หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีการขยายขนาด อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วิธีการขยายขนาด

การขยายขนาดของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบหลายชั้นในการผลิตน้ำส้มสายชูในที่นี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วน คือ

1. พิจารณาในการขยายขนาดของปริมาณการหมัก
2. พิจารณาในการขยายขนาดของเครื่องหมัก

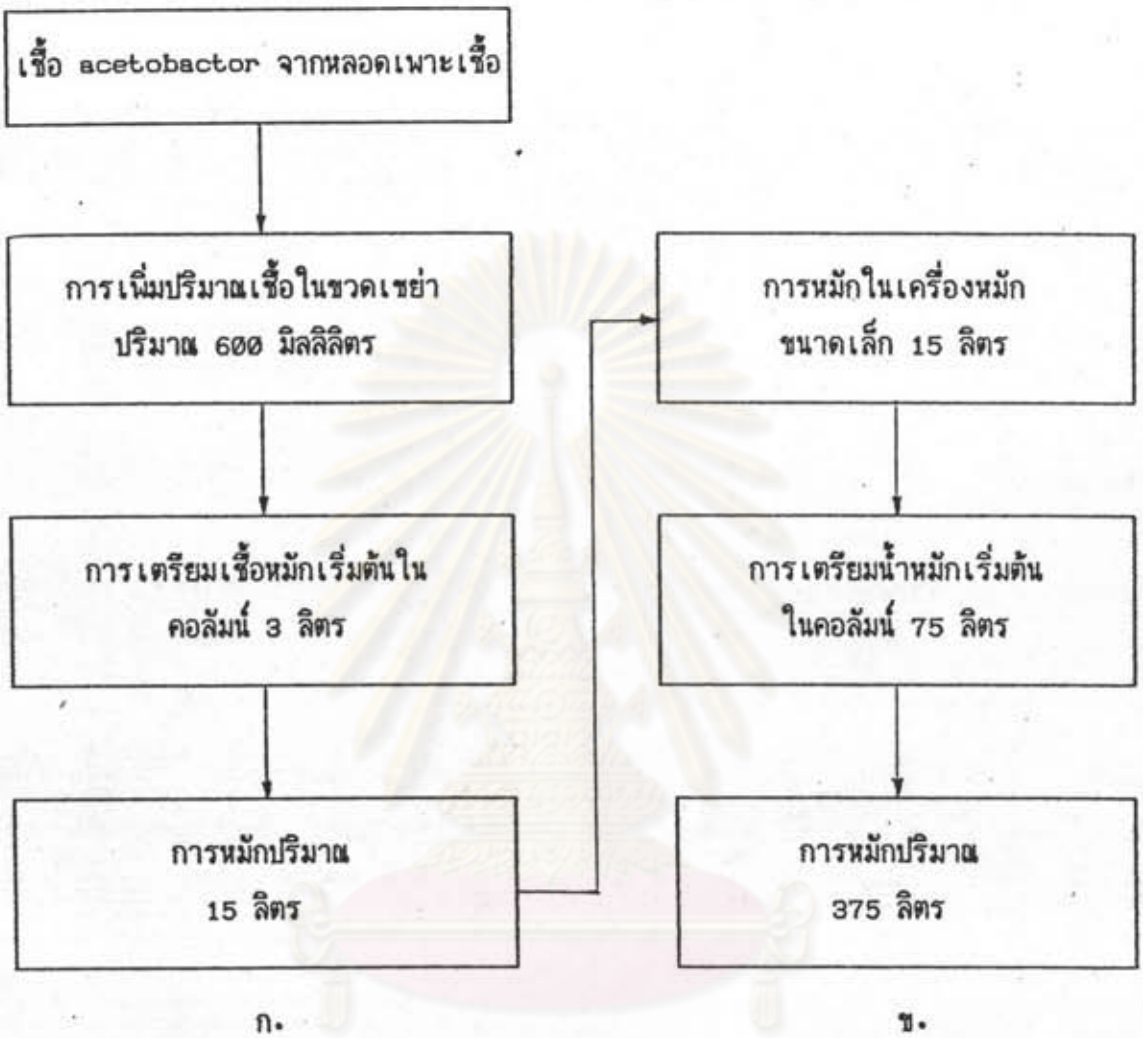
3.1.1 การพิจารณาในการขยายขนาดของปริมาณการหมัก

ในการหมักน้ำส้มสายชูหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ต้องใช้เชื้อจุลินทรีย์นั้น ในตอนเริ่มแรกจะต้องมีการเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้น (starter) ขึ้นก่อน เพื่อให้มีเชื้อปริมาณมากพอและเป็นเชื้อบริสุทธิ์ ในการหมักผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จะใช้เชื้อหมักเริ่มต้นปริมาณต่างกัน สำหรับในกรณีของการหมักน้ำส้มสายชูปกติจะใช้เชื้อหมักเริ่มต้นประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตรของการหมักทั้งหมด เมื่อได้เชื้อหมักเริ่มต้นแล้วจึงนำไปรวมกับน้ำหมักอีกร้อยละ 80 โดยปริมาตรของการหมักทั้งหมดแล้วจึงทำการหมัก จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าก็คือการขยายขนาดของปริมาณการหมักนั่นเอง การขยายขนาดของปริมาณการหมักในที่นี้ก็จะยึดหลักนี้เป็นเกณฑ์ ในการหมักโดยเครื่องหมักขนาดเล็กมีขั้นตอนในการทำน้ำหมักเริ่มต้นและการดำเนินการหมักตามแผนผังดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก.

และเมื่อทำการขยายขนาดจะได้ขั้นตอนในการเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้น และการดำเนินการหมักในเครื่องหมักขนาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ข. ซึ่งจะได้ปริมาตรในการหมักของเครื่องหมักขนาดใหญ่เท่ากับ 375 ลิตร

3.1.2 การพิจารณาในการขยายขนาดของเครื่องหมัก

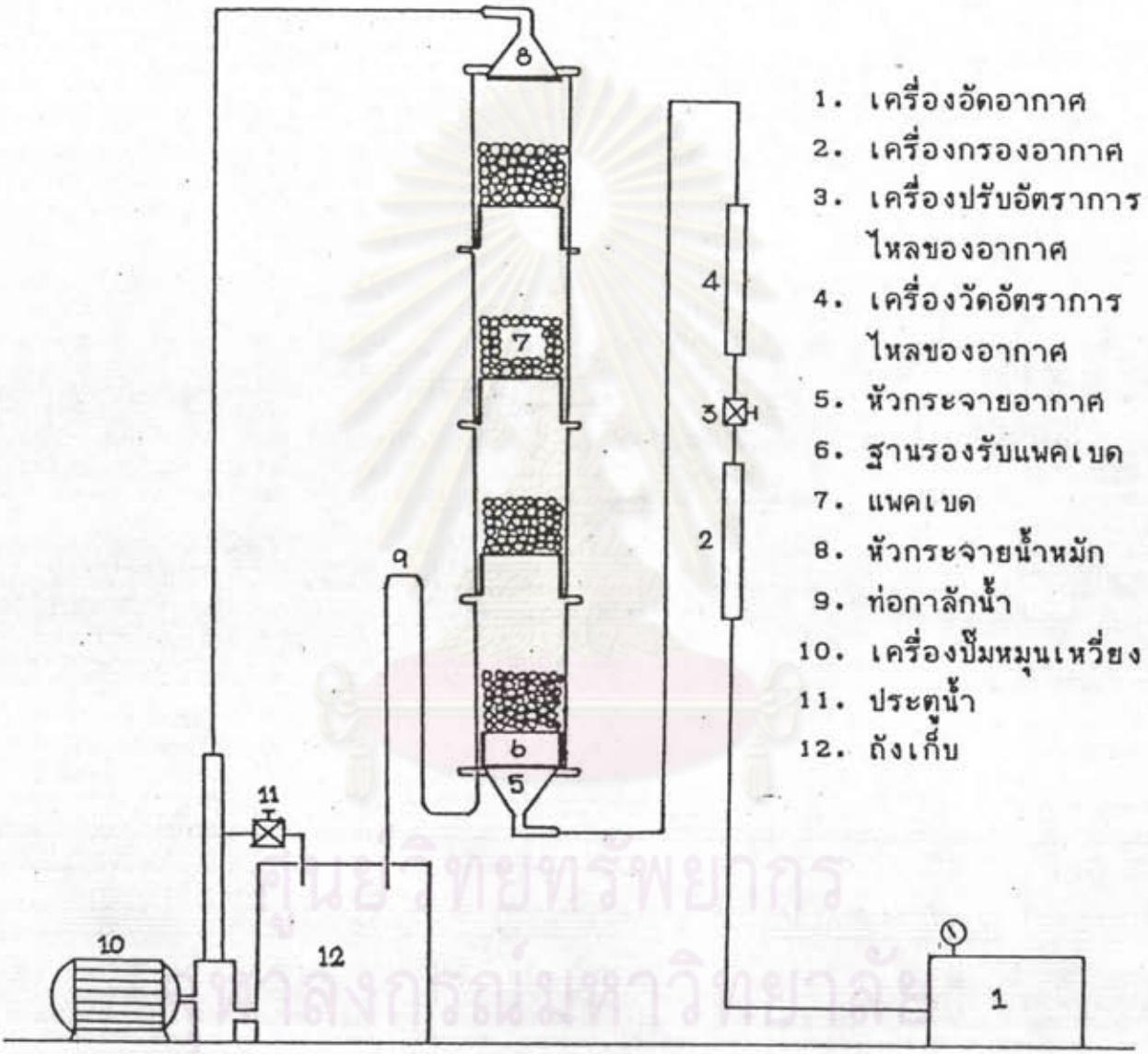
เครื่องหมักที่จะทำการขยายขนาดในที่นี้เป็นเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (1) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์เท่ากับ 7.2 เซนติเมตร มีสี่ชั้น แต่ละชั้นสูง 25 เซนติเมตร รวม 100 เซนติเมตร และได้ปริมาตรของคอลัมน์เท่ากับ 4 ลิตร แต่ละชั้นบรรจุแพคเบดสูงชั้นละประมาณ 7.5 เซนติเมตร แพคเบดที่ใช้เป็นไม้มะค่าทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จะได้อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ ต่อความสูงของแพคเบดต่อความสูงของคอลัมน์ในแต่ละชั้นเท่ากับ 1:1.04:3.47 ฉะนั้นจะได้ปริมาตรของเชื้อหมักเริ่มต้นต่อปริมาตรของคอลัมน์เท่ากับ 3:4 = 1:1.3



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการขยายขนาดปริมาณการหมัก

การขยายขนาดในขั้นแรกจะหาปริมาตรของคอลัมน์ก่อนโดยใช้อัตราส่วนของปริมาตรของเชื้อหมักเริ่มต้นต่อปริมาตรของคอลัมน์เท่ากับในเครื่องหมักขนาดเล็ก ในเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้เชื้อหมักเริ่มต้นเท่ากับ 75 ลิตร ฉะนั้นจะได้ปริมาตรของคอลัมน์เท่ากับ 97 ลิตร และเมื่อให้อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ต่อความสูงของแพคเบดต่อความสูงของคอลัมน์ในแต่ละชั้นเท่ากับ 1:1.04:3.47 จะได้ขนาดของคอลัมน์เท่ากับ 20 เซนติเมตร สูงชั้นละ 70 เซนติเมตร และบรรจุแพคเบดสูง 20.8 เซนติเมตร

จากผลของการขยายขนาดจะเห็นว่าความสูงของแพคเบดเพิ่มขึ้นจาก 7.5 เซนติเมตร



1. เครื่องอัดอากาศ
2. เครื่องกรองอากาศ
3. เครื่องปรับอัตราการไหลของอากาศ
4. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ
5. หัวกระจายอากาศ
6. ฐานรองรับแพคเบด
7. แพคเบด
8. หัวกระจายน้ำหมัก
9. ท่อกาลักน้ำ
10. เครื่องปั๊มหมุนเหวี่ยง
11. ประตูน้ำ
12. ถังเก็บ

รูปที่ 3.2 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้นขนาดเล็ก

เป็น 20.8 เซนติเมตร ฉะนั้นจะทำให้ความดันลด (pressure drop) ภายในคอลัมน์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความดันลดภายในคอลัมน์เกิดขึ้นตามสมการ (18)

$$\Delta p/h = \psi(10)^{\phi_L/\rho_L} G^2/\rho_a \qquad (3.1)$$

Δp = ความดันลด

ψ = ค่าคงที่ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของแพคเบด

L = ความเร็วปรากฏของของเหลว(superficial liquid mass velocity)

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว

G = ความเร็วปรากฏของก๊าซ(superficial gas mass velocity)

ρ_a = ความหนาแน่นของก๊าซ

h = ความสูงของแพคเบด

ฉะนั้นเพื่อไม่ให้เกิดสภาวะโหลดดิ้งและการท่วมขึ้นในแพคเบด(10) ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้การสัมผัสของอากาศและน้ำหมักลดลง ในเครื่องหมักขนาดใหญ่จึงทำการดัดแปลงเครื่องหมักโดยให้มีทางออกของอากาศในทุกชั้นของเครื่องหมักเพื่อเป็นการระบายอากาศส่วนที่ไม่ได้ใช้ในปฏิกริยาการเกิดน้ำส้มสายชู คือ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอื่น ๆ ออกจากเครื่องหมัก แล้วทำการเพิ่มหัวกระจายอากาศเข้าไปในทุกชั้นของเครื่องหมักเพื่อให้น้ำหมักได้รับอากาศอย่างทั่วถึง นอกจากนี้ยังได้เพิ่มความสูงของคอลัมน์ในชั้นที่ 1 และ 4 อีก 60 เซนติเมตร เพื่อเป็นการลดความดันลดและการท่วมล้นในคอลัมน์ชั้นที่ 4 ซึ่งเกิดกับเครื่องหมักในขนาดเล็ก(1) อีกด้วย

สำหรับในกรณีของแพคเบด ในเครื่องหมักขนาดเล็กใช้แพคเบดขนาด 1.5 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 360 ลูก ถ้าเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้แพคเบดขนาด 1.5 เซนติเมตรจะต้องใช้แพคเบดถึง 7728 ลูก ซึ่งเป็นปริมาณมากจนไม่สามารถจะสร้างได้ ดังนั้นจึงใช้แพคเบดขนาด 2 เซนติเมตร แทนซึ่งจะใช้แพคเบดเท่ากับ 3264 ลูก และในการใช้แพคเบดขนาดใหญ่ขึ้นนี้ก็จะช่วยลดความดันลดอีกทางหนึ่งดังสมการ(18)

$$\Delta P/h = (1-\varepsilon/\varepsilon^3)(G^2/d_p g_c \rho_a)\left[150(1-\varepsilon)\mu_a/d_p G+1.75\right] \qquad (3.2)$$

ε = สัดส่วนของปริมาตรของช่องว่างภายในเบด
= ปริมาตรของช่องว่าง/ปริมาตรของคอลัมน์
μ_g = ความหนืดสมบูรณ์ของก๊าซ
d_p = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแพคเบด

ฉะนั้น เมื่อขยายขนาดตามกรรมวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว จะได้ขนาดของเครื่องหมักขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดของส่วนต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการขยายขนาดของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้น

ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมัก	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ (D, ซม.)	7.2	20
ความสูงของคอลัมน์แต่ละชั้น (H_c, ซม.)	25	70
ความสูงของแพคเบดแต่ละชั้น (H_p, ซม.)	7.5	20.8
ขนาดของแพคเบด (D_p, ซม.)	1.5	2.0
จำนวนแพคเบดต่อชั้น (ลูก)	90	816
พื้นที่ผิวของแพคเบดต่อปริมาตรของคอลัมน์ ส่วนที่มีแพคเบด ($ซม.^{-1}$)	8.37	6.28
สัดส่วนช่องว่าง	0.477	0.477
ความสูงทั้งหมด (ซม.)	100	400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 อุปกรณ์

เนื่องจากการหมักน้ำส้มสายชู มีขั้นตอนในการหมัก 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกยีสต์เปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ขั้นที่สอง Acetobactor เปลี่ยนเอทานอลไปเป็นน้ำส้มสายชู ดังนั้นเครื่องหมักน้ำส้มสายชู จะแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. ชุดเครื่องหมักเอทานอล
2. ชุดเครื่องหมักน้ำส้มสายชู

3.2.1 ชุดเครื่องหมักเอทานอล

ใช้เครื่องหมักแบบคอลัมน์ในการหมักเอทานอล (12) ดังรูปที่ 3.3

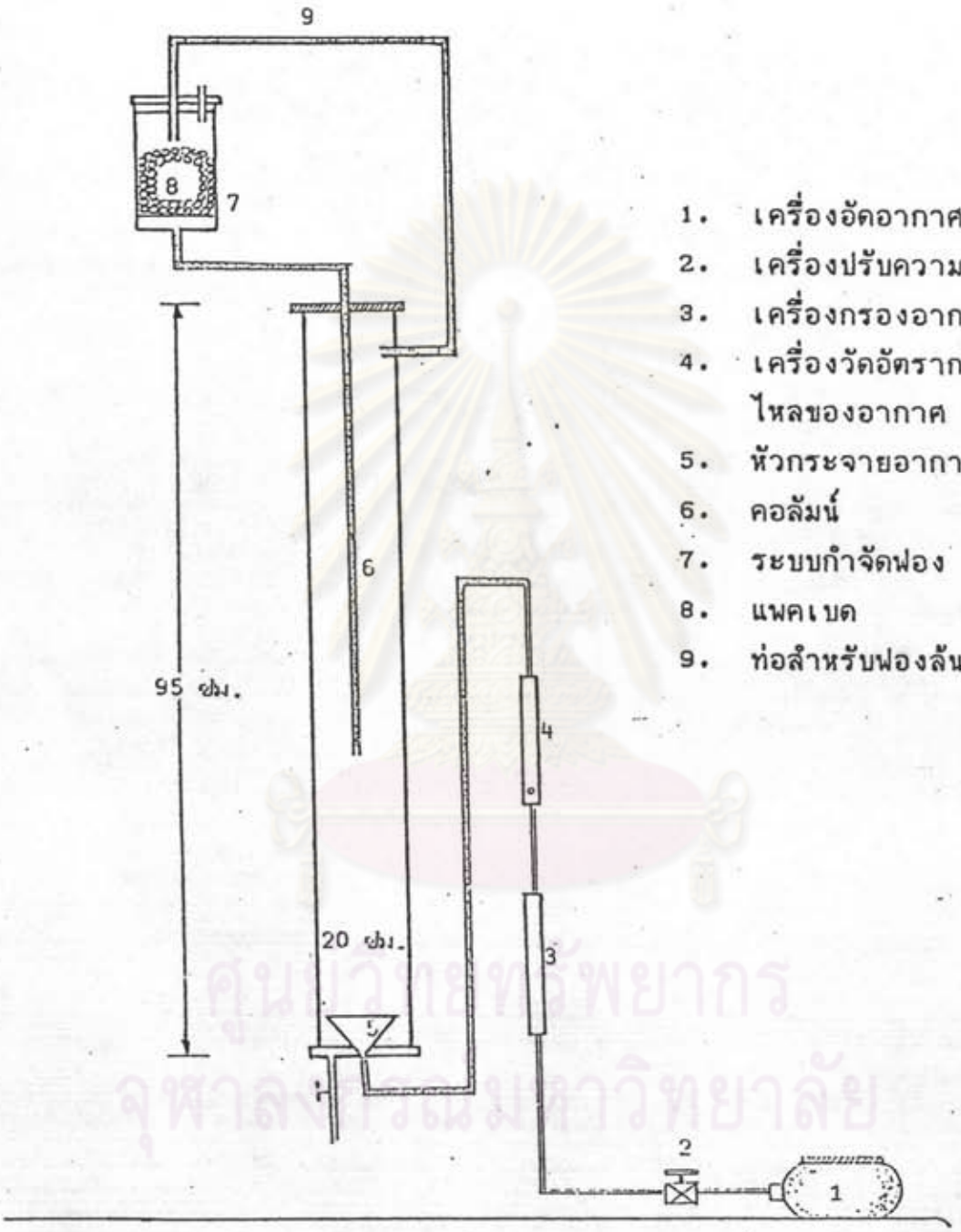
3.2.2 ชุดเครื่องหมักน้ำส้มสายชู

ใช้เครื่องหมักอนุกรมสี่ชั้นแบบรวมคอลัมน์ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยสามส่วนใหญ่ ๆ คือ

- คอลัมน์
- หัวกระจายอากาศ และหัวกระจายน้ำหมัก
- ระบบการไหลหมุนเวียน และถังเก็บ

3.2.1.1 คอลัมน์

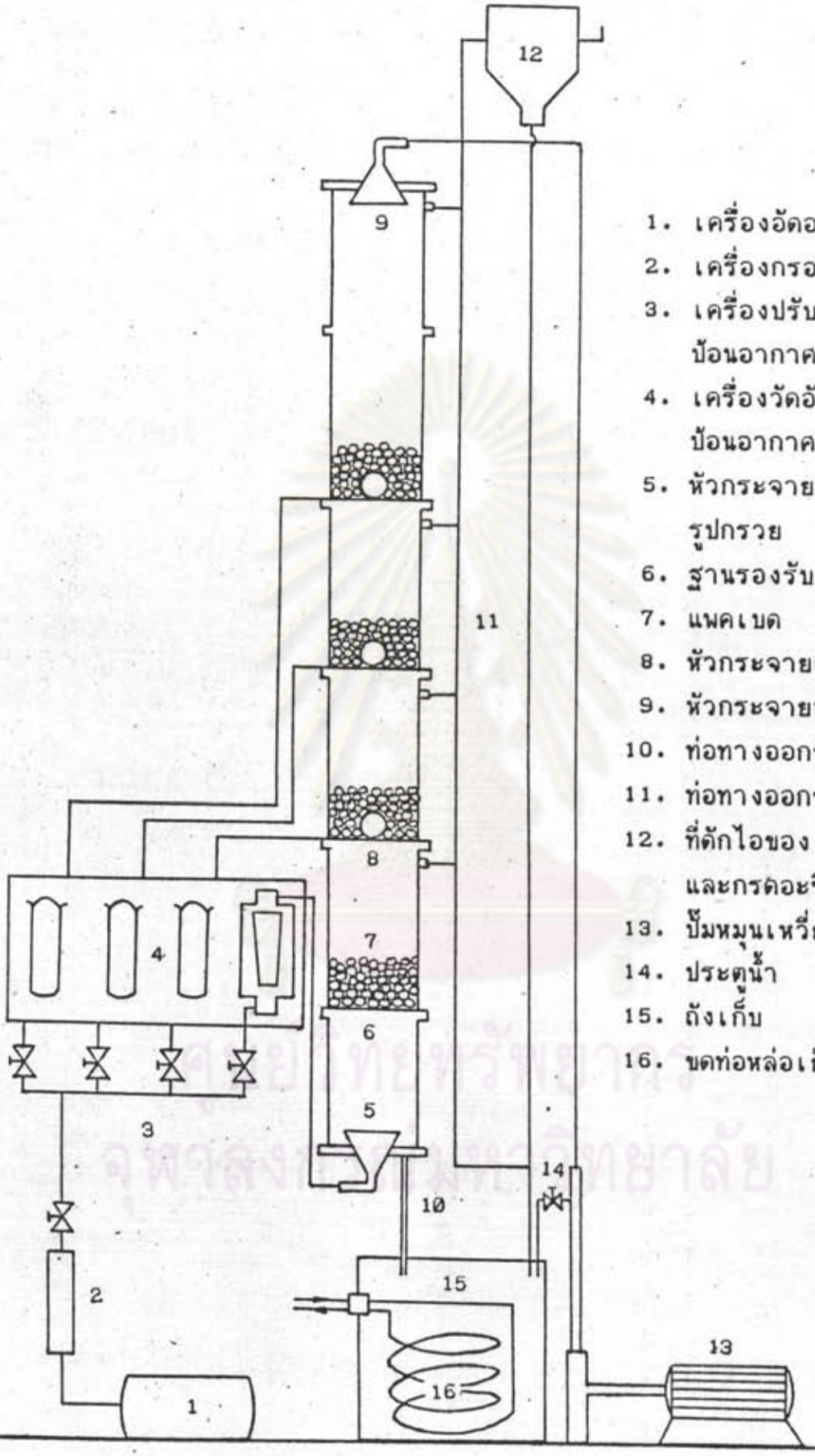
ทำด้วยท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 20 เซนติเมตร สูงทั้งหมด 4 เมตร แบ่งออกเป็น 6 คอลัมน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 คอลัมน์ที่ 1 และ 6 มีความสูงคอลัมน์ละ 60 เซนติเมตร ส่วนคอลัมน์ที่ 2 ถึง 5 สูงคอลัมน์ละ 70 เซนติเมตร ภายในคอลัมน์มีตะแกรงเพื่อรองรับแพคเบดทรงกลมซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร บรรจุคอลัมน์ละ 816 ลูก บนตะแกรงรองรับแพคเบดคอลัมน์ที่ 3, 4 และ 5 จะมีหัวกระจายอากาศรูปทรงกลมติดอยู่ ที่ด้านข้างตอนบนของคอลัมน์ที่ 2,3,4 และ 6 แต่ละชั้นจะมีท่อสำหรับให้อากาศออก อากาศเมื่อออกจากท่อทางออกของอากาศแล้วจะผ่านเข้าที่ดักไอ ซึ่งติดอยู่ด้านบนของคอลัมน์เพื่อดักไอของเอทานอล และกรดอะซิติกที่อาจระเหยติดออกมากับอากาศ



1. เครื่องอัดอากาศ
2. เครื่องปรับความดัน
3. เครื่องกรองอากาศ
4. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ
5. หัวกระจายอากาศ
6. คอลัมน์
7. ระบบกำจัดฟอง
8. แพคเบด
9. ท่อสำหรับฟองล้น

รูปที่ 3.3 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักเอทานอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1. เครื่องอัดอากาศ
2. เครื่องกรองอากาศ
3. เครื่องปรับอัตราการป้อนอากาศ
4. เครื่องวัดอัตราการป้อนอากาศ
5. หัวกระจายอากาศรูปกรวย
6. ฐานรองรับแพคเบด
7. แพคเบด
8. หัวกระจายอากาศ
9. หัวกระจายน้ำหมัก
10. ท่อทางออกของน้ำหมัก
11. ท่อทางออกของอากาศ
12. ที่ดักไอของเอทานอลและกรดอะซิติก
13. ปั๊มหมุนเหวี่ยง
14. ประตูน้ำ
15. ถังเก็บ
16. ขดท่อหล่อเย็น

รูปที่ 3.4 ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องหมักแพคคอลัมน์แบบอนุกรมสี่ชั้นที่ได้จากการขยายขนาด

3.2.1.2 หัวกระจายอากาศ และหัวกระจายน้ำหมัก

- หัวกระจายอากาศ มี 2 แบบ แบบแรกติดอยู่กับฝาปิดด้านล่างของคอลัมน์เป็นหัวกระจายอากาศรูปกรวย ทำจากกรวยสแตนเลสด้านบนปิดด้วยตะแกรงสแตนเลสเบอร์ 40 mesh ใต้หัวกระจายอากาศรูปกรวยมีรูเจาะทะลุเพื่อใช้เป็นทางสำหรับน้ำหมักไหลย้อนกลับลงสู่ถังเก็บ แบบที่ 2 เป็นหัวกระจายอากาศแบบกลมทำจากทรายหล่อเป็นรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ติดอยู่บนตะแกรงรองรับแพคเบดในคอลัมน์ที่ 3, 4 และ 5

- หัวกระจายน้ำหมัก ติดอยู่บนผาปิดด้านบนของคอลัมน์ทำจากแผ่นพีวีซี ที่นำมาคัดให้เป็นกรวยแล้วปิดด้วยแผ่นพีวีซี ซึ่งเจาะรูขนาด 2.5 มิลลิเมตรตลอดทั่วทั้งแผ่น เพื่อเป็นทางออกของน้ำหมัก

3.2.1.3 ระบบการไหลหมุนเวียน และถังเก็บ

จากถังเก็บ ซึ่งมีขนาด 100 ลิตร น้ำหมักจะถูกส่งขึ้นไปตามท่อด้วยปั๊มหมุนเหวี่ยงไปยังด้านบนของคอลัมน์ เข้าสู่หัวกระจายน้ำหมัก โดยมีประตูน้ำเป็นเครื่องช่วยควบคุมอัตราการไหลของน้ำหมัก น้ำหนักเมื่อไหลออกจากหัวกระจายน้ำหมักจะไหลผ่านแพคเบดแต่ละชั้นตั้งแต่ชั้นบนสุดลงมา จนถึงชั้นล่างสุด สู่ส่วนล่างของคอลัมน์แล้วไหลออกทางท่อทางออกของน้ำหมักกลับลงสู่ถังเก็บอย่างเดิม ภายในถังเก็บจะมีขดท่อหล่อเย็น (Cooling Coil) สำหรับควบคุมอุณหภูมิของระบบ

3.3 วิธีการทดลอง

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

3.3.1 การเตรียมวัสดุตัวกลางที่ยึดเกาะของเชื้อ (packing material) วัสดุตัวกลางที่ยึดเกาะของเชื้อ มีลักษณะรูปทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ทำจากไม้มะค่า (Afzelia xylocarpa Craib) นำวัสดุที่ยึดเกาะของเชื้อเหล่านี้แช่กรดอะซิติกร้อยละ 5 เพื่อกำจัดกลิ่นและสี ล้างกรดออกด้วยน้ำ ต้มจนเดือด โดยเปลี่ยนน้ำหลาย ๆ ครั้งจนน้ำที่ต้มใส แล้วนำไปต้มฆ่าเชื้อที่ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 121 °ซ นาน 15 นาที

3.3.2 การเตรียมไวน์สับปะรด ใช้วิธีการเตรียมและสูตรอาหารเช่นเดียวกับงานก่อน (1,12)

3.3.3 การเตรียมน้ำส้มสายชู

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ก. การเตรียมน้ำหมักเริ่มต้น

ข. การเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้น

ก. การเตรียมน้ำหมักเริ่มต้น ใช้ไวน์สับปะรดเจือจางให้ได้ปริมาณเอทานอลร้อยละ 7 โดยปริมาตร เติมกรดอะซิติก เพื่อปรับปริมาณกรดในน้ำหมักให้ได้ปริมาณกรดร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ข. การเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้น เชี่ยเชื้อ A. aceti ลงสู่น้ำหมักเริ่มต้นที่ใส่อาหารเหลวที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (1) นำไปใส่ลงในคอลัมน์เพื่อเตรียมเชื้อหมักเริ่มต้นให้ได้ร้อยละ 20 โดยปริมาตรของน้ำหมักทั้งหมดพร้อมทั้งให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

3.4 การเดินเครื่องหมัก

เมื่อได้น้ำหมักเริ่มต้นร้อยละ 20 ของปริมาตรการหมักทั้งหมดอยู่ในคอลัมน์แล้ว เติมส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 80 โดยปริมาตรของการหมักทั้งหมดลงในถังเก็บ และปล่อยให้น้ำหมักเริ่มต้นที่เตรียมได้ในคอลัมน์ลงสู่ถังเก็บ เปิดปั๊มหมุนเหวี่ยงพร้อมทั้งปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอากาศให้ได้ตามต้องการ

3.4.1 การปรับอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก

การวัดอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักทำได้โดยการวัดความดันลดของการไหลของน้ำหมักผ่าน orifice เทียบกับอัตราการไหลของน้ำหมัก

3.4.2 การปรับอัตราการให้อากาศ

การวัดอัตราการให้อากาศในเครื่องหมักชั้นที่ 1 ทำได้โดยวัดอัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงของลูกลอยของ Rotameter ซึ่งอัตราการไหลของอากาศแปรตามความสูงของลูกลอย ส่วนการให้อากาศในเครื่องหมัก ชั้นที่ 3, 4 และ 5 ทำได้โดยการวัดความดันลดของการไหลของอากาศผ่าน orifice เทียบกับอัตราการไหลของอากาศ ซึ่ง orifice และ Rotameter ที่ใช้ได้ผ่านการทดสอบจากเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ (Wet test meter) มาแล้ว

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

3.5.1 ศึกษาผลของส่วนผสมของไวน์ผลไม้ที่ใช้ในการหมักกรดอะซิติก โดยมีสภาวะของการหมักดังนี้

- อัตราการไหลเข้าของน้ำหนัก 72 ลิตรต่อนาที
- อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที โดยใช้หัวกระจายอากาศในเครื่องหมักคอลัมน์ที่ 1 และใช้ท่อทางออกของอากาศทั้ง 4 ทาง โดยแปรค่าสภาวะของน้ำหนักดังนี้คือ
- ตอนที่ 1 ใช้ไวน์สับปะรด
- ตอนที่ 2 ใช้ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตรผสมกับสารละลายของเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร
- ตอนที่ 3 ใช้ไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตรผสมกับสารละลายของเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร

3.5.2 ศึกษาผลของท่อทางออกของอากาศ โดยมีสภาวะของการหมักดังนี้

- อัตราการไหลเข้าของน้ำหนัก 72 ลิตรต่อนาที
- อัตราการให้อากาศดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลักษณะของการให้อากาศโดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์เครื่องหมักต่าง ๆ

การทดลองที่	อัตราการให้อากาศทั้งหมด (ลิตรต่อนาที)	อัตราการให้อากาศในแต่ละคอลัมน์ (ลิตรต่อนาที)		
		คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 3	คอลัมน์ที่ 4
1	1.6	1.6	-	-
2	3.2	1.6	1.6	-
3	4.8	1.6	1.6	1.6

โดยแปรค่าการใช้ท่อทางออกของอากาศดังนี้คือ

การทดลองที่ 1 ใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุด

การทดลองที่ 2 ใช้ท่อทางออกของอากาศทั้ง 4 ทาง

3.5.3 ศึกษาผลของการให้อากาศ โดยมีสภาวะของการหมักดังนี้คือ

- อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที
- ใช้ท่อทางออกของอากาศทั้ง 4 ทาง

และได้ทำการแปรค่าอัตราการให้อากาศดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์เครื่องหมักต่าง ๆ

การทดลองที่	อัตราการให้อากาศรวม (ลิตรต่อนาที)	อัตราการให้อากาศในแต่ละคอลัมน์(ลิตรต่อนาที)			
		คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 3	คอลัมน์ที่ 4	คอลัมน์ที่ 5
1	1.6	1.6	-	-	-
2	3.2	1.6	1.6	-	-
3	4.8	1.6	1.6	1.6	-
4	6.4	1.6	1.6	1.6	1.6

3.5.4 ศึกษาผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก ที่อัตราการให้อากาศเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.5.3 โดยแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักเท่ากับ 50 และ 60 ลิตรต่อนาที

3.5.5 ศึกษาอัตราการให้อากาศที่เหมาะสม

ก. ศึกษาการเพิ่มอัตราการให้อากาศต่อจากหัวข้อ 3.5.3 โดยใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การให้อากาศในคอลัมน์เครื่องหมักต่าง ๆ

การทดลองที่	อัตราการให้อากาศรวม (ลิตรต่อนาที)	อัตราการให้อากาศในแต่ละคอลัมน์(ลิตรต่อนาที)			
		คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 3	คอลัมน์ที่ 4	คอลัมน์ที่ 5
1	8.0	3.2	1.6	1.6	1.6
2	9.6	3.2	3.2	1.6	1.6
3	9.6	3.2	1.6	3.2	1.6
4	9.6	3.2	1.6	1.6	3.2
5	9.6	4.8	1.6	1.6	1.6

ข. ศึกษาการเพิ่มอัตราการให้อากาศที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที โดยแปรค่าอัตราการให้อากาศดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การให้อากาศในคอลัมน์เครื่องหมักต่าง ๆ

การทดลองที่	อัตราการให้อากาศรวม (ลิตรต่อนาที)	อัตราการให้อากาศในแต่ละคอลัมน์(ลิตรต่อนาที)			
		คอลัมน์ที่ 1	คอลัมน์ที่ 3	คอลัมน์ที่ 4	คอลัมน์ที่ 5
1	3.2	3.2	-	-	-
2	4.8	4.8	-	-	-
3	4.8	3.2	1.6	-	-
4	6.4	3.2	3.2	-	-
5	6.4	3.2	1.6	1.6	-

3.5.6 ศึกษาการเพิ่มปริมาตรของการหมักที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศโดยหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ โดยเพิ่มปริมาตรของการหมักจาก 80 ลิตร เป็น 240 ลิตร

3.6 วิธีการวิเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ปริมาณเอทานอลโดยวิธีของ A.O.A.C. (ภาคผนวก ข)
- ปริมาณกรดอะซิติกโดยวิธีของ A.O.A.C. (ภาคผนวก ข)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์ (refractometer)
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter Electronic Instrument Limited, Serial No.7010/582
- อุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์
- ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ Hemacytometer (ภาคผนวก ข)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย