี ในน้ำทิ้งจะต่ำกว่า ซีโอดี ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรอง และเมื่อวัดปริมาณก๊าซและเปอร์เซนต์ก๊าซที่เกิดพบว่าเครื่องกรองสามารถผลิตก๊าซได้ถึงวันละ 18-20 ลิตร โดยมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนสูง 68 % แสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียในเครื่องกรองเริ่มทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ดังนั้น ในวันที่ 52 ของการทดลองจึงได้เริ่มเก็บข้อมูลโดยการป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่ไม่มีสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเข้าสู่เครื่องกรองต่อไป

การละลายสารอินทรีย์ในรูปของ ซีโอดี ที่ออกมากับน้ำทิ้งของซังข้าวโพดจะมีปริมาณสูงในตอนแรกและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป ดังเช่น น้ำทิ้งจะมี ซีโอดี เพียง 30 มก/ล. ในวันที่ 145 อันเป็นวันสุดท้ายที่มีการป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุเข้าสู่เครื่องกรอง หลังจากนั้นเมื่อหยุดการป้อนน้ำประปาหรือสารละลายใด ๆ เข้าสู่เครื่องกรองและเก็บข้อมูลต่อไปอีก 6 วัน ปรากฏว่าน้ำที่ดึงออกมาจากเครื่องกรองแต่ละวันหลังจากการหยุดป้อนสารละลายใด ๆ เข้าสู่เครื่องกรองจะมี ซีโอดี ประมาณ 80 มก-ล. ซึ่งสูงกว่าในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองในช่วง

ก่อนที่จะหยุดป้อนสารละลายใด ๆ เข้าสู่เครื่องกรอง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ไม่มีน้ำประปาเจือจางสารอินทรีย์ที่ละลายออกมาจากชังข้าวโพดนั้นเอง

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.5 อีกครั้งจะเห็นพื้นที่และเงา A และ B พื้นที่ A คือปริมาณ ซีโอดี ของสารอินทรีย์ในชังข้าวโพดที่ถูกย่อยสลายออกมากับน้ำทิ้งในระยะเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนนี้จะถูกปล่อยทิ้งไปโดยไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้ เนื่องจากในเวลานั้นภายในเครื่องกรองยังมีปริมาณแบคทีเรียไร้ออกซิเจนไม่มากพอที่จะเปลี่ยนสารอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นก๊าซมีเทนได้ทัน ส่วนพื้นที่ B คือปริมาณ ซีโอดี ของสารอินทรีย์ในชังข้าวโพดที่ถูกชะออกมากับน้ำทิ้ง ในระยะทำการทดลองเก็บข้อมูล โดยการป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุและสภาพความเป็นด่าง พื้นที่ A รวมกับพื้นที่ B ให้ค่า ซีโอดี ประมาณ 1460 กรัม ซึ่งผลวิเคราะห์ของค่าที่ได้นี้จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 6.4

5.1.5 <u>อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ</u>

ปริมาณก๊าซทั้งหมด ปริมาณก๊าซมีเทนและเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกแสดงอยู่ในรูปที่ 5.5 หลังจากหยุดป้อนสารละลายน้ำตาลเพื่อการเลี้ยงจุลินทรีย์ในวันที่ 51 ของการทดลอง และเริ่มป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุที่ไม่มีสารอินทรีย์คาร์บอนเจือปนเข้าสู่เครื่องกรองในวันที่ 52 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากเครื่องกรองจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับปริมาณ ซีโอดี ในน้ำทิ้ง จนถึงวันที่ 146 ก๊าซมีเทนที่ได้จากเครื่องกรองมีเพียง 1 ลิตร/วัน และเมื่อมีการหยุดป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุเข้าสู่เครื่องกรองก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 ลิตร/วัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยออกมาจากชังข้าวโพดจะไม่ถูกละลายออกมากับน้ำทิ้ง ดังเช่น ตอนที่ยังมีการป้อนน้ำประปาเข้าสู่เครื่องกรอง แต่อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุและความเป็นด่างเข้าสู่เครื่องกรองเลยแล้ว ในระยะที่ชังข้าวโพดยังมีสารอินทรีย์ที่จะถูกละลายออกมาได้มาก จะทำให้ พี เอช ในเครื่องกรองลดต่ำลงจนมีเทนแบคทีเรียไม่สามารถจะทำงานได้

สำหรับเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในวันที่ 51 ของการทดลอง เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนสูงถึง 80 % และเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยในช่วงท้าย ๆ ของการ

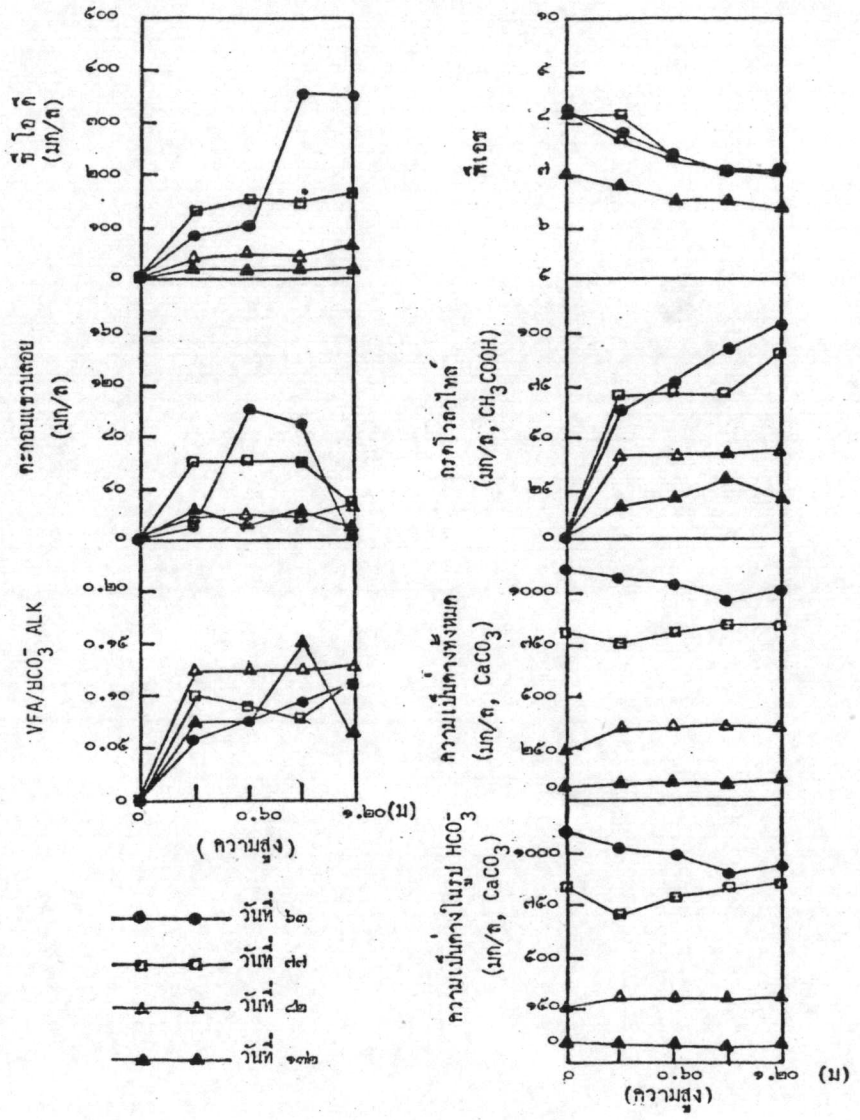
ทดลองเช่นในวันที่ 146 เปอร์เซนต์ มีเทนจะสูงถึง 90 % ซึ่งสาเหตุของการที่เปอร์เซนต์มีเทนมีระดับสูงเช่นนี้จะได้กล่าวถึงต่อไปในบทที่ 6 หัวข้อที่ 6.9 อนึ่ง ในการทดลองครั้งนี้มีเหตุการณ์ที่น่าสังเกตอย่างหนึ่ง คือในวันที่ 10 มกราคม (วันที่ 77 ของการทดลอง) เกิดอากาศหนาวอย่างฉับพลัน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจากเครื่องกรองลดลงอย่างสังเกตได้ชัด (ดูรูปที่ 5.5) อากาศหนาวจะคงอยู่เป็นระยะเวลา 3-4 วัน จากนั้นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งในวันที่ 93 อัตราการผลิตก๊าซจึงเข้าสู่ระดับปกติและหลังจากนั้นก็ค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ในลักษณะตามที่กล่าวมาแล้ว เนื่องจากสารอินทรีย์ในซังข้าวโพดจะค่อย ๆ หมดไปดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น จากผลของการทดลองอันนี้ แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันมีผลต่อการทำงานของมีเทนแบคทีเรียจริงตามที่ Torien et al[12] ได้กล่าวไว้

ปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ได้จากการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกนี้ (ใช้ซังข้าวโพดเป็นสับเสตรทเพียงอย่างเดียว) ตั้งแต่วันที่ 52 จนถึงวันที่ 151 ของการทดลองจะมีปริมาณทั้งหมดประมาณ 400 ลิตร (พื้นที่ใต้กราฟรูป C ในรูปที่ 5.5)

5.1.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง

ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกนี้ได้ทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ทุก 30 ซม. ของเครื่องกรอง ในวันที่ 63, 77, 82 และ 132 ของการทดลอง รูปที่ 5.6 เป็นกราฟที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่สำคัญ คือ ซีโอดี, พี เอช, ตะกอนแขวนลอย, กรดโวลาไทล์, ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด ปริมาณความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตและอัตราส่วนของกรดโวลาไทล์ต่อปริมาณความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรอง

การเปลี่ยนแปลงตัวแปรบางตัว เช่น พี เอช, ความเป็นด่าง, และอัตราส่วนระหว่างกรดโวลาไทล์ต่อความเป็นด่างนอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จากซังข้าวโพดซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการใช้งานที่ผ่านไปแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับปริมาณของด่างที่เติมลงไปในน้ำประปาที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองด้วย สำหรับการเปลี่ยนแปลงของซีโอดี จะเห็นได้ว่า



รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับอาหารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก ในวันที่ 63,77,82 และ 172 ของการทดลอง

ตลอดระยะเวลาในการทดลอง เมื่อป้อนน้ำประปาผสมแร่ธาตุและสภาพความเป็นด่างที่มี ซีโอดี น้อยมาก เข้าสู่เครื่องกรองและให้ไหลผ่านชั้งข้าวโพดที่เป็นตัวกลาง ชั้งข้าวโพดจะถูกย่อยสลายและละลายสารอินทรีย์ที่วัดได้ในเทอม ซีโอดี ออกมาตลอดความสูงของเครื่องกรอง ทำให้ ซีโอดี ในเครื่องกรองจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความสูง โดยที่น้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะมี ซีโอดี สูงที่สุด และเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไปปริมาณ ซีโอดี ที่ชั้งข้าวโพดปล่อยออกมาจะลดลง ๆ แต่ก็ยังเป็นไปในลักษณะที่เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเครื่องกรอง ปริมาณกรดโวลาไทล์ภายในเครื่องกรองเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเดียวกับ ซีโอดี คือค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงและลดลงเมื่อเวลาในการทดลองผ่านไป พี เอช ภายในเครื่องกรองจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับความสูง เป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณกรดโวลาไทล์ที่เพิ่มขึ้น

ปริมาณความเป็นด่างในรูปของความเป็นด่าง ทั้งหมดจะไม่ค่อยแปรเปลี่ยนไปตามระดับความสูงนัก ส่วนความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตอิสระจะเห็นได้ชัดกว่าเล็กน้อย อนึ่ง จะเห็นได้ว่าปริมาณความเป็นด่างในวันหลัง ๆ ของการทดลองจะลดลง ๆ ต่ำกว่าในวันต้น ๆ เนื่องจากลดการเติมสารให้ความเป็นด่างตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนอัตราระหว่างกรดโวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตนั้น เนื่องจากการที่ต้องปรับสภาพความเป็นด่างเพื่อให้ พี เอช อยู่ในสภาพที่เหมาะสมอยู่เสมอมีผลทำให้อัตราส่วนนี้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่คงที่ แต่อย่างไรก็ดีค่าอัตราส่วนอันนี้ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองจะค่อย ๆ เพิ่มจากด้านล่างไปสู่ด้านบนของเครื่องกรอง ในลักษณะเช่นเดียวกับการเพิ่มของกรดโวลาไทล์ ปริมาณตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองจะมีมากที่สุดที่ระดับ 0.30 ม. และ 0.60 ม. จากก้นถังและจะลดลงเล็กน้อยในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง

5.2 ผลการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

สำหรับเครื่องกรองที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์มีจุดประสงค์ที่สำคัญในการที่จะศึกษาอิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิ่งต่อการผลิตก๊าซและการกำจัด ซีโอดี การทดลองใช้เวลาทั้งหมด 230 วัน โดยเป็นเวลาในการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ 97 วัน การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ดำเนินไปในลักษณะที่คล้ายกับเครื่องกรองตัวแรก แต่มีข้อแตกต่างอย่างหนึ่งดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

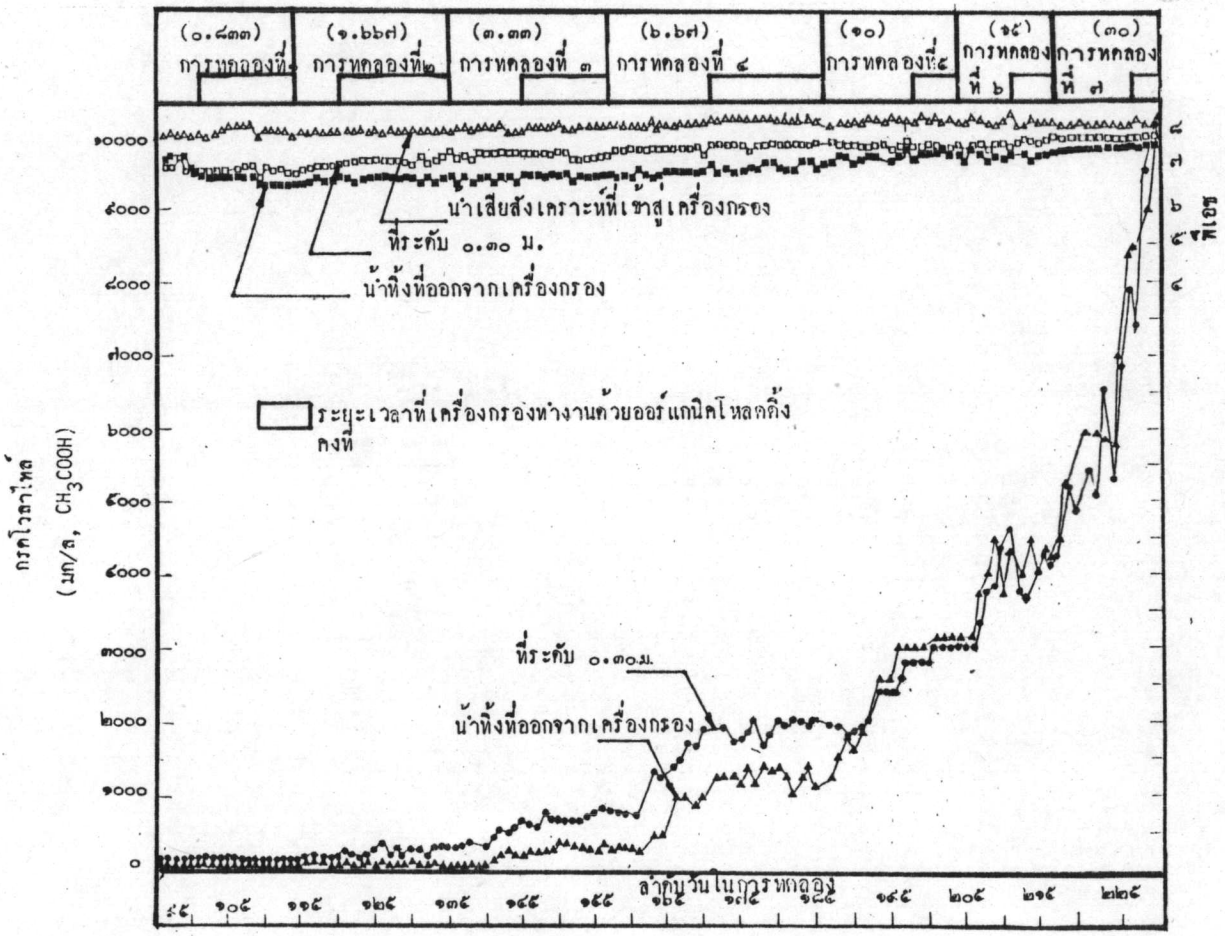
คือ ในวันที่ 51 ได้มีออกซิเจนเข้าไปในเครื่องกรองทำให้การทำงานของเครื่องกรองล้มเหลว จึงต้องมีการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ใหม่ จนถึงวันที่ 97 ของการทดลองแบคทีเรียในเครื่องกรองตัวนี้จึงแข็งแรงมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดี ต่อจากนั้นจึงได้เริ่มเก็บข้อมูล โดยการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่เครื่องกรองต่อไป

การเก็บข้อมูลเครื่องกรองเริ่มตั้งแต่วันที่ 98 จนถึงวันที่ 230 ของการทดลองรวมเป็นเวลา 132 วัน โดยการเปลี่ยนระดับออร์แกนิคโหลดดิง 7 ระดับ การเปลี่ยนออร์แกนิคโหลดดิงทำโดยค่อย ๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียทีละน้อย เพราะต้องการให้การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมภายในเครื่องกรองเป็นไปอย่างช้า ๆ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์จนถึงระดับที่ต้องการแล้ว จะป้อนน้ำเสียเข้าสู่เครื่องกรองด้วยอัตราดังกล่าวอย่างคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้การทำงานของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองอยู่ภายใต้สภาวะคงที่ (Steady State) จากนั้นจึงเริ่มเปลี่ยนออร์แกนิคโหลดดิงอีกครั้งหนึ่งและจะดำเนินไปอย่างนี้จนครบ 7 การทดลอง ผลการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับน้ำเสียสังเคราะห์มีดังนี้

5.2.1 <u>พี เอช, กรดโวลาไทล์และสภาพความเป็นด่าง</u>

<u>พี เอช</u>

การเปลี่ยนแปลง พี เอช และกรดโวลาไทล์ของเครื่องกรองตัวที่ได้รับอาหารจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลอง แสดงอยู่ในรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่า ระดับ พี เอช ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องกรองจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสภาพความเป็นด่างจากสารเคมีที่เติมลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเพิ่มขึ้นตามระดับออร์แกนิคโหลดดิง การเพิ่มปริมาณความเป็นด่างในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่เครื่องกรองเช่นนี้ มีอิทธิพลทำให้ พี เอช ที่ระดับ 0.30 ม. จากก้นถังกรองและในน้ำทิ้งเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงจนถึงระดับหนึ่ง คือ 10 กก. ซีโอดี/ม^3.-วัน พี เอช ที่ระดับ 0.30 ม. และในน้ำทิ้งจะสูงถึง 7.5 และ 7.75 ตามลำดับ สภาวะเช่นนี้อาจจะเป็นอันตรายต่อมีเทนแบคทีเรียภายในเครื่องกรอง ผลการเปลี่ยนแปลงของ พี เอช, กรดโวลาไทล์, สภาพความเป็นด่างและตะกอนแขวนลอยที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงพีเอช, กรดโวลาไทล์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของ พี เอช, กรดไวลาไทล์, สภาพความเป็นด่างและตะกอนแขวนลอยที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

ออร์แกนิคโหลดดิง (กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน)			0.833	1.66	3.33	6.67	10	15	30
พี เอช		- ในน้ำเสียสังเคราะห์	8.05	8.20	8.30	8.40	8.50	8.50	8.30
		- ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรอง	7.00	7.50	7.70	7.80	7.75	7.95	8.00
		- ที่ระดับ 0.30 ม.	6.80	7.00	7.05	7.45	7.50	7.50	7.75
		- ในน้ำเสียที่ทิ้งไว้ค้างคืน	6.10	6.20	6.40	6.80	6.95	7.60	8.30
กรดไวลาไทล์ (มก/ล. CH_3COOH)		- ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรอง	40	120	360	1225	2900	4100	10000
		- ที่ระดับ 0.30	150	300	780	2000	3050	4318	10000
		- ในน้ำเสียที่ทิ้งไว้ค้างคืน	300	580	1100	1900	3100	1700	300
สภาพความเป็นด่าง (มก/ล.) $CaCO_3$	ทั้งหมด	- ในน้ำเสียสังเคราะห์	580	1025	2000	4000	6000	9200	17800
		- ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	700	1200	2300	4800	7000	9980	20000
		- ที่ระดับ 0.30 ม.	650	1125	2150	4400	6800	9841	20000
		- ในน้ำเสียที่ทิ้งไว้ค้างคืน	450	700	1250	2800	6500	9800	17000
	HCO_3^-	- ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรอง	671	1115	2045	3915	4946	7077	12920
		- ที่ระดับ 0.30 ม.	544	912	1597	2984	4640	6783	12920
อัตราส่น VFA HCO_3^- ALK		- ในน้ำทิ้งจากเครื่องกรอง	0.06	0.107	0.176	0.32	0.59	0.58	0.77
		- ที่ระดับ 0.30 ม.	0.28	0.33	0.49	0.67	0.66	0.64	0.77
ตะกอนแขวนลอย (มก/ล)		- ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	50	100	250	320	800	1600	4000

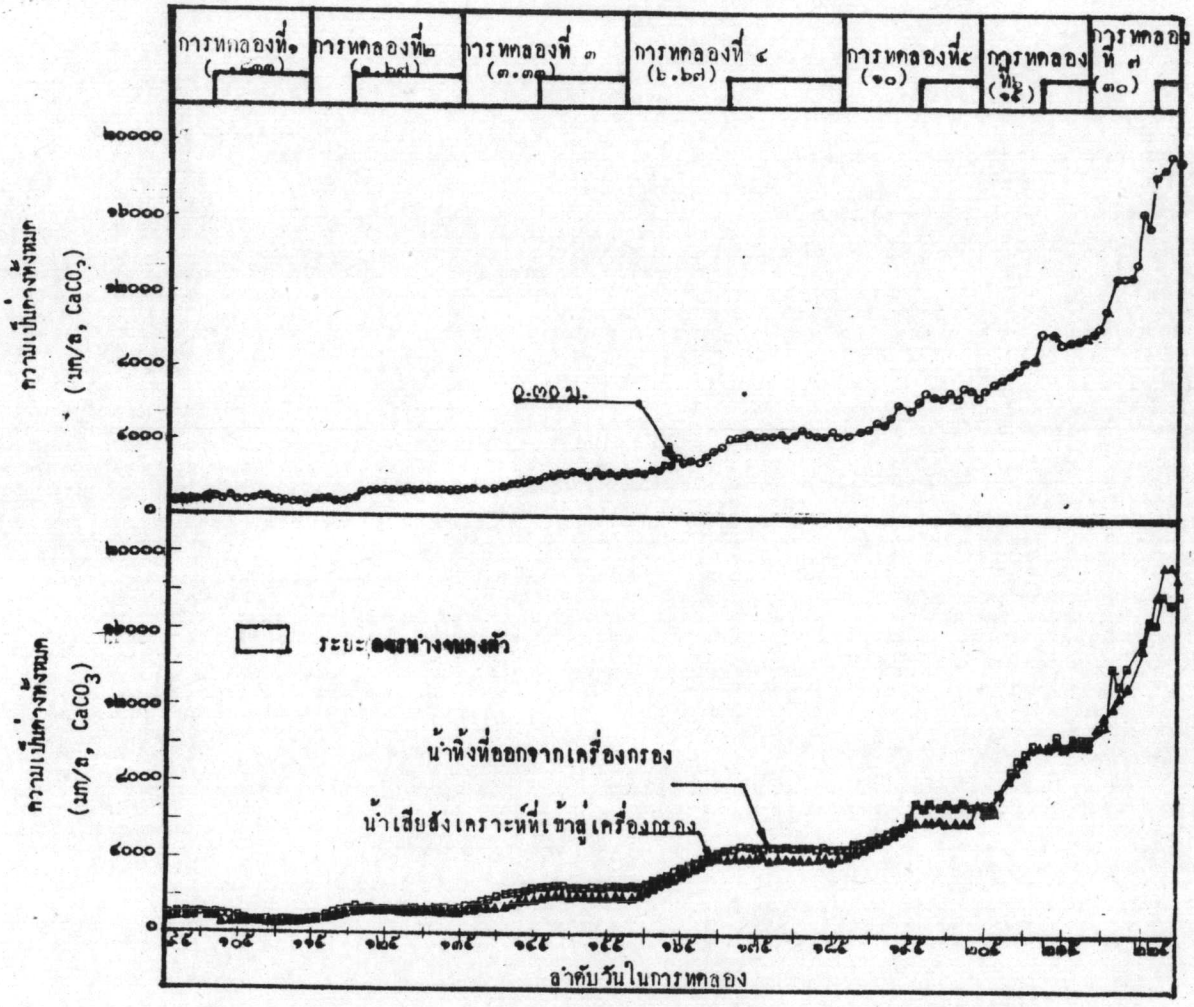
หมายเหตุ อัตราการป้อนปริมาณน้ำเสียเข้าสู่เครื่องกรอง(Hydraulic loading)กำหนดให้คงที่เท่ากับ 20 ลิตร/วัน ตลอดการทดลอง

กรดโวลาไทล์

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว้าการเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้น ทำให้ปริมาณกรดโวลาไทล์ที่ระดับ 0.30 ม. และในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากขณะที่เครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่ำสุดในการทดลอง คือ 0.833 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน จะมีปริมาณกรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งเพียง 40 มก/ล. ส่วนที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูงสุดในการทดลอง คือ 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ปริมาณกรดโวลาไทล์ในน้ำทิ้งจะสูงถึง 10,000 มก/ล. อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่า ปริมาณกรดโวลาไทล์ที่ระดับ 0.30 ม. จะสูงกว่าในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองอยู่เสมอ

สภาพความเป็นด่าง

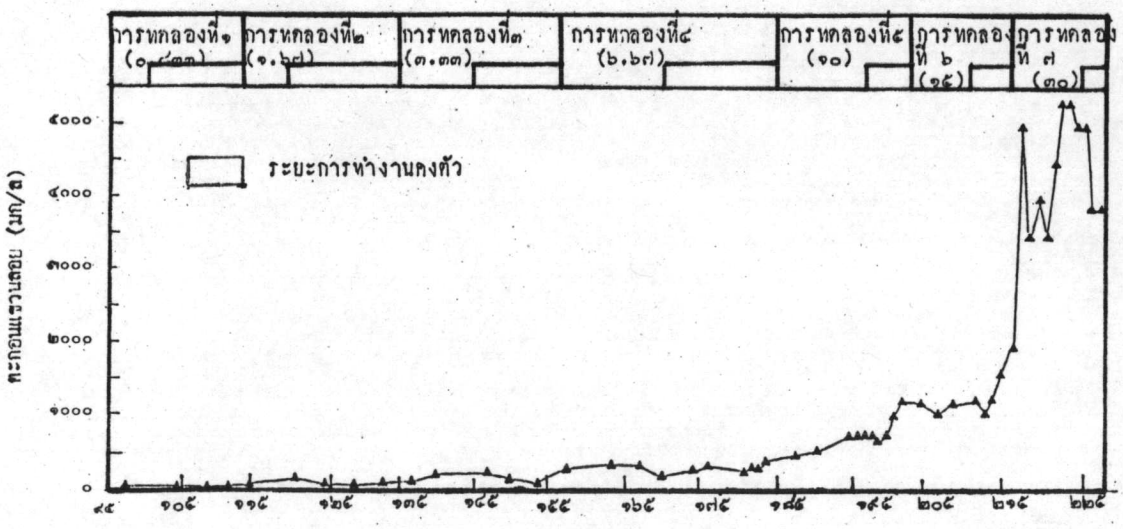
การเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นด่างทั้งหมดที่ระยะเวลาที่ต่าง ๆ ในการทดลองแสดงอยู่ในภาพที่ 5.8 จะเห็นได้ว่า สภาพความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่เครื่องกรองจะเพิ่มขึ้นตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งและที่ระดับ 0.30 ม. จากก้นถังกรองก็จะเพิ่มขึ้นตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 5.8 สภาพความเป็นด่างทั้งหมดที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

5.2.2 <u>ปริมาณตะกอนแขวนลอย</u>

ปริมาณตะกอนแขวนในน้ำทิ้งที่ออกมาจากเครื่องกรองที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองแสดงอยู่ในภาพที่ 5.9 ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองจะเพิ่มขึ้นตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่เพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เครื่องกรองจะทำให้การสร้างเซลล์แบคทีเรียภายในเครื่องกรองเพิ่มมากขึ้น พร้อมกันนั้น การเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่เครื่องกรองจะทำให้ปริมาณก้าชชีวภาพที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อการพัดพาเซลล์แบคทีเรียออกจากเครื่องกรอง อนึ่ง ตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองตัวนี้จะมีระดับไวลาไทล์อยู่ในช่วง 86-91 %



รูปที่ 5.9 กราฟปริมาณตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

5.2.3 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

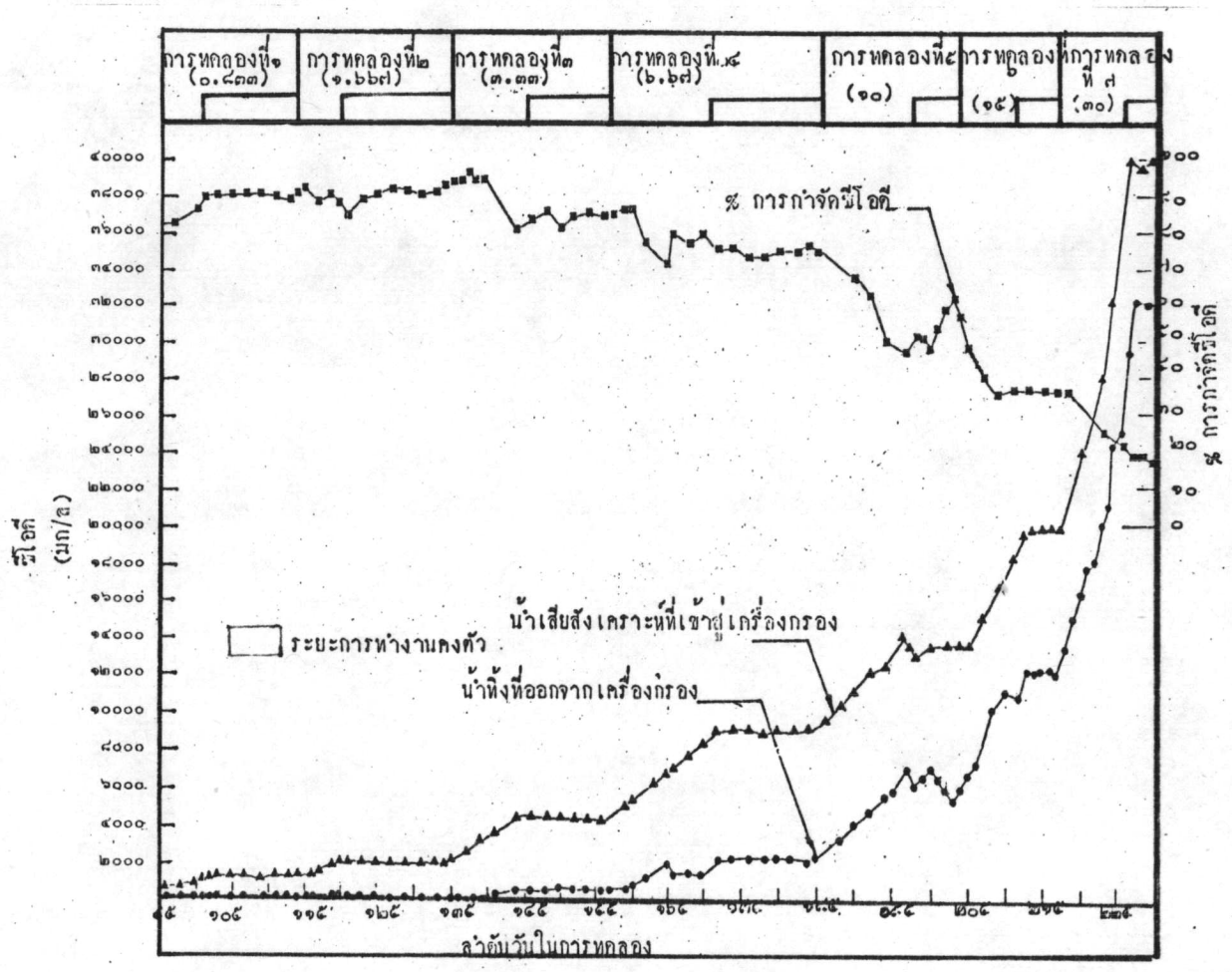
สำหรับปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ จะรักษาให้อยู่ในระดับที่พอเพียงแก่ความต้องการของแบคทีเรียในการสร้างเซลล์อยู่เสมอเช่นกัน ตารางที่ 5.3 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน, ฟอสฟอรัสที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 5.3 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

		ออร์แกนิคโหลดดิง (กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน)						
		0.833	1.67	3.33	6.67	10	15	30
ไนโตรเจน (มก/ล.)	- ในน้ำเสียสังเคราะห์	108.5	206	525.8	834	1389	2360	4354
	- ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	85.6	144	408	848	1201	1942	3780
ฟอสฟอรัส (มก/ล.)	- ในน้ำเสียสังเคราะห์	10	17.6	30.5	100	137	195	-
	- ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	10.2	16.6	20.1	102.5	147	202.5	-

5.2.4 ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

รูปที่ 5.10 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงและประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลอง ผลของการทดลองครั้งนี้ ปรากฏว่า การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงของเครื่องกรองให้สูงขึ้นจะทำให้เปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี ลดลงเครื่องกรองจะสามารถทำงานให้ประสิทธิภาพ เปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี สูงสุดที่ออร์แกนิคโหลดดิง 1.67 กก.ซีโอดี/ม^3.-



รูปที่ 5.10 การเปลี่ยนแปลง และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

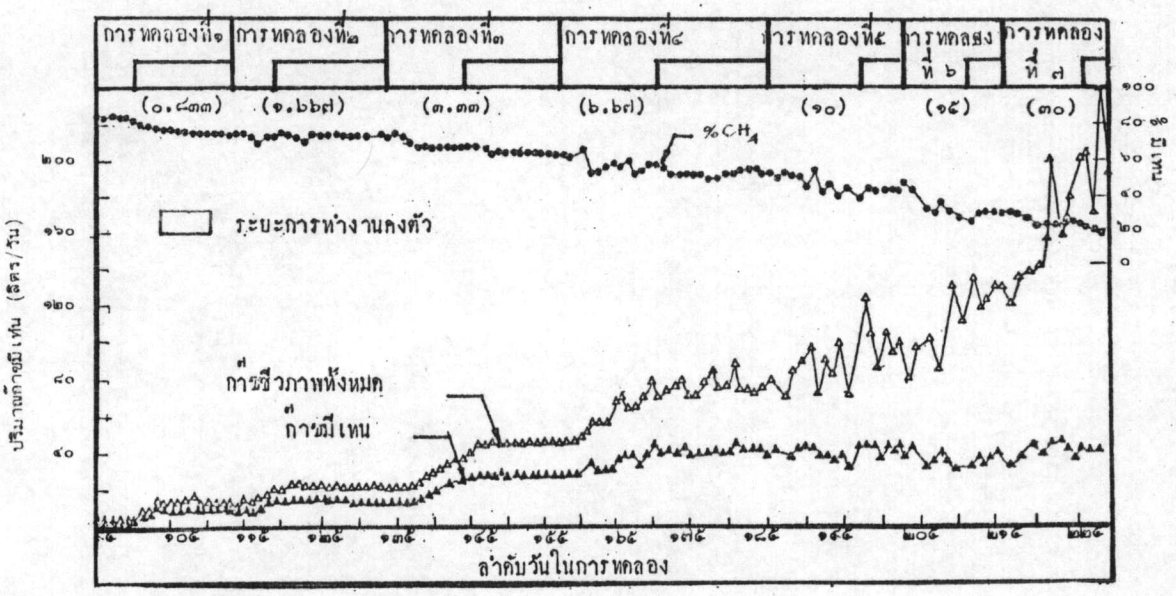
วัน โดยมีเปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี 94 % และที่ออร์แกนิคโหลดดิง 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ซึ่งเป็นระดับที่สูงสุดในการทดลองเครื่องกรองจะมีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี เพียง 18 % เท่านั้น ส่วนความสามารถของเครื่องกรองในการทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์นั้นพบว่าในระยะต้น ๆ ของการทดลองซึ่งเครื่องกรองยังทำงานที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ๆ (0.88-6.67 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน) การทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ของเครื่องกรองจะเพิ่มขึ้นตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงมาถึงจุดหนึ่งคือที่ 10 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน เครื่องกรองจะถึงจุดที่การทำลายสารอินทรีย์ในรูปของ ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ทำได้สูงสุด คือ 7,500 มก/ล. หลังจากจุดนี้แล้วการเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้น จะไม่ทำให้การทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เช่นที่ ออร์แกนิคโหลดดิง 15 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน การทำลาย ซีโอดี จะลดลงเหลือ 7,200 มก/ล. และที่ 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน จะลดลงเป็น 6,800 มก/ล. ดังนั้น เราอาจจะสรุปได้ว่า เครื่องกรองจะสามารถทำการกำจัด ซีโอดี ในน้ำเสียได้มากที่สุดที่ออร์แกนิคโหลดดิง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน โดยที่จะมีเปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี 55 % ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองของการกำจัด ซีโอดี และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองของการกำจัด ซีโอดี และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

		ออร์แกนิคโหลดดิง (กก.ซีโอดี/ม^3. - วัน)						
		0.833	1.66	3.33	6.67	10	15	30
ซีโอดี (มก/ล.)	- ในน้ำเสียสังเคราะห์	1260	2180	4450	9100	13500	19600	38800
	- ในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	105	130	650	2400	6000	12400	32000
	- เปอร์เซนต์การกำจัด ซีโอดี	91.5	94	85.4	74.7	55	36.30	17.50
	- ที่ระดับ 0.30	350	550	1600	3200	6600	15000	33000
	- ซีโอดี ที่ถูกกำจัดไป (มก/ล.)	1155	2050	3800	6700	7500	7200	6800
	- ในถังน้ำเสียทิ้งไว้ค้างคืน	900	1950	3206	8300	11500	18600	38000
ก๊าซ	- ปริมาณก๊าซทั้งหมด (ลิตร/วัน)	13.4	22	44	79	100	126	220
	- เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน	77	73	65	54	43	30	18.5
	- ก๊าซมีเทน (ลิตร/วัน)	10	16	29	43	43.2	38	40.7
	- ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ต่อปริมาณซีโอดี ที่ถูกทำลาย (ลิตร/กรัม ซีโอดี)	0.47	0.39	0.38	0.32	0.28	0.264	0.30

5.2.5 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

รูปที่ 5.11 แสดงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ, เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้จากเครื่องกรองตัวที่รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ จะเห็นได้ว่า การเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงจะทำให้ปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากเครื่องกรองสูงขึ้นเรื่อย ๆ และเปอร์เซนต์



รูปที่ 5.11 อัตราการผลิตก๊าซ, เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนที่ระยะเวลาต่าง ๆ ในการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์

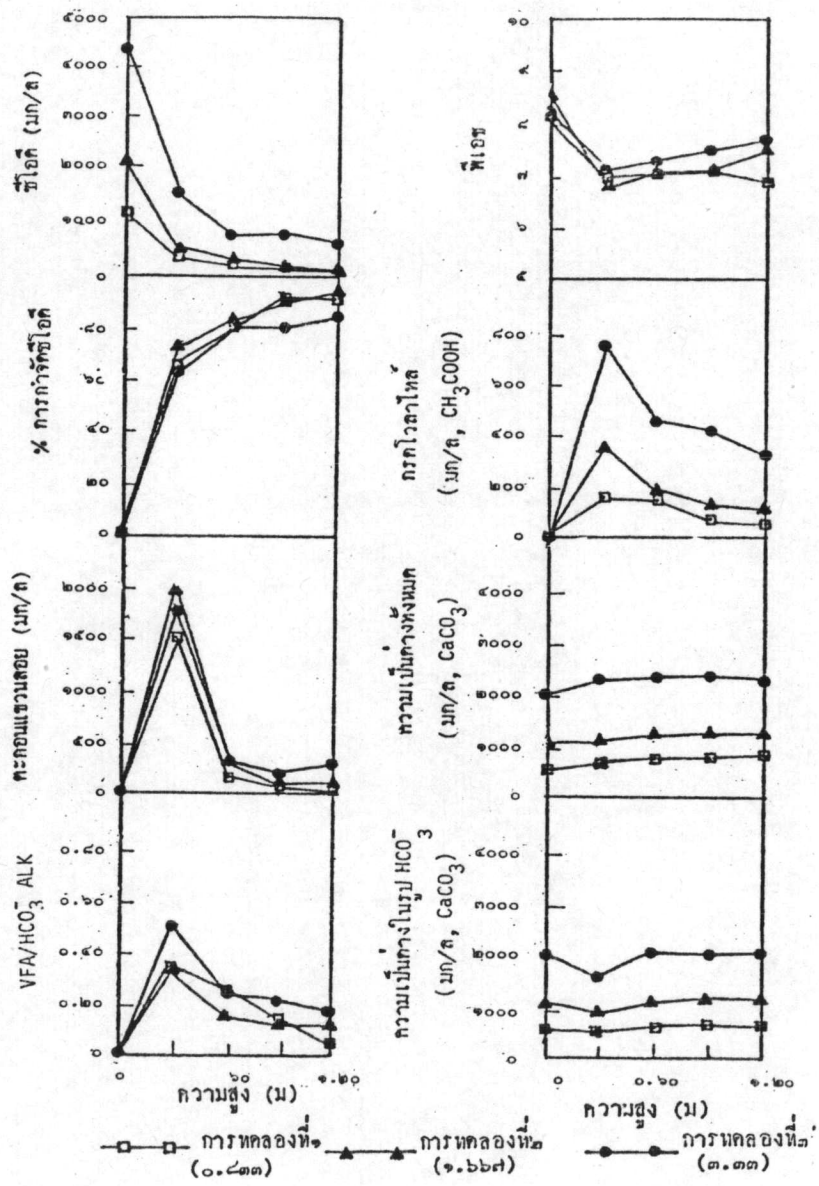
ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลง ซึ่งผลที่ได้นี้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการทดลองของ สุรพล สายพานิช[51] และบุญส่ง ไข่เกษ[53] ซึ่งทั้งสองได้ให้เหตุผลว่า เมื่อออร์แกนิคโหลดดิงยิ่งสูง การทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดจะทำการย่อยสลาย อินทรีย์สารและเพิ่มจำนวนได้รวดเร็ว จึงผลิตกรดและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาโดยมีเทนแบคทีเรียไม่สามารถที่จะเพิ่มจำนวนและย่อยสลายกรดอินทรีย์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทัน จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นและก๊าซมีเทนลดลง ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากเครื่องกรองนั้น เมื่อดูจากรูปที่ 5.10 จะ

เห็นได้ว่าในระยะต้น ๆ ของการทดลองที่ช่วงออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ๆ (0.833-6.67 กก.ซีโอดี /ม^3.-วัน) ปริมาณก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้นตามระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่สูงขึ้น จนกระทั่งเมื่อออร์-แกนิคโหลดดิงสูงถึง 10 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนจะมีค่าสูงสุด คือ 43.2 ลิตร /วัน จากนั้น เมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้นไปกว่านี้ แม้ว่าปริมาณก๊าซทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จะอยู่ในลักษณะที่คงที่ไม่เพิ่มขึ้นไปด้วย

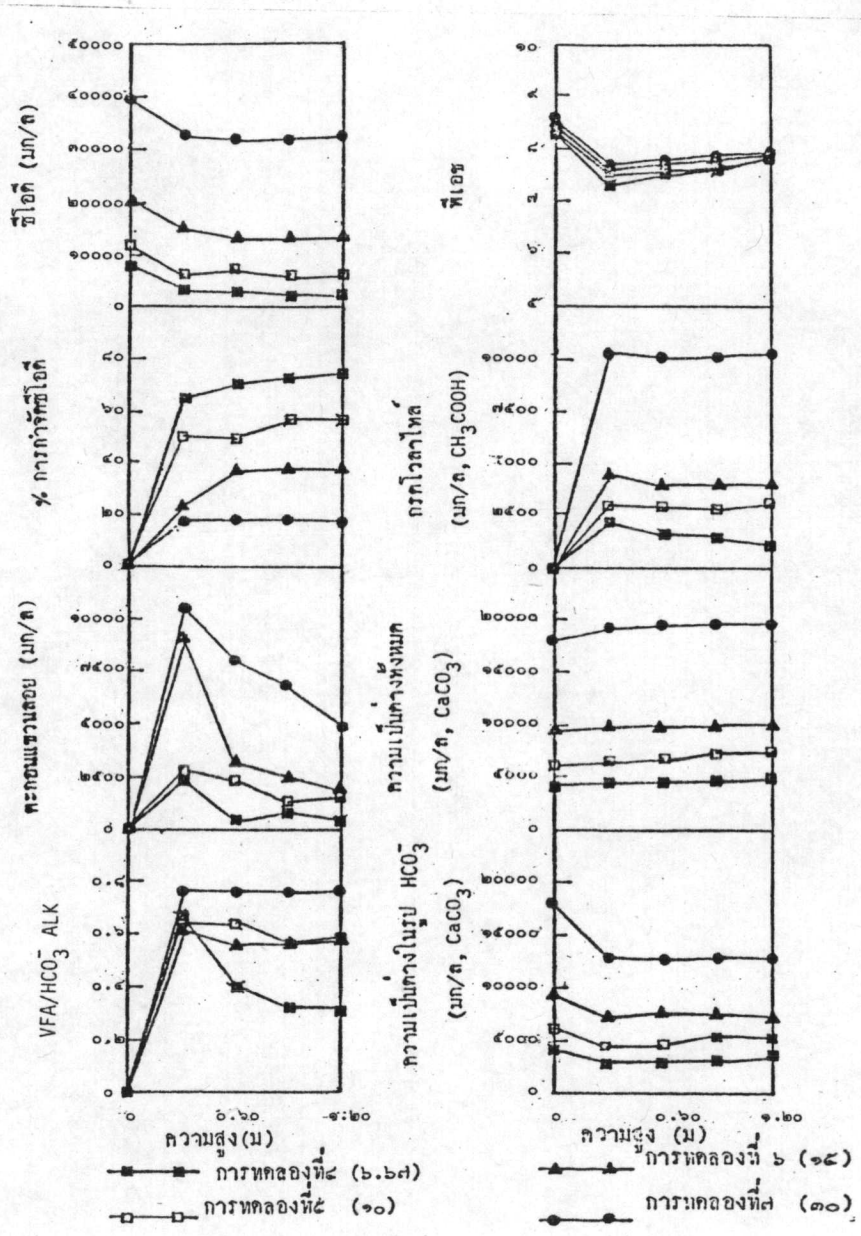
5.2.6 <u>การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง</u>

รูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองที่ออร์แกนิคโหลดดิง 0.833, 1.667 3.33 และที่ออร์แกนิคโหลดดิง 6.67, 10, 15, 30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การกำจัด ซีโอดี ของเครื่องกรองส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณ 0.30 ม. จากข้างล่างของเครื่องกรอง ส่วนที่ระดับความสูงเกิน 0.30 ม. ขึ้นไป ถ้าเครื่องกรองยังทำงานอยู่ที่ออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ๆ เช่น 0.833-3.33 กก.ซีโอดี /ม^3.-วัน จะยังมีการทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียอยู่บ้าง ส่วนที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูง ๆ เช่น 15-30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน ที่ระดับความสูงเกินกว่า 0.30 ม. จากก้นถังกรองไปแล้ว การทำลาย ซีโอดี ในน้ำเสียจะมีน้อยมาก โดยเฉพาะที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูงที่สุดในการทดลอง คือ 30 กก. ซีโอดี/ม^3.-วัน (รูปที่ 5.13) การกำจัด ซีโอดี ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองจะอยู่ภายในระดับ 0.30 ม. เท่านั้น

ปริมาณกรดไวลาไทล์จะเกิดมากที่สุดที่ระดับ 0.30 ม. จากก้นถังกรองและในกรณีที่เครื่องกรองยังทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ (รูปที่ 5.12) ที่ระดับความสูงเหนือ 0.30 ม. ขึ้นไปปริมาณกรดไวลาไทล์จะค่อย ๆ ลดลงจนมีปริมาณต่ำสุดในน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง แต่ในกรณีที่เครื่องกรองทำงานที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูง ๆ เช่น 15-30 กก.ซีโอดี/ม^3.-วัน (รูปที่ 5.13) กรดไวลาไทล์ในเครื่องกรองจะมีปริมาณสูงสุดที่ 0.30 ม. และจะมีปริมาณคงที่เช่นนี้ตลอดความสูงของเครื่องกรอง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุเนื่องจากที่ระดับความสูงเกินกว่า 0.30 ม. นั้นมีจำนวนมีเทนแบคทีเรียอยู่น้อยจนไม่สามารถจะเปลี่ยนกรดไวลาไทล์ให้เป็นก๊าซมีเทนได้ทัน เนื่องจากมันจะถูกก๊าซ



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองที่ 1,2 และ 3



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสียสังเคราะห์ ในการทดลองที่ 4,5,6 และ 7

ที่เกิดในเครื่องกรองพัดพาหลุดออกไปจากเครื่องกรองเป็นจำนวนมาก

สภาพความเป็นด่างทั้งหมดภายในเครื่องกรองจะไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก แต่พอจะสังเกตได้ว่าตลอดระยะเวลาในการทดลองสภาพความเป็นด่างทั้งหมดในเครื่องกรองจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของเครื่องกรองจนกระทั่งมีสภาพความเป็นด่างทั้งหมดสูงที่สุดในน้ำทิ้ง

สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตที่ระดับความสูงต่าง ๆ จะมีความแตกต่างให้เห็นมากกว่า เนื่องจากความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตมีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดไวลาไทล์ที่เพิ่มขึ้น ที่ระดับ 0.30 ม. จะเป็นบริเวณที่มีปริมาณความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตน้อยที่สุด เพราะเป็นบริเวณที่มีกรดไวลาไทล์มากที่สุด

อัตราส่วนระหว่างกรดไวลาไทล์และความเป็นด่างในรูปคาร์บอเนตที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองจะมีค่าสูงสุดที่ระดับ 0.30 ม. เช่นกันและจะค่อย ๆ ลดลงตามความสูงของเครื่องกรอง ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความสูง 0.30 ม. นี้มีปริมาณกรดไวลาไทล์มากที่สุดและมีความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนตน้อยที่สุด ตามที่ได้กล่าวมาแล้วด้วย

ค่า พี เอช ที่ต่ำที่สุดในเครื่องกรองจะอยู่ที่ระดับ 0.30 ม. และจะเพิ่มตามระดับความสูง พี เอช ในน้ำทิ้งจะมีค่าต่ำกว่า พี เอช ในน้ำเสียสังเคราะห์เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่า พี เอช ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ขณะที่เครื่องกรองทำงานที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่แตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า พี เอช ภายในเครื่องกรองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงสูง ๆ จะสูงกว่าที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่ำ ซึ่งการที่ พี เอช ของเครื่องกรองมีค่าสูงตามออร์แกนิคโหลดดิงที่สูงขึ้น อาจเป็นเหตุให้การทำงานของเครื่องกรองที่ออร์แกนิคโหลดดิงสูงไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เพราะ พี เอช สูงจะส่งผลกระทบต่อมีเทนแบคทีเรียได้รุนแรงกว่าต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างกรด จึงปรากฏว่าปริมาณกรดไวลาไทล์มีค่าเพิ่มขึ้นตามออร์แกนิคโหลดดิงที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณมีเทนมีค่าคงที่

ตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองจะมีปริมาณสูงสุดที่ระดับ 0.30 ม. และจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับความสูงของเครื่องกรองจนมีปริมาณน้อยที่สุดในน้ำทิ้ง อันแสดงให้เห็นว่าตัวกลาง (ซังข้าวโพด) มีความสามารถที่จะกักเก็บเซลล์แบคทีเรียไว้ในเครื่อง

กรองได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มออร์แกนิคโหลดดิงให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการเก็บกักเซลล์โดยการกรองของตัวกลางจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการชะพาของก๊าซที่เกิดซึ่งเพิ่มขึ้น

5.3 <u>การเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางภายหลังจากการใช้งาน</u>

ข้อมูลที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางภายหลังใช้งาน ได้มาจากการนำเอาซังข้าวโพดก่อนที่จะใช้งานซึ่งอยู่ในสภาพอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103^{0}ซี. และซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกซึ่งผ่านการใช้งานมา 151 วันแล้วมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการ เปรียบเทียบกันซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5.5 ข้างล่างและรูปที่ 5.14 เป็นรูปเปรียบเทียบลักษณะของซังข้าวโพดก่อนและหลังการใช้งาน อนึ่ง เมื่อก่อนที่จะหยุดการทดลองของเครื่องกรองตัวที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกและเปิดเครื่องกรองเอาซังข้าวโพดออกมาวิเคราะห์นี้ ปริมาณก๊าซที่ได้จากเครื่องกรองลดลงเหลือวันละประมาณ 1 ลิตร/วัน ซึ่งนับว่าน้อยมากจนอาจจะถือได้ว่าขณะนั้น ซังข้าวโพดหมดสภาพที่จะใช้เป็นสับเสตรทในการผลิตก๊าซมีเทนแล้ว

ตารางที่ 5.5 ลักษณะของซังข้าวโพดที่ใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองก่อนและหลังการหมัก (จากเครื่องกรองที่ไม่ได้รับสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอก)

	ก่อนหมัก	หลังหมัก
นน. ซังข้าวโพดทั้งหมดในเครื่องกรอง (อบแห้ง, กรัม)	3878	1100
เปอร์เซนต์ TVS	98 %	96 %
เปอร์เซนต์โปรตีน	3 %	12 %
เปอร์เซนต์คาร์โบไฮเดรทบางส่วนที่วิเคราะห์ได้โดยใช้สารแอนโทรน (Anthrone)	35.8 %	23.68 %

<u>หมายเหตุ</u> ซังข้าวโพดก่อนหมัก 1 กรัมจะให้ ซีโอดี 1.10 กรัม ส่วนซังข้าวโพดหลังหมักแล้ว 1 กรัมจะให้ ซีโอดี 1.15 กรัม

อนึ่ง การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรทโดยใช้สาร แอนโทรน (Anthrone) สามารถที่จะวัดคาร์โบไฮเดรทที่อยู่ในรูปของน้ำตาลเฮกโซส (Hexose Sugar) ได้ทั้งหมด เช่น กลูโคส โดยกลูโคสจะทำปฏิกริยากับแอนโทรนให้สารประกอบที่มีสีและปริมาณความเข้มของสีจะเป็นสัดส่วนปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลเฮกโซส ส่วนคาร์โบไฮเดรทที่อยู่ในรูปอื่น ๆ เช่น ไดแซคคาร์ไรด์ (Disaccharide) ในรูปของมัลโตส (Maltose) ทรีฮาโลส (Trehalose) และโพลีแซคคาร์ไรด์ เช่น ไกลโคเจน (Glycogen) แป้งและเซลลูโลส สามารถทำปฏิกริยากับแอนโทรนได้เช่นกันแต่ไม่สมบูรณ์เหมือนในกรณีของกลูโคล และแอนโทรน ไม่สามารถใช้วัดคาร์โบไฮเดรทในรูปของน้ำตาลทริโอส (Triose) ทีทราโอส (Tetraose) และน้ำตาลอะมิโน (Amibo Sugar) ดังนั้น จากข้อมูลในตารางที่ 5.5 การที่เปอร์เซนต์คาร์โบไฮเดรทที่วัดได้มีปริมาณน้อยกว่าที่ควรแสดงว่าในซังข้าวโพดอาจจะมีสารประกอบคาร์โบไฮเดรทที่อยู่ในรูปอื่นที่มิใช่น้ำตาลเฮกโซส ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีแอนโทรนไม่สามารถจะวิเคราะห์ได้หมด เช่นอาจจะเป็นเซลลูโลสอันเป็นโพลีแซคคาร์ไดร์ของคาร์โบไฮเดรทชนิดหนึ่ง[58]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบลักษณะของซังข้าวโพดก่อนและหลังการหมัก