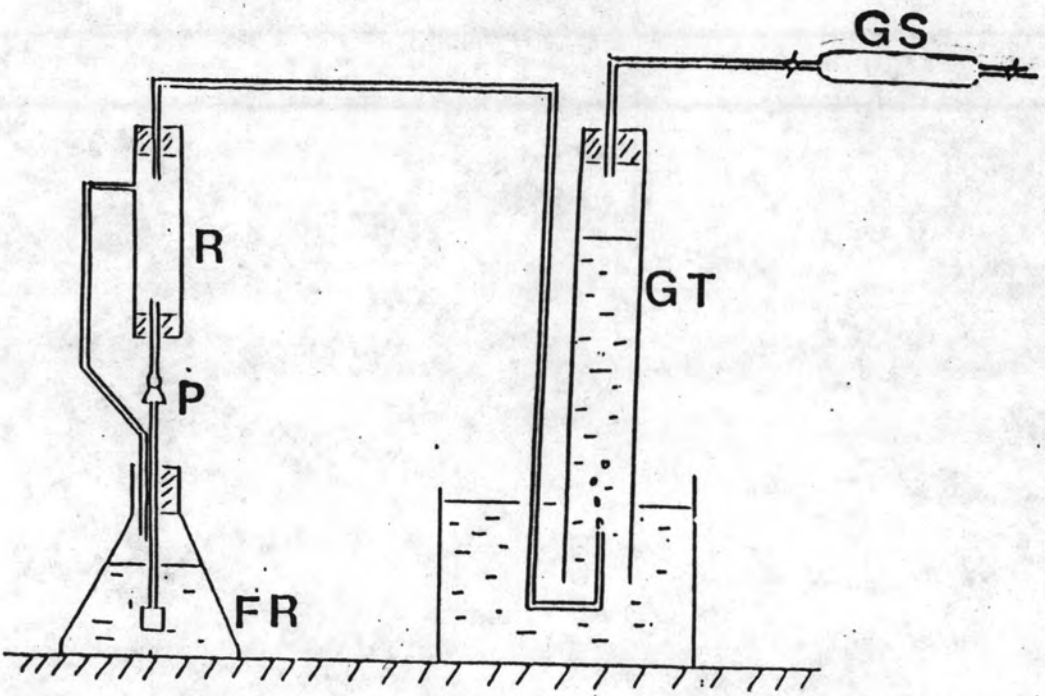
# บทที่ 3

## อุปกรณ์เครื่องมือ

### 3.1 การออกแบบและการทำงาน

#### 3.1.1 ถังหมัก (reactor)

ก. ขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (laboratory scale) มีปริมาตรทำงาน ( working volume ) 1 ลิตร ดังแสดงในรูป 3.1 เพื่อใช้ในการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์ ระบบหมักขนาดระดับห้องปฏิบัติการจะถูกเตรียมจำนวน 5 ชุด




รูปที่ 3.1 ระบบหมัก ขนาดห้องปฏิบัติการ ( R = ถังหมัก, FR = ขวดบรรจุสารอาหารป้อนเข้าสู่ถังหมัก, P = ปั๊ม, GT = ท่อเก็บก๊าซ, GS = gas sampler )

ข. แบบ ถังกวน (stirred tank) ถังหมักเป็นรูปทรงกระบอกทำด้วย PVC ใส ภายในติดใบพัดกวนทำด้วย stainless steel ดังรูปที่ 3.2 ระบบผลิตก๊าซโดยใช้ถังหมักแบบถังกวน ขนาด 5 ลิตร จะถูกเตรียมจำนวน 6 ชุด และขนาด 25 ลิตร จำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 3.3 ฝาด้านบนติดท่อเติมสารอาหาร และท่อนำก๊าซออก ด้านล่างของตัว ถังหมักติดท่อปล่อยออก โดยให้อยู่ด้านตรงข้ามกับท่อเติม

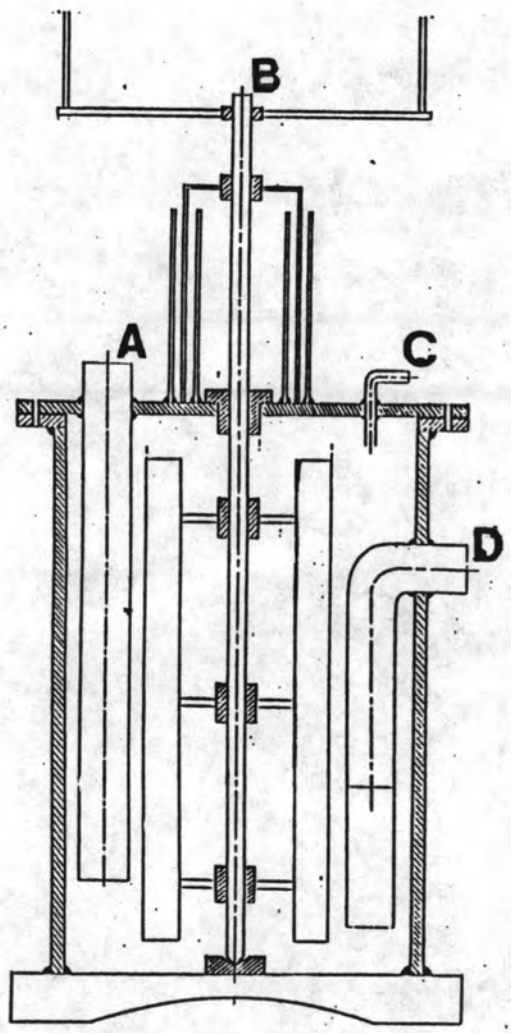
ค. แบบปลั๊กโฟล (plug flow) ระบบผลิตก๊าซโดยใช้ถังหมักแบบปลั๊กโฟลได้ออกแบบ และสร้างขึ้นตามรูปที่ 3.4 ตัวถังทำด้วยเหล็กหนาเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 124.5 ซม. ยาว 245 ซม. โดยวางอยู่ในแนวนอน ภายในถังติดใบพัดกวนแบบ blade ตลอดแนวยาว แสดงในรูปที่ 3.5 เครื่องกวนจะติดกับมอเตอร์ และเครื่องตั้งเวลา (timer) ซึ่งจะกำหนดให้กวนเป็นเวลา 20 นาทีทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง ปลาย 2 ข้าง ติดท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 ซม. จุด B จะเป็นช่องสำหรับเติมวัตถุดิบ และจุด C จะเป็นช่องทางน้ำล้นออกจากถังหมัก ก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกทางท่อ P ซึ่งอยู่ด้านบนของถังหมัก ผ่านกระบอกบรรจุสารดูดความชื้น (silica gel) เครื่องวัดปริมาณก๊าซที่ 1 กระบอกบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเครื่องวัดปริมาณก๊าซที่ 2 ต่อมาได้มีการปรับปรุงท่อ P ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้นเป็น 30 ซม. สูง 22 ซม. เพื่อป้องกันไม่ให้ของหมักฟูไปอุดตันท่ออากาศออก และได้เพิ่มความยาวของถังหมักออกไปทางปลายด้านล้นออก ด้านล่างติดวาวล์ขนาด 2 นิ้วเพื่อเป็นทางเปิดให้สลัดจ์ (sludge) ที่ตกตะกอนถูกกำจัดออก รูปที่ 3.6

3.1.2. การทำงานของระบบเก็บก๊าซ

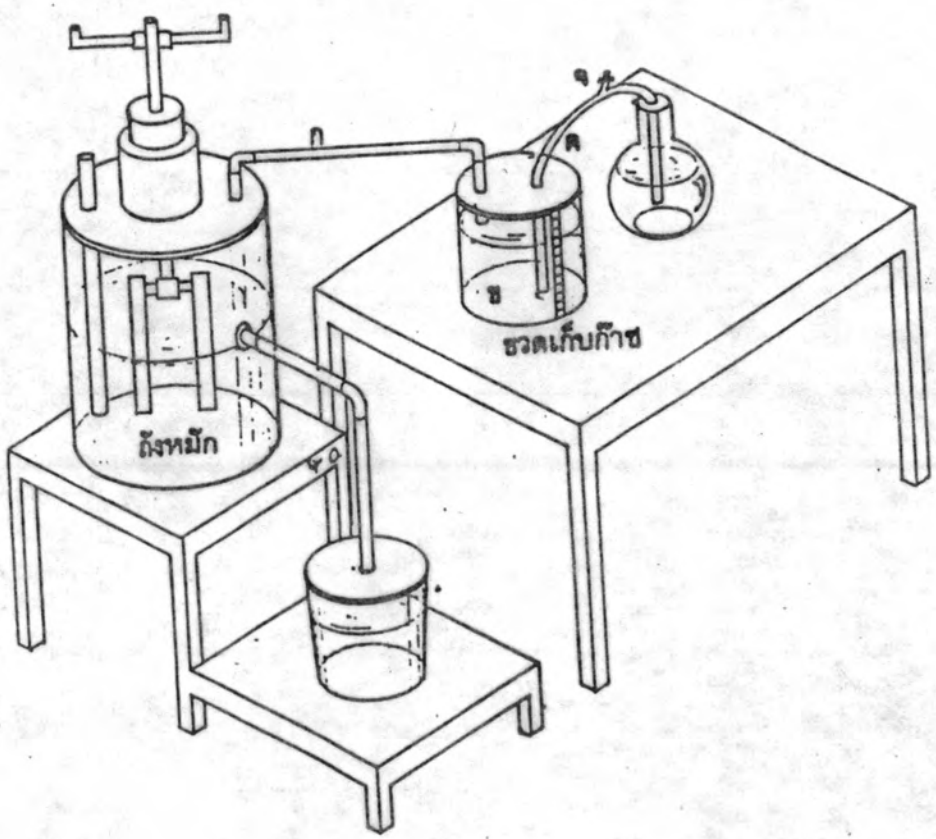
ถังหมักแบบถังกวน (stirred tank) รูปที่ 3.3 ก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกมาทางท่อ ก. และจะไปแทนที่น้ำที่อยู่ในขวด ข. ให้ไหลมาทางท่อ ค. เข้าไปอยู่ในขวด ง. ปริมาณน้ำในขวด ข. จะลดลง และเมื่อต้องการปล่อยก๊าซที่อยู่ในขวด ข. ออก ให้ปิดท่อ ก. และท่อ ฉ. แล้วเปิดท่อ จ. เมื่อก๊าซถูกปล่อยออกหมดแล้วปิดท่อ จ. เปิดท่อ ก. และ ข. น้ำจากขวด ง. ก็จะไหลผ่านท่อ ค. เข้าไปในขวด ข.

ถังหมักแบบปลั๊กโฟล รูปที่ 3.4 ก๊าซที่เกิดขึ้นจะออกมาทางท่อ P และไปแทนที่น้ำในถัง E ทำให้ระดับน้ำในถัง F ซึ่งมีท่อต่อเชื่อมกับถัง E สูงขึ้น จนเมื่อระดับน้ำ

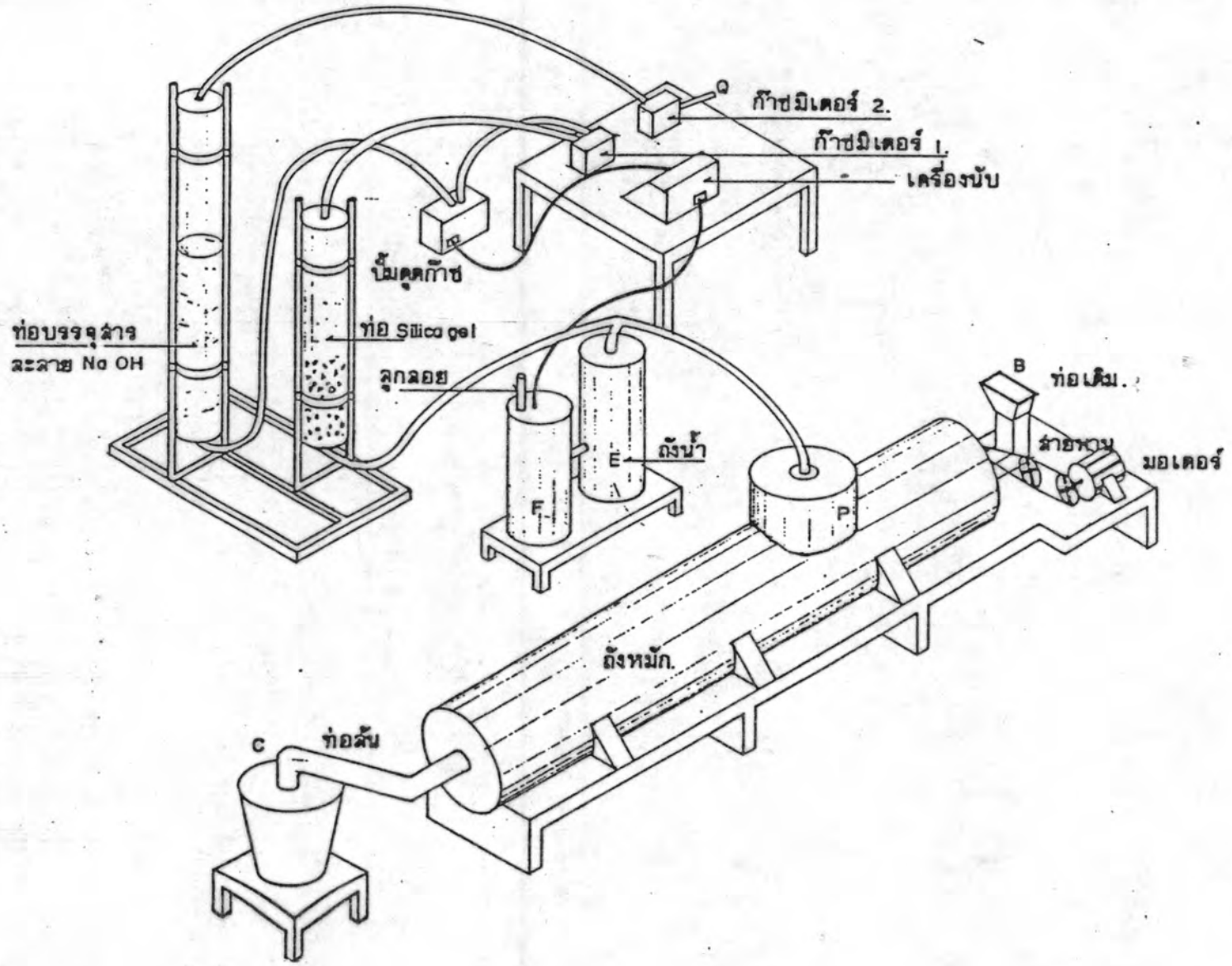
สูงขึ้นชนกับลูกลอยตัวบน ปั๊มดูดอากาศ (vacuum pump) จะทำงานโดยอัตโนมัติ ดูดก๊าซที่เกิดจากถัง E ผ่านกระบอกเก็บสารดูดความชื้น (silica gel) เพื่อดูดความชื้น และผ่านเข้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซ (totalizer) ที่ 1 เพื่อวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากนั้นก๊าซจะไหลผ่านกระบอกเก็บสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วผ่านเข้าเครื่องวัดปริมาณก๊าซที่ 2 เพื่อวัดปริมาณก๊าซมีเธนที่เกิดขึ้น ก๊าซที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยออกทางท่อ Q ระดับน้ำในถัง F จะลดลงจนถึงลูกลอยตัวล่าง ปั๊มดูดอากาศ (vacuum pump) จะหยุดทำงาน



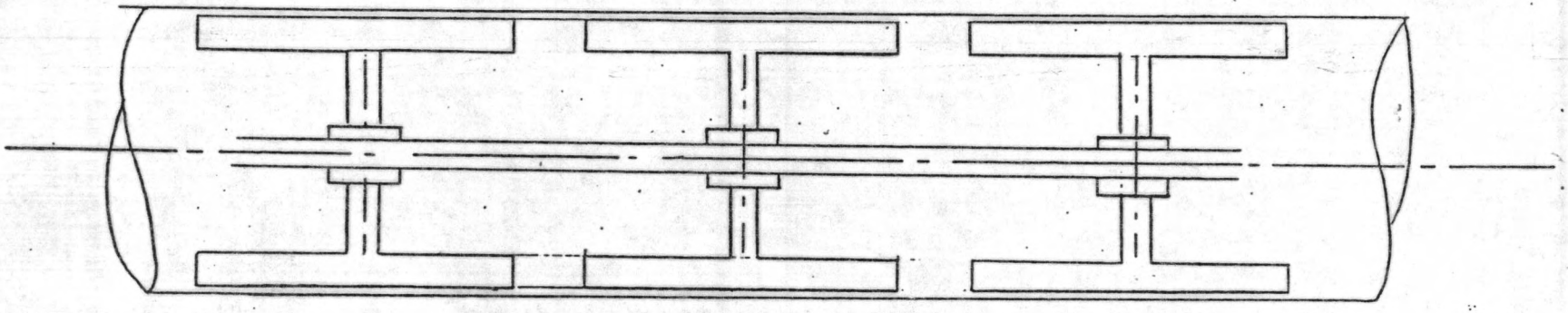

รูปที่ 3.2 ถังหมักแบบถังกวน (stirred tank) ( A = ท่อเติม, B = ใบพัดกวน, C = ท่อก๊าซออก, D = ท่อล้น)



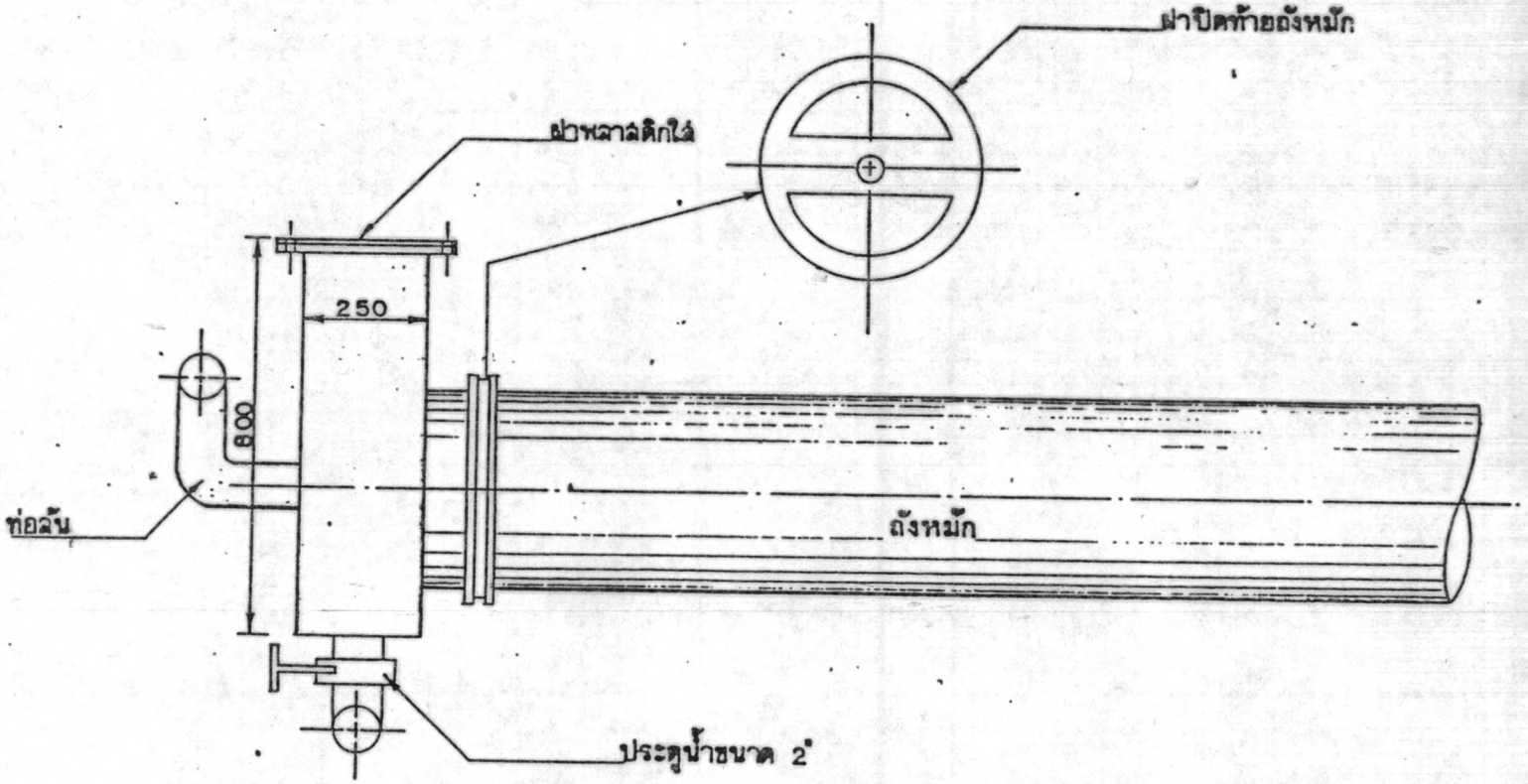

รูปที่ 3.3 ระบบผลิตก๊าซโดยใช้ถังหมักแบบถังกวน




รูปที่ 3.4 ระบบผลิตก๊าซโดยใช้ถังหมักแบบปลั๊กโฟล



รูปที่ 3.5 แสดงใบผัดกวนแบบ blade ในถังหมักแบบปลั๊กโฟล




รูปที่ 3.6 ถังหมักแบบปลั๊กโฟลหลังจากปรับปรุงท่อล้น และติดวาวล์

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ฝุ่นข้าว เกิดจากการสีข้าวเปลือก คุณสมบัติของฝุ่นข้าวที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้ ความชื้น (moisture content) ร้อยละ 4.81, ปริมาณของของแข็ง (total solid ) ร้อยละ 95.19, ปริมาณของของแข็งระเหย (total volatile solid) ร้อยละ 43.9, ปริมาณคาร์บอนร้อยละ 11.85 และปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.63

3.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง (seeding material)

เชื้อจุลินทรีย์ ใช้เชื้อที่ได้มาจากสลัดจ์ (sludge) ที่ถ่ายออกจากถังหมักแบบถังกวน (stirred tank) ของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน เป็นเชื้อที่เกิดจากการหมักมูลหมู เชื้อนี้จะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นของงานทดลองนี้

3.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ (synthetic media)

องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ (31) แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ค่า COD ของอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 5 กรัม/ลิตร และก่อนเติมลงในถังหมัก ต้องปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

3.5 วิธีการวิเคราะห์

3.5.1 การวัดค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)

ใช้เครื่องมือ pH meter (Beckman Model 30) วัดค่า pH ของสารอาหารที่ป้อนเข้าและออกจากถังหมัก

3.5.2 การหาปริมาณของของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหยทั้งหมด (total solid - TS และ total volatile solid - TVS) ตามวิธีของ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (32)

3.5.3 องค์ประกอบของก๊าซ (gas composition)

สำหรับปริมาณมีเธนที่มีอยู่ในองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพสามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph (SHIMADZU Model GC-9A) โดยใช้ไซริงก์ (syringe) ขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างก๊าซมาประมาณ 0.5-1 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatograph ซึ่งมี Detector เป็นแบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) ภายในคอลัมน์บรรจุสาร Poropak Q อุณหภูมิคอลัมน์ 60 ° ซ และใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นพาหะ (carrier gas )

ตารางที่ 3.1 แสดงองค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ

| องค์ประกอบ | | ปริมาณ |
|---|---|---|
| $CH_3COONa$ | g | 6.0 |
| $KH_2PO_4$ | g | 3.0 |
| $K_2HPO_4$ | g | 1.0 |
| $CaCl_2.2H_2O$ | g | 0.3 |
| $NH_4Cl$ | g | 1.0 |
| $Fecl_3$ | g | 0.1 |
| $MgCl_2.6H_2O$ | g | 0.1 |
| Sucrose | g | 0.1 |
| Tryptic soy | g | 0.2 |
| Yeast extract | g | 0.2 |
| Trace element solution | ml | 1.0 |

องค์ประกอบของ trace element solution (หน่วย มก./ล. ของน้ำประปา:

$NiSO_4.6H_2O$ 500 : $MnCl_2.4H_2O$ 500 : $FeSO_4.7H_2o$ 500 : $FnSO_4.7H_2$ 100 : $H_3BO_3$ 100 $Na_2MoO_4.2H_2O$ 50 : $CoCl_2.6H_2O$ 50 และ $CuSO_4.5H_2O$ 5