บทที่ 3

อุปกรณ์เครื่องมือและการทดลอง

3.1 เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้น

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงอยู่ในรูป 3.1ก และ 3.1ข มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกันคือ

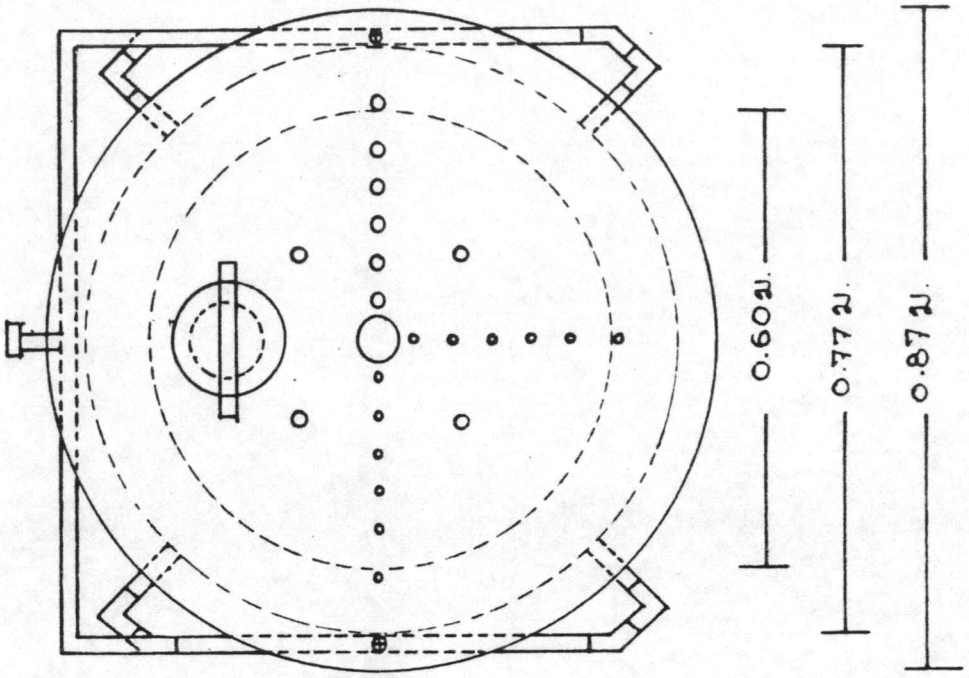
1. ตัวถังด้านนอก มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.77 เมตร สูง 0.80 เมตร ทำด้วยเหล็กปลอดสนิมที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ด้านล่างปิดทึบด้วยเหล็กปลอดสนิมชนิดเดียวกัน มีทางสำหรับให้น้ำไหลออก มีประตูน้ำเปิดปิดติดอยู่ด้วย ด้านข้างถังมีทางให้อากาศเข้า 4 ทาง ซึ่งต่อออกมารวมกันเป็นทางอากาศเข้าทางท่อขนาด 25.4 มิลลิเมตร ที่ขอบถังด้านบนเป็นแผ่นเหล็กยื่นออกไปกว้าง 50 มิลลิเมตร โดยรอบเพื่อใช้เป็นที่ยึดกับฝาถัง

2. ฝาถัง เป็นส่วนที่ปิดตัวถังด้านบน มีลักษณะเป็นแผ่นกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.87 เมตร ทำด้วยเหล็ก 2 ชั้น ที่เชื่อมติดกัน ด้านบนเป็นเหล็กเหนียวธรรมดา หนา 4.7 มิลลิเมตร ด้านล่างทำด้วยเหล็กปลอดสนิมหนา 1.5 มิลลิเมตร ยึดติดกับตัวถังด้วยที่ยึดรูปตัวซี (C-clamp) ซึ่งสามารถถอดออกได้ เมื่อเวลาต้องการเปิดฝาถัง บนฝาถังบริเวณตรงกลางได้เจาะเป็นทางให้สำหรับท่ออากาศออกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร นอกจากนี้ยังได้เจาะเป็นช่องไว้สำหรับใส่เครื่องวัดอุณหภูมิ 10 ช่องด้วยกัน โดยเป็นช่องในแนวรัศมี 6 ช่อง ห่างกันช่องละ 50 มิลลิเมตร ส่วนอีก 4 ช่อง อยู่ที่รัศมี 150 มิลลิเมตร 4 จุดรอบถัง และยังมีรูสำหรับใส่ท่อเพื่อดึงเอาตัวอย่างกาซออกไปวิเคราะห์อีก 6 จุดด้วยกันในแนวรัศมี ส่วนบริเวณริมด้านหนึ่งได้เจาะช่องกลมไว้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.15 เมตร มีฝาปิดเอาไว้สำหรับเป็นช่องทางเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์

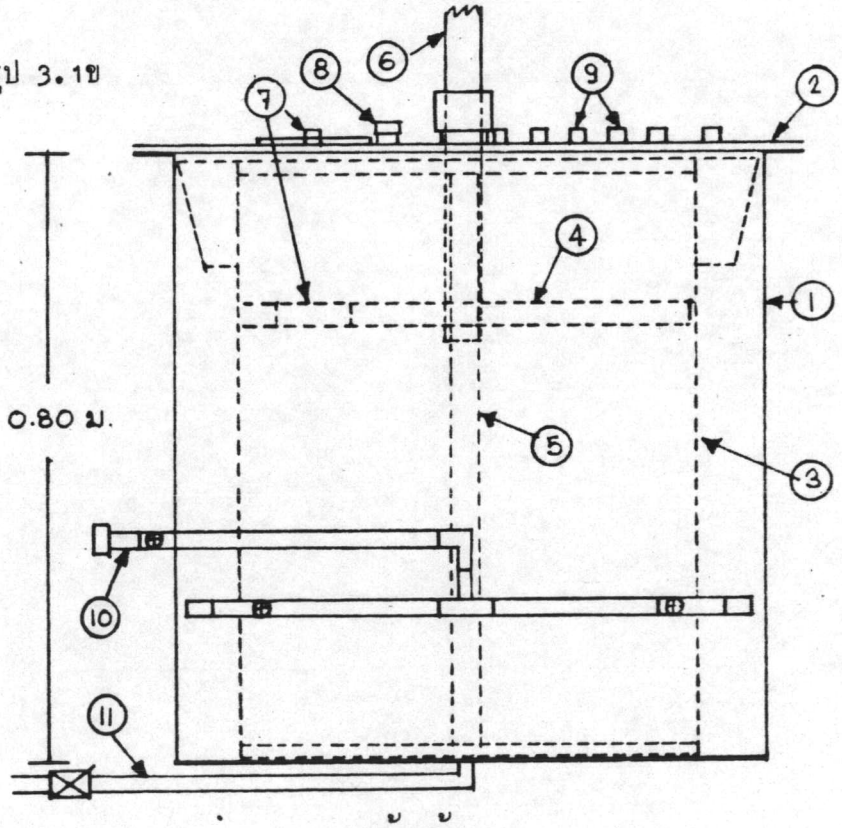
3. ตระแกรงชั้นใน วางอยู่ในตัวถังชั้นนอก เป็นที่สำหรับใส่ฟางที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร สูง 0.79 เมตร ทำโครงด้วยเหล็กปลอดสนิม ด้านข้างติดตระแกรงลวดเหล็กปลอดสนิม ขนาด 8 ช่องต่อนิ้ว โดยรอบ ด้านล่างปิดทึบ

รูป 3.1 ก

รูปด้านบน



รูป 3.1ข



รูปด้านข้าง

รูป 3.1ก แสดงภาพเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นด้านบน

รูป 3.1ข แสดงภาพเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบตรึงชั้นด้านข้าง

คำอธิบายภาพ (รูป 3.1ข)

1. ตัวถังชั้นนอกทำด้วยเหล็กปลอดสนิมหนา 1.5 มิลลิเมตร
2. ฝาถังทำด้วยเหล็กเหนียวหนา 4.7 มิลลิเมตร
3. ถังตระแกรงทำด้วยเหล็กปลอดสนิมขนาด 8 ช่องต่อนิ้ว
4. ที่กดทับชั้นฟางทำด้วยเหล็กปลอดสนิมหนา 1.5 มิลลิเมตร
5. ท่อเหล็กปลอดสนิมเจาะรูพรุนขนาด ϕ 50 มิลลิเมตร
6. ท่อเหล็กปลอดสนิม (ϕ 55 มิลลิเมตร) สำหรับนำอากาศออก
7. ช่องทางสำหรับเก็บตัวอย่างมีฝาปิด
8. ช่องสำหรับใส่เครื่องวัดอุณหภูมิ
9. ช่องสำหรับใส่ท่อวัดความดัน และดึงตัวอย่างกาซ
10. ท่อขนาด 2.5 เซนติเมตร เป็นทางสำหรับให้อากาศเข้า
11. ทางสำหรับให้น้ำไหลออกทำด้วยท่อขนาด 2.5 เซนติเมตร มีประตูน้ำติดอยู่ด้วย

ด้วยเหล็กปลอดสนิม ตรงกลางเชื่อมต่อกับท่อที่เจาะเป็นรูพรุนขนาดของท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นทางให้อากาศผ่านออกด้านบน

4. ส่วนที่กดทับชั้นฟาง เป็นส่วนที่อยู่ภายในตระแกรง ทำหน้าที่ปิดทับชั้นของฟาง เพื่อให้อากาศผ่านชั้นของฟางในแนวรัศมี มีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.59 เมตร ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม ตรงกลางเชื่อต่อด้วยท่อขนาด 55 มิลลิเมตร ยาว 0.80 เมตร ซึ่งจะเป็นทางนำอากาศที่ผ่านชั้นฟางออกสู่ภายนอก ส่วนนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามความสูงของชั้นฟาง โดยส่วนที่เป็นท่อจะทะลุฝาด้านบนขึ้นไป ซึ่งบนฝาถังจะมีที่รัดท่อเพื่อป้องกันมิให้อากาศจากถังที่มิได้ผ่านชั้นฟางออกไป

3.2 การควบคุมต่าง ๆ

3.2.1 ห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นห้องที่สำหรับตั้งเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ เพื่อการทดลองที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิปกติ มีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยม มีความกว้าง 2.50 เมตร ยาว 2.00 เมตร สูง 2.00 เมตร มีประตูเปิดปิดด้านเดียว ภายในบุด้วยไมโครไฟเบอร์หนา 50 มิลลิเมตร โดยรอบห้อง ให้ความร้อนภายในด้วยขดลวดไฟฟ้า ขนาด 500 วัตต์ ถึง 3500 วัตต์ มีพัดลมเป่าเพื่อกระจายความร้อนให้ทั่วถึงอยู่หนึ่งตัว และควบคุมอุณหภูมิภายในห้องด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (**thermostat**) ซึ่งทำหน้าที่เปิดปิดวงจรขดลวดไฟฟ้าที่เป็นตัวให้ความร้อน

3.2.2 การควบคุมปริมาณอากาศที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ ในการให้อากาศเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์นั้นได้ใช้เครื่องอัดอากาศ (**air-compressor**) ซึ่งทำหน้าที่อัดอากาศให้ผ่านมาตามท่อ ซึ่งจะต่อเข้ากับโรตามิเตอร์ (**rotameter**) ซึ่งทำหน้าที่วัดและควบคุมปริมาณการไหลของอากาศที่จะผ่านเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์

3.3 การวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ

3.3.1 การวัดและบันทึกอุณหภูมิ การวัดอุณหภูมิวัด 12 จุดด้วยกันคือ

จุดที่ 1 วัดอุณหภูมิห้อง

จุดที่ 2 วัดอุณหภูมิในห้องควบคุมอุณหภูมิ

จุดที่ 3 วัดอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ แต่นอกชั้นของฟาง

จุดที่ 4 วัดอุณหภูมิแนวรัศมีในชั้นของฟางที่รัศมี 0.25 เมตร

จุดที่ 5 วัดอุณหภูมิแนวรัศมีในชั้นของฟางที่รัศมี 0.20 เมตร

จุดที่ 6 วัดอุณหภูมิแนวรัศมีในชั้นของฟางที่รัศมี 0.15 เมตร

จุดที่ 7 วัดอุณหภูมิแนวรัศมีในชั้นของฟางที่รัศมี 0.10 เมตร

จุดที่ 8 วัดอุณหภูมิแนวรัศมีในชั้นของฟางที่รัศมี 0.05 เมตร

จุดที่ 9-12 วัดอุณหภูมิในชั้นของฟาง โดยรอบอีก 4 จุดที่รัศมี 0.15 เมตร

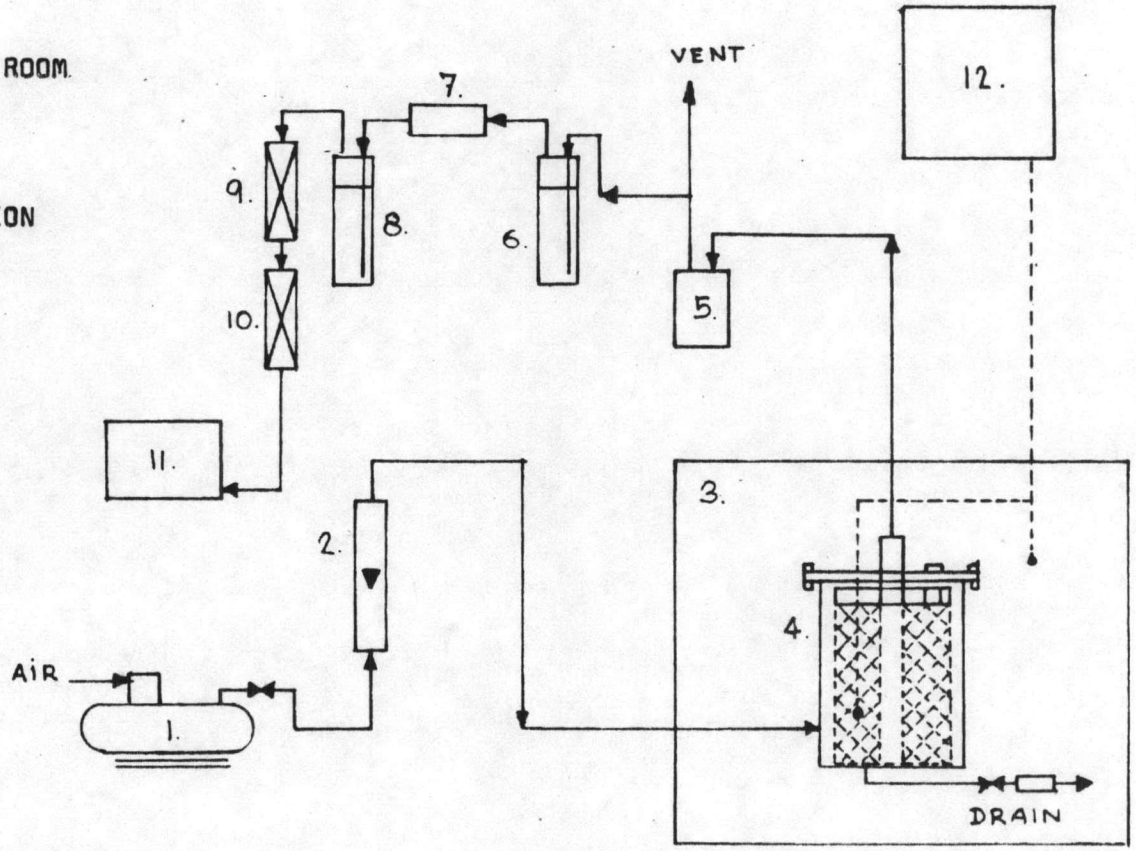
สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดและบันทึกอุณหภูมิคือ เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิแบบ 12 จุด รุ่น **Clearspan P250L (Kent Industrial Measurements Limited)** ส่วนเครื่องวัดอุณหภูมิ คือ เทอร์โมคอปเปิล ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิในช่วง 0-100 องศาเซลเซียส

3.3.2 การวัดปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์

เครื่องวัดปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นคือ เครื่องวิเคราะห์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยอินฟาเรด **(carbon di oxide infrared analyzer)** ซึ่งกาซตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์นั้นจะต้องผ่านสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต **(Potassium di chromate)** ในกรดกำมะถันเข้มข้น เพื่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายเสียก่อน จากนั้นก็จะผ่านสำลีแล้วผ่านลงในกรดกำมะถันเข้มข้น เพื่อดูดเอาความชื้นออกตอนหนึ่งก่อนจึงผ่านเข้าสู่ซิลิกาเจล **(silicagel)** เพื่อดูดน้ำส่วนที่เหลืออยู่ออกให้หมด และตอนสุดท้ายก่อนเข้าเครื่องก็ผ่านชั้นของถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่อาจเหลืออยู่จากการผ่านสารละลายต่าง ๆ แล้วจึงผ่านเข้าเครื่องวิเคราะห์ ลำดับขั้นตอนการต่อดูได้จากรูปที่ 3.2

กาซตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นั้นนำมาจากกาซที่ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ โดยการต่อท่อจากทางออกของกาซ ซึ่งเครื่องวิเคราะห์จะมีปั๊มทำหน้าที่ดูดกาซนั้นผ่านเข้าสู่สารละลายต่าง ๆ ข้างต้นก่อนเข้าเครื่องวิเคราะห์ปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่จะแสดงออกมาเป็นร้อยละของกาซทางหน้าปัทม์ของเครื่อง นอกจากนี้กาซตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อาจเอามาจากภายในชั้นของฟางก็ได้ โดยต่อกับท่อที่อยู่ในชั้นของฟาง แล้วดูดกาซนั้นออกไปวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกัน

1. AIR COMPRESSOR
2. ROTAMETER
3. CONTROLLED TEMPERATURE ROOM
4. BIOREACTOR
5. WATER TRAP
6. $K_2Cr_2O_7$ IN H_2SO_4 SOLUTION
7. COTTON
8. CONC. H_2SO_4
9. SILICAGEL
10. ACTIVE CHARCOAL
11. CO_2 ANALYZER
12. 12-POINT TEMPERATURE RECORDER



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 รูปแสดงแผนผังการทำงานของเครื่องมือและการวิเคราะห์

3.3.3 การวัดเปอร์เซนต์ความชื้นของฟาง

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของฟางภายในเครื่องปฏิกรณ์ จะนำตัวอย่างของฟางออกมาส่วนหนึ่ง แล้วชั่งหาน้ำหนักเปียก นำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง นำมาแทนค่าในสูตรหาความชื้น

$$\text{เปอร์เซนต์ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียกตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}) \times 100}{\text{น้ำหนักเปียกตัวอย่าง}}$$

3.3.4 การหาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N ratio)

ในการทดลองหาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนนั้น จะแยกออกเป็นการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน จากนั้นจึงนำเปอร์เซนต์ที่ได้มาหารกันก็จะได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

-การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอน

นำตัวอย่างที่อบให้แห้งแล้วมาบดให้ละเอียด คลุกเคล้าให้สม่ำเสมอ ชั่งตัวอย่างมา 0.05 กรัม ใส่ในขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่สารละลายมาตรฐานโปตัสเซี่ยมไดโครเมต 1 นอร์มอล จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้นจำนวน 8 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งค้างคืน เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าแล้วปล่อยไว้ให้เย็น ใส่สารละลายกรดฟอสฟอริค 85% (ปริมาตรโดยปริมาตร) จำนวน 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลาย orthophenanthrorin ferrous complex จำนวน 2 มิลลิลิตร นำไปไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน เฟอรัสซัลเฟต 0.5 นอร์มอล จนกระทั่งถึงจุดเอนพอยต์ (end point) สารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง นำจำนวนปริมาตรของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง และ blank แทนค่าในสูตร

$$\text{ร้อยละของปริมาณคาร์บอน} = \frac{(B-S) \times N \times 0.39}{W}$$

B = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับ blank

S = จำนวนมิลลิลิตของสารละลายเฟอรัสซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของสารละลายเฟอรัสซัลเฟต มีหน่วยเป็นนอร์มอล

W = น.น.แห้งของตัวอย่าง

-การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างที่ได้อบให้แห้งแล้ว 0.5-1.0 กรัม ใส่ลงใน kjeldahl flask เติมโปตัสเซียมซัลเฟต และ คอปเปอร์ซัลเฟต อย่างละ 1 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดซัลฟูริคเข้มข้น 25 มิลลิลิตรลงไป นำไปตั้งบนเตาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ ๆ ก่อนแล้วค่อย ๆ สูงขึ้น จนกระทั่งได้สารละลายใส ทิ้งไว้อีก 10 นาที จึงยกลงตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำลงไปเจือจางให้ได้สารละลายมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งสารละลายมา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดก้นกลม (ขวดหมายเลข 5) ในชุดกลั่นด้วยไอน้ำ (รูปที่ 3.3) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% จำนวน 10 มิลลิลิตร ลงไป แล้วทำการกลั่นด้วยไอน้ำ เก็บกาซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นโดยผ่านลงในสารละลายกรดบอริค 4% (อยู่ในขวดหมายเลข 10) ที่มีอินดิเคเตอร์ผสม bromocresol green-methyl red อยู่ด้วย ใช้สารละลายกรดบอริค 20 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่กลั่นได้จนมีปริมาตร 100-150 มิลลิลิตร นำสารละลายนี้ไปไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งถึงจุดเอนพอยน์ (end point) สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง นำค่าต่าง ๆ ไปคำนวณในสูตร

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(S - B) \times N \times 14}{W}$$

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

S = จำนวนมิลลิลิตรของกรดเกลือที่ใช้กับตัวอย่าง

B = จำนวนมิลลิลิตรของกรดเกลือที่ใช้กับ BLANK

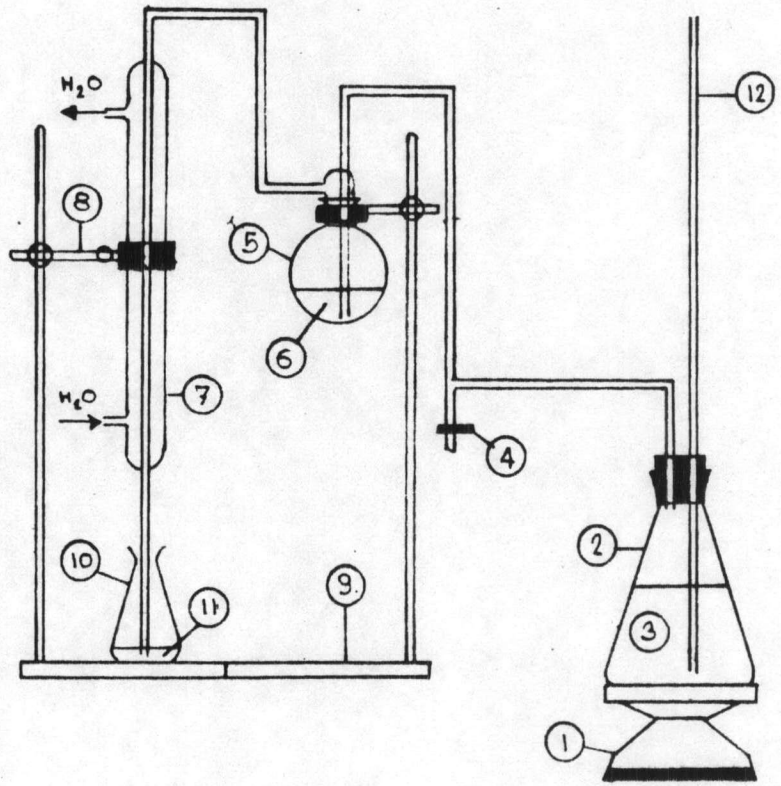
N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือที่มีหน่วยเป็นนอร์มอล

-การหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C : N ratio)

คำนวณจากสูตร :-

$$\text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน} = \frac{\text{ร้อยละของปริมาณคาร์บอน}}{\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน}}$$

1. HEATER
2. FLASK 2000 ml.
3. H_2O (WATER)
4. CLAMP
5. ROUND BOTTOM FLASK 250 ml.
6. SAMPLE SOLUTION
7. CONDENSER
8. CLAMP
9. STAND
10. CONICAL FLASK 250 ml.
11. BORIC ACID SOLUTION
12. SAFETY GLASS TUBE



รูปที่ 3.3 รูปเครื่องกลั่นกาซแอมโมเนียด้วยไอน้ำในการวิเคราะห์ไนโตรเจน

3.4 เชื้อจุลินทรีย์สำหรับการย่อยสลายฟางข้าว

การย่อยสลายฟางข้าวภายในเครื่องปฏิกรณ์นี้ได้มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงไปเพื่อเป็นตัวการทำให้เกิดการย่อยสลาย เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้นี้ได้มาจากผลิตภัณฑ์ **Agro Max** ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. **Agro Max Cellostat**
2. **Agro Max** ชนิดเข้มข้น

3.5 วิธีการทดลอง

นำฟางที่จะใช้ในการทดลองมาสับให้เป็นท่อนสั้น ๆ น้ำหนักฟางที่ใช้ประมาณ 10 กิโลกรัม เอาไปแช่น้ำนาน 1 ชั่วโมง แล้วจึงเอาขึ้น จะได้ฟางมีความชื้นประมาณ 80% นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนที่ต้องการ

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองคือ เชื้อจุลิจทรีย์ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ **Agro Max Cellostat** การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้นั้นทำโดยนำ **Agro Max Cellostat** ไปละลายน้ำโดยใช้อัตราส่วน **Agro Max Cellostat** 1 กรัม ต่อน้ำ 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติม **Agro Max** ชนิดเข้มข้นลงไป 1 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 30 นาที ก็พร้อมที่จะนำไปผสมกับฟางได้

อัตราส่วนที่ใช้ในการผสมนั้นได้ใช้อัตราส่วนดังนี้

ฟางข้าวที่แช่น้ำแล้ว (80% น้ำ)	1000	ส่วน โดยน้ำหนัก
Agro Max Cellostat	0.1	ส่วน "
Agro Max ชนิดเข้มข้น	0.1	ส่วน "
ปุ๋ยแคลเซียม แอมโมเนียมไนเตรท	2.0	ส่วน "

เมื่อเตรียมฟางและเชื้อจุลินทรีย์ตามอัตราส่วนดังกล่าวเรียบร้อยแล้ว ก็ผสมคลุกเคล้าให้สม่ำเสมอทั่วกัน นำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์ในชั้นที่เป็นตระแกรง แล้วปิดทับด้วยส่วนที่ปิดทับชั้นฟาง จากนั้นปิดฝาเครื่องปฏิกรณ์ ติดตั้งเทอร์โมคอปเปิล (**thermocouple**) สำหรับวัดอุณหภูมิจนครบทุกจุด ต่อท่อจากทางออกของอากาศเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์กาซคาร์บอนไดออกไซด์ เปิดเครื่องอัดอากาศให้

ทำงาน เปิดอากาศเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ โดยควบคุมปริมาณการไหลของอากาศตามที่ต้องการด้วย โรตามิเตอร์ (rotameter) เปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิห้องที่มีเครื่องปฏิกรณ์อยู่ เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิ และเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ

3.5.1 การวัดและบันทึกข้อมูลในการทดลองนี้มี 5 อย่างด้วยกันคือ

1. การวัดและบันทึกอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ทำอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง

2. การวัดและบันทึกปริมาณกาซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมา ทำการวัดทุก ๆ 24 ชั่วโมง

3. การวัดและบันทึกอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟาง จะนำตัวอย่างฟางออกมาทำการวิเคราะห์ทุก ๆ 72 ชั่วโมง

4. การวัดและบันทึกความชื้นของฟางในเครื่องปฏิกรณ์ จะนำตัวอย่างฟางออกมาหาความชื้นทุก ๆ 72 ชั่วโมง

5. การวัดและบันทึกความหนาแน่นของฟาง ทำตอนเริ่มต้นการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

3.5.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองจะมี 2 ขั้นตอนคือ

1. การทดลองการย่อยสลายฟางด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ Agro Max ในอัตราส่วนเดียวกัน แต่มีการให้ปริมาณการไหลของอากาศแตกต่างกันไป

2. ทดลองเปรียบเทียบการย่อยสลายฟางข้าวด้วยเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ Agro Max กับ การย่อยสลายฟางโดยมิได้มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ใด ๆ ลงไป แต่อาศัยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติแล้ว โดยมีการให้ปริมาณการไหลของอากาศเท่ากัน

ในกรณีการย่อยสลายฟางข้าวโดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาตินั้น วิธีการทดลองเหมือนเดิมหมดทุกอย่าง เพียงแต่เปลี่ยนส่วนผสมในขั้นตอนการเตรียมเชื้อคือ ใช้รำข้าวหยาบแทน Agro Max - Cellostat ส่วน Agro Max ชนิดเข้มข้นก็ไม่ต้องใช้ ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่ใช้จะเป็นดังนี้

I15983933

ฟางข้าวที่แช่น้ำแล้ว (80% น้ำ)	1000	ส่วน โดยน้ำหนัก
รำข้าวหยาบ	0.1	ส่วน "
ปุ๋ยแคลเซียมแอมโมเนียมไนเตรท	2.0	ส่วน "

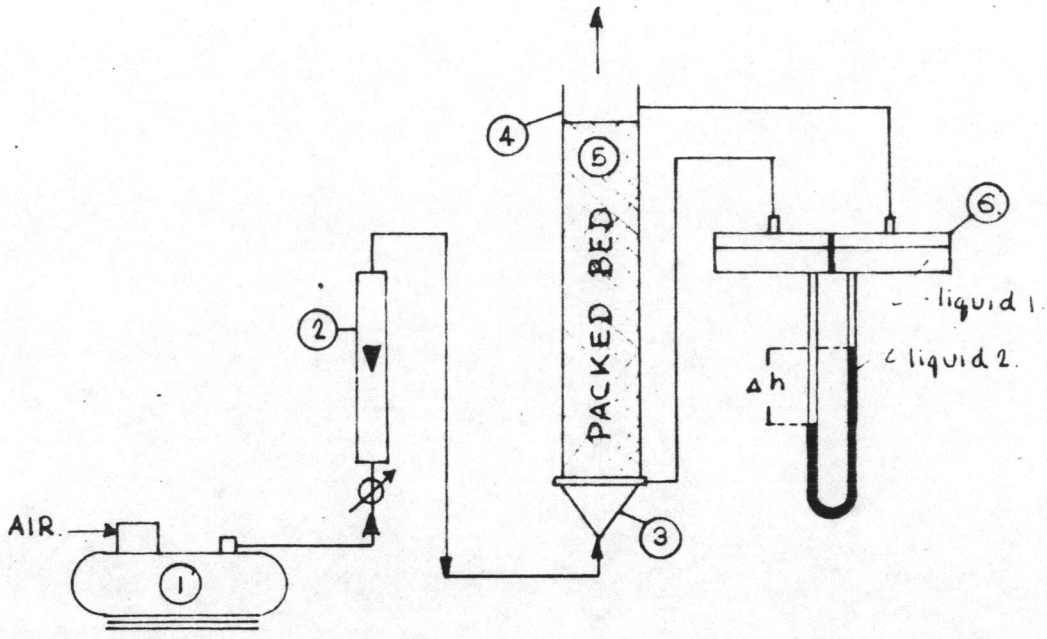
ส่วนปริมาณการไหลของอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นปริมาณการไหลของอากาศที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1

3.6 การทดลองหาค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability) ของชั้นฟางข้าว

ในการทดลองนี้ ได้ทำการทดลองหาค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ permeability ของชั้นฟางข้าวที่มีความหนาแน่นต่าง ๆ กันเพื่อหาความสัมพันธ์ นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองหาค่าความสามารถในการซึมผ่านของชั้นฟางข้าวที่มีความชื้นต่าง ๆ กันด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นตามรูปที่ 3.4 ประกอบด้วยคอลัมน์พลาสติคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร และยาว 660 มิลลิเมตร ด้านล่างปิดด้วยตระแกรงเพื่อเป็นที่รองรับฟางข้าว และด้านใต้ตระแกรงจะเป็นที่กระจายอากาศ ซึ่งเป็นทางให้อากาศเข้า ด้านข้างของคอลัมน์มีท่อเล็ก ๆ สำหรับใช้วัดความดันอยู่ 2 แห่งคือ ด้านล่างของคอลัมน์ และด้านบนของคอลัมน์ ใช้เป็นที่วัดความดันตก (pressure drop) ที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นของฟางที่อยู่ภายในคอลัมน์ เครื่องมือที่ใช้วัดความดันตก (pressure drop) คือ Two Liquid Manometer สำหรับการให้อากาศนั้นใช้เครื่องอัดอากาศ (air compressure) ผ่านเข้าไปในคอลัมน์ ปริมาณการไหลของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์จะถูกควบคุมโดยใช้ โรตามิเตอร์ (rotameter)

วิธีการทดลอง นำฟางข้าวที่ทราบน้ำหนัก และความชื้นที่แน่นอนมาใส่ในคอลัมน์ที่ติดตั้งไว้แล้ววัดความสูงของชั้นฟางที่อยู่ภายในคอลัมน์ จากนั้นเปิดให้อากาศผ่านชั้นของฟาง จะเกิดความดันตก (pressure drop) ขึ้นระหว่างชั้นของฟาง ซึ่งอ่านค่าได้จาก Two Liquid Manometer เป็นความสูงของของเหลวที่ใช้ ค่าความดันตกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการไหลของอากาศผ่านชั้นของฟาง ดังนั้นจึงสามารถบันทึกค่าความดันตกเมื่อปริมาณการไหลของอากาศต่าง ๆ กันได้ จากข้อมูลนี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability) จาก



1. เครื่องอัดอากาศ (AIR COMPRESSOR)
2. โรตามิเตอร์ (ROTAMETER)
3. ที่กระจายอากาศ
4. คอลัมน์พลาสติค
5. ชั้นฟาง
6. TWO LIQUID MANOMETER

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 แผนผังเครื่องมือหาค่าความสามารถในการซึมได้ (PERMEABILITY)

สมการ

$$Q = \frac{\pi r^2 k}{\mu L(1+m)} \left(\frac{P_1^{(1+m)}}{P_2^{m}} - P_2 \right)$$

โดยที่ Q = ปริมาณการไหล (volume flow rate) ของอากาศ

P_1 = ความดันของกาซที่เข้า

P_2 = ความดันของกาซที่ออก

k = ความสามารถในการซึมผ่านได้ (permeability)

r = รัศมีของคอลัมน์

L = ความหนาของชั้นของฟาง

μ = ความหนืด (vicosity) ของอากาศ

m = อัตราส่วนของความจุความร้อนของอากาศเมื่อปริมาตรคงที่ (C_v) ต่อค่าความจุความร้อนของอากาศเมื่อความดันคงที่ (C_p)

เมื่อทำการทดลองในทำนองเดียวกันนี้หลาย ๆ ครั้ง โดยการเปลี่ยนความหนาแน่นของชั้นฟาง โดยการกดชั้นฟางให้แน่นมากขึ้น หรืออาจเพิ่มให้น้ำหนักมากขึ้นอีกก็ได้ แล้วกดชั้นฟางให้มีปริมาตรเท่าเดิม ซึ่งจากการทดลองนี้จะทำให้หาค่าความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของชั้นฟางกับค่าความสามารถในการซึมผ่านของชั้นฟางได้ นอกจากนี้แล้วยังได้ทดลองสิ่งที่มีผลต่อการซึมผ่านได้ของชั้นฟาง คือความชื้นของฟาง โดยการให้น้ำแก่ฟางปริมาณต่าง ๆ กัน แล้วนำไปอบเพื่อหาเปอร์เซนต์ความชื้นที่แน่นอนอีกครั้งหนึ่ง