บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักน้ำส้มสายชู

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ ไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร ไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์สับปะรดร้อยละ 100 โดยปริมาตร พิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า อัตราการเกิดกรดอะซิติกที่ได้แตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีส่วนผสมเป็นไวน์สับปะรดร้อยละ 25 โดยปริมาตร ผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร และไวน์อ้อยร้อยละ 25 โดยปริมาตรผสมกับสารละลายเอทานอลเจือจางร้อยละ 75 โดยปริมาตร เป็นวัตถุดิบในการทดลองต่อ ๆ ไปจึงไม่มีผลต่ออัตราการผลิตกรดอะซิติกมากนัก ทั้งยังเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบอีกด้วย

5.2 ผลของท่อทางออกของอากาศ

ท่อทางออกของอากาศที่เหมาะสมพิจารณาจากอัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติก จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6,4.7 และ 4.8 พบว่า ที่อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศค่าเดียวกัน อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทางจะมากกว่าเมื่อใช้ท่อทางออกของอากาศเพียงทางเดียว การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า การหมักกรดอะซิติกโดยใช้ท่อทางออกของอากาศอันบนสุดเพียงทางเดียวนั้น ความสูงของคอลัมน์ที่ให้น้ำหมักและอากาศไหลผ่านมีมากกว่า จึงทำให้เกิดความดันลดภายในคอลัมน์มากกว่าดังสมการ (10)

$$\Delta P/h = (10)^{\phi_L / \rho_L G^2 / \rho_a}$$

เมื่อความดันลดภายในคอลัมน์เกิดขึ้นมากจึงทำให้การไหลของอากาศและน้ำหมักผ่านคอลัมน์เป็นไปด้วยความลำบาก ดังนั้นแทนที่อากาศและน้ำหมักจะไหลผ่านแพคเบดอย่างทั่วถึง ก็อาจจะเปลี่ยนเป็นรวมตัวกันเป็นกระแสใหญ่ขึ้น (channeling) (10) เพื่อให้มีแรงดันมากพอที่จะไหลผ่านแพคเบดไปได้ หรือไม่ก็ถูกน้ำหมักดันให้ลงไปในถังเก็บน้ำหมัก และออกจากถังเก็บที่

ช่องตามฝาของถังเก็บ เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้พื้นที่ในการสัมผัสกันของน้ำหมักและอากาศลดลง อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกก็จะลดลงตามไปด้วย ส่วนในกรณีของการใช้ท่อทางออกของอากาศทั้งสี่ทาง จะทำให้ความสูงของคอลัมน์ที่อากาศและน้ำหมักต้องไหลผ่านลดลงถึง 4 เท่า ความดันลดที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์จึงน้อยกว่า การหมักจึงเร็วกว่า

5.3 ผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศ

5.3.1 ผลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก

ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก โดยพิจารณาอัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักต่าง ๆ กันคือ 50, 60 และ 72 ลิตรต่อนาที และใช้อัตราการให้อากาศคงที่เท่ากับ 1.6 ลิตรต่อนาที พบว่า อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 72 ลิตรต่อนาที จะมากกว่าเมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 60 และ 50 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่า เมื่อใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักมากขึ้น จะทำให้มีการถ่ายเทมวลของออกซิเจนเข้าไปในน้ำหมักได้มากขึ้นตามสมการ (10)

$$k_L d_m / D_L = 2.51 (d_m L' / \mu_L)^{0.45} Sc_L^{0.5}$$

ในการศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก นอกจากจะทำที่อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาทีแล้ว ยังได้ทำที่อัตราการให้อากาศ 3.2, 4.8 และ 6.4 ลิตรต่อนาทีด้วยดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 พบว่าได้ผลการทดลองทำนองเดียวกับเมื่อใช้อัตราการให้อากาศ 1.6 ลิตรต่อนาที

ดังนั้นอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักที่เหมาะสมคือ 72 ลิตรต่อนาที

5.3.2 ผลของอัตราการให้อากาศ

จากการศึกษาการให้อากาศ 2 แบบคือ แบบแรกทำการเพิ่มอัตราการให้อากาศทีละ 1.6 ลิตรต่อนาที โดยใช้หัวกระจายอากาศไม่ซ้ำกันดังแสดงในหัวข้อ 3.5.3 และ 3.5.5 ก พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศรวมจาก 1.6 ลิตรต่อนาที ไปเป็น 3.2, 4.8, 6.4 และ 8.0 ลิตรต่อนาที อัตราการเกิดกรดอะซิติกยังคงเพิ่มตามการเพิ่มของอัตราการให้อากาศ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการให้อากาศรวมเป็น 9.6 ลิตรต่อนาที จะทำให้อัตราการเกิดกรด

อะซิติกลดลงดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.14 แสดงว่าสภาวะของการให้อากาศค่านี้มากเกินไป จึงทำให้อากาศและน้ำหมักไหลสวนทางกันแบบแยกเป็นกระแส (channeling) (10) ดังนั้นจึงทำให้อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกลดลง และนอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอัตราการให้อากาศอีก 1.6 ลิตรต่อนาที จากอัตราการให้อากาศรวม 8.0 ลิตรต่อนาที ไปเป็น 9.6 ลิตรต่อนาที โดยใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 จะให้อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกมากกว่าการใช้หัวกระจายอากาศในคอลัมน์อื่น ๆ ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่า หัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 3,4 และ 5 เป็นแบบกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 เซนติเมตร ซึ่งจะมีค่าเพียง 1/5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์เท่านั้น ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดของการไหลของอากาศขึ้นไปในแพคเบดจะน้อย เมื่อทำการทดลองโดยใช้อัตราการให้อากาศสูง ๆ โอกาศที่อากาศจะไหลผ่านแพคเบดแบบ channeling จึงเกิดได้ง่าย อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกก็จะน้อยลง ส่วนหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 นั้น เนื่องจากเป็นหัวกระจายอากาศรูปกรวยและวางอยู่ใต้ฐานรองรับแพคเบด จึงทำให้การไหลของอากาศผ่านขึ้นไปตามแพคเบดได้สม่ำเสมอกว่า ทำให้อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกมากกว่า ดังนั้นเมื่อทำการทดลองโดยเปลี่ยนวิธีการให้อากาศเป็นแบบที่ 2 ซึ่งการเพิ่มอัตราการให้อากาศทำโดยเพิ่มในหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 ก่อน เมื่อเพิ่มจนไม่ทำให้อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นแล้วจึงค่อยเพิ่มในหัวกระจายอากาศที่อยู่ในชั้นบน ๆ ต่อไป ดังแสดงในหัวข้อ 3.5.5 ข. จึงทำให้อัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกสูงสุดของการให้อากาศแบบที่ 2 มากกว่าอัตราเร็วของการเกิดกรดอะซิติกสูงสุดของการให้อากาศแบบที่ 1 และใช้อัตราการให้อากาศรวมเพียง 4.8 ลิตรต่อนาที โดยแบ่งให้ในหัวกระจายอากาศในคอลัมน์ที่ 1 และ 3 เท่ากับ 3.2 และ 1.6 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 4.15

5.4 อิทธิพลของปริมาตรในการหมัก

ในการเพิ่มปริมาตรในการหมักจาก 80 ลิตรไปเป็น 240 ลิตร จากผลการทดลองในรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟของการหมักในปริมาตร 240 ลิตรจะลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นกราฟของการหมักในปริมาตร 80 ลิตร แต่เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของกรดอะซิติกที่ช่วงความเข้มข้นที่เท่ากัน พบว่า ในการหมักขนาด 80 ลิตร ความเข้มข้นของกรดอะซิติกเพิ่มจากร้อยละ 1.5 ไปเป็น 5.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใช้เวลา 32 ชั่วโมง และเมื่อใช้ปริมาตรในการหมัก 240 ลิตร ความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะ

เพิ่มจากร้อยละ 1.6 ไปเป็น 5.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นของกรดที่เท่ากัน ใช้เวลา 92 ชั่วโมง จะเห็นว่า เวลาที่ใช้เพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรในการหมัก ฉะนั้น เครื่องหมักเครื่องนี้สามารถผลิตกรดอะซิติกจากความเข้มข้นร้อยละ 1 ไปเป็นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ได้วันละ 60 ลิตร

5.5 การเปรียบเทียบอัตราการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักขนาดใหญ่กับเครื่องหมักขนาดเล็ก

จากสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักทั้งสองขนาด จะสามารถนำมาคำนวนหาอัตราการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักทั้งสองขนาดได้ดังนี้

ในการหมักด้วยเครื่องหมักขนาดเล็ก ใช้ปริมาตรในการหมัก 15 ลิตร ความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะเพิ่มจาก 1.18 ไปเป็น 5.58 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรในเวลา 95 ชั่วโมง ฉะนั้นจะสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดกรดอะซิติกได้ดังนี้คือ

ปริมาณกรดอะซิติกก่อนการหมัก = (1.18x1,000x15)/100

= 177 กรัม

ปริมาณกรดอะซิติกหลังการหมัก = (5.58x1,000x15)/100

= 837 กรัม

อัตราการเกิดกรดอะซิติก = (837-177)/95

= 6.95 กรัม

ในการหมักน้ำส้มสายชูด้วยเครื่องหมักขนาดใหญ่ ใช้ปริมาตรในการหมัก 240 ลิตร ความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะเพิ่มจากร้อยละ 1.59 ไปเป็น 6.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรในเวลา 116 ชั่วโมง จะสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดกรดอะซิติกได้ดังนี้

ปริมาณกรดอะซิติกก่อนการหมัก = (1.59x1,000x240)/100

= 3,816 กรัม

ปริมาณกรดอะซิติกหลังการหมัก = (6.8x1,000x240)/100

= 16,320 กรัม

อัตราการเกิดอะซิติก = (16,320-3,816)/116

= 107.79 กรัม/ชั่วโมง

จะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกของเครื่องหมักขนาดใหญ่ต่อเครื่องหมักขนาดเล็ก

= 107.79/6.95

= 15.5

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องหมักทั้งสองขนาด จะทำโดยเปรียบเทียบในรูปของอัตราเร็วของการผลิตผลผลิตต่อหน่วยปริมาตรของเครื่องหมักต่อหน่วยเวลา (2) ซึ่งในกรณีของการหมักกรดอะซิติกด้วยเครื่องหมักแบบแพคคอลัมน์ก็คือ อัตราการเกิดกรดอะซิติกต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์ต่อหน่วยเวลา และจะหาค่าได้ดังนี้คือ

เครื่องหมักขนาดเล็ก

ปริมาตรของคอลัมน์ = 4.07×10^{3} ลูกบาศก์เซนติเมตร

อัตราเร็วของการผลิตกรดอะซิติกต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์

= $6.95/4.07 \times 10^{3}$

= 1.7×10^{-3} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-ชั่วโมง

เครื่องหมักขนาดใหญ่

ปริมาตรของคอลัมน์ = 8.8×10^{4} ลูกบาศก์เซนติเมตร

อัตราเร็วของการผลิตกรดอะซิติกต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์

= $107.79/8.8 \times 10^{4}$

= 1.22×10^{-3} กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-ชั่วโมง

ฉะนั้น ประสิทธิภาพในการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักขนาดใหญ่

= $1.22 \times 10^{-3} \times 100/1.7 \times 10^{-3}$

= 71.35 % ของเครื่องหมักขนาดเล็ก

จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักขนาดใหญ่น้อยกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสาเหตุหลายประการดังนี้

1. ขนาดของแพคเบด เนื่องจากเครื่องหมักทั้งสองขนาดนี้ใช้แพคเบดขนาดต่างกัน โดยในเครื่องหมักขนาดเล็กใช้แพคเบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ส่วนในเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้แพคเบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนความสูงของแพคเบดต่อความสูงของคอลัมน์เท่ากัน จึงเป็นเหตุให้พื้นที่ผิวของแพคเบดต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์ลดลงจาก 0.625 ตร.ซม./ลบ.ซม. เหลือเพียง 0.466 ตร.ซม./ลบ.ซม. เท่านั้น ซึ่ง

ในการศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างก๊าซกับของเหลวในแพคคอลัมน์ โดยใช้แพคเบดแบบ Raschig rings และ Berl saddles พบว่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลสารจะแปรผกผันกับขนาดของแพคเบดตามสมการ

$$k_L d_p / D_L = 2.51 (d_p L' / \mu_L)^{0.45} Sc^{0.5}$$

จากผลอันนี้จึงทำให้การได้รับออกซิเจนต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์ของเครื่องหมักขนาดใหญ่น้อยกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก ดังนั้นอัตราการเกิดอะซิติกต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์ของเครื่องหมักขนาดใหญ่จึงน้อยกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก

2. ระบบท่อทางออกของน้ำหมัก เนื่องจากในเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้ทางออกของน้ำหมักระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรงดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งต่างจากเครื่องหมักขนาดเล็กที่ใช้ทางออกของน้ำหมักระบบกาลักน้ำดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในการศึกษาอิทธิพลของระบบทางออกของน้ำหมัก ประพนธ์ (20) ได้ทำการทดลองกับเครื่องหมักขนาดเล็กแบบหนึ่งชั้น ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อใช้ระบบทางออกของน้ำหมักระบบกาลักน้ำจะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกเท่ากับ 2.89 กรัมต่อชั่วโมง และเมื่อใช้ทางออกของน้ำหมักระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรงจะได้อัตราการเกิดกรดอะซิติกเท่ากับ 2.37 กรัมต่อชั่วโมง ซึ่งลดลงถึงร้อยละ 18 การที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าในระบบกาลักน้ำนั้น น้ำหมักมีโอกาสสัมผัสกับอากาศนานกว่าระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรง จึงทำให้ได้รับอากาศมากกว่า อัตราการหมักจึงเร็วกว่า ดังนั้นการที่เครื่องหมักขนาดใหญ่ให้น้ำหมักไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรง จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราเร็วของการหมักกรดอะซิติน้อยกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก

ในการเปรียบเทียบอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักของเครื่องหมักทั้งสองขนาด โดยเปรียบเทียบในรูปของอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักต่อหน่วยปริมาตรของเครื่องหมัก(ปริมาตรของคอลัมน์) จะสามารถหาอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักได้ดังนี้

อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักของเครื่องหมักขนาดเล็ก	=	2.85	ลิตรต่อนาที
ปริมาตรของเครื่องหมักขนาดเล็ก	=	4.07	ลิตร
อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์	=	(2.85x1,000)/4.07	
	=	700	นาที$^{-1}$
อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักของเครื่องหมักขนาดใหญ่	=	72	ลิตรต่อนาที
ปริมตรของเครื่องหมักขนาดใหญ่	=	88	ลิตร

อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์ = (72x1,000)/88

= 820 นาที$^{-1}$

อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักที่นำมาใช้คำนวณนี้ สำหรับเครื่องหมักขนาดเล็กจะเริ่มมีน้ำหมักท่วมอยู่ในคอลัมน์ชั้นบนสุดแล้ว ซึ่งคิดว่าถ้าเพิ่มอัตราการไหลเข้าของน้ำหมักให้เป็น 0.82 นาที$^{-1}$ เท่ากับเครื่องหมักขนาดใหญ่ จะทำให้เกิดการล้นได้ จะเห็นว่าเครื่องหมักขนาดใหญ่สามารถใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักได้มากกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก การที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเพิ่มขนาดของแพคเบดจาก 1.5 เซนติเมตร ไปเป็น 2 เซนติเมตร ทำให้ช่องว่างภายในแพคเบดมีขนาดกว้างขึ้น จึงทำให้สามารถใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักได้มากขึ้น

สำหรับการเปรียบเทียบอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักทั้งสองขนาด โดยเปรียบเทียบในรูปของปริมาตรของอากาศที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำหมัก จะสามารถคำนวณหาปริมาตรของอากาศที่ใช้ได้ดังนี้

ในเครื่องหมักขนาดเล็กใช้อัตราการให้อากาศ	=	0.3	ลิตรต่อนาที
ปริมาตรในการหมัก	=	15	ลิตร
เวลาที่ใช้ในการหมัก	=	84	ชั่วโมง
ปริมาตรอากาศที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำหมัก	=	(0.3x60x84)/15	
	=	100.8 ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำหมัก	
ในเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้อัตราการให้อากาศ	=	4.8	ลิตรต่อนาที
ปริมาตรในการหมัก	=	240	ลิตรต่อนาที
เวลาที่ใช้ในการหมัก	=	90.5	ชั่วโมง
ปริมาตรอากาศที่ใช้ต่อหน่วยปริมาตรของน้ำหมัก	=	(4.8x60x90.5)/240	
	=	108.6 ลิตรอากาศต่อลิตรน้ำหมัก	

จะเห็นว่าเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้อากาศมากกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากในเครื่องหมักขนาดใหญ่ใช้ทางออกของน้ำหนักระบบไหลลงสู่ถังเก็บโดยตรง ดังนั้นจึงทำให้อากาศมีเวลาสัมผัสกับน้ำหมักน้อยกว่าทางออกของน้ำหมักระบบกาลักน้ำ ทำให้มีอากาศสูญเสียไปมากกว่า จึงต้องใช้อากาศมากกว่าเพื่อให้ได้ผลผลิตเท่ากัน

5.6 การหาความสัมพันธ์ของค่า k_La ระหว่างเครื่องหมักขนาดใหญ่กับเครื่องหมักขนาดเล็กเพื่อนำไปใช้ในการขยายขนาดของเครื่องหมักที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต่อไป

จากสภาวะที่ดีที่สุดของการผลิตกรดอะซิติกของเครื่องหมักทั้งสองขนาด จะสามารถนำมาหาค่า k_La (k_L คือสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทมวลของออกซิเจน และ a คือพื้นที่ผิวของแพคเบดต่อหน่วยปริมาตรของคอลัมน์) ได้ดังนี้

เครื่องหมักขนาดเล็ก

อัตราการเกิดอะซิติก = 6.95 กรัม/ชั่วโมง

อัตราการใช้ออกซิเจน = 6.95x32/60

= 3.71 กรัม/ชั่วโมง

พื้นที่ผิวทั้งหมดของแพคเบด = $4x22x(1.5/2)^2x360/7$

= 2,545.71 ตารางเซนติเมตร

k_L = 3.71/2,545.71

= $1.46x10^{-3}$

ปริมาตรของคอลัมน์ = $22x(7.2/2)^2x100/7$

= 4,073 ลูกบาศก์เซนติเมตร

a = 2545.71/4070

= 0.625 ตารางเซนติเมตร ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

k_La = $1.46x10^{-3}x0.625$

= $9.12x10^{-4}$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร-ชั่วโมง

เครื่องหมักขนาดใหญ่

อัตราการเกิดอะซิติก = 107.79 กรัม/ชั่วโมง

อัตราการใช้ออกซิเจน = 107.79x32/60

= 57.488 กรัม/ชั่วโมง

พื้นที่ผิวทั้งหมดของแพคเบด = $4x22x(2/2)^2x360/7$

= 41,033.143 ตารางเซนติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

k_L = 57.488/41,033.143

= 1.40×10^{-3} กรัมต่อตาราง เซนติเมตร-ชั่วโมง

ปริมาตรของคอลัมน์ = $22 \times (20/2)^2 \times 280/7$

= 88,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

a = 41,033.143/88,000

= 0.466 ตารางเซนติเมตร ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$k_L a$ = $1.40 \times 10^{-3} \times 0.466$

= 6.528×10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร-ชั่วโมง

จะเห็นว่าเครื่องหมักทั้งสองขนาดมีค่า k_L ใกล้เคียงกัน แต่เครื่องหมักขนาดใหญ่จะมีค่า $k_L a$ น้อยกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก เนื่องจากใช้แพคเบดขนาดใหญ่กว่า ค่า a น้อยกว่า จึงทำให้ค่า $k_L a$ มีค่าน้อยกว่าด้วย ดังนั้นเพื่อให้เครื่องหมักทั้งสองขนาดมีประสิทธิภาพเท่ากัน ซึ่งก็คือมีค่า $k_L a$ เท่ากัน จะต้องเพิ่มค่า a ในเครื่องหมักขนาดใหญ่ให้มีค่าเท่ากับเครื่องหมักขนาดเล็ก

ในการขยายขนาดของเครื่องหมักแบบแพคคอลัมน์ เพื่อให้เครื่องหมักขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องหมักขนาดเล็ก นอกจากจะพิจารณาถึงค่า $k_L a$ แล้ว ต้องคำนึงถึงความสูงของแพคเบดด้วย เนื่องจากถ้าความสูงของแพคเบดมากขึ้นจะทำให้ความดันลดภายในคอลัมน์เกิดมากขึ้นตามสมการ(18)

$$\Delta P/h = \gamma(10)^{\phi_L/\rho_L G^2/\rho_a}$$

ดังนั้น เมื่อทำการขยายขนาดของเครื่องหมัก โดยกำหนดให้ค่า $k_L a$ มีค่าคงที่ การขยายขนาดโดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ต่อความสูงของแพคเบดต่อความสูงของคอลัมน์เท่ากัน จะทำให้ความสูงของแพคเบดในเครื่องหมักขนาดใหญ่มีค่ามากกว่าเครื่องหมักขนาดเล็ก ซึ่งจะเป็นเหตุให้เกิดความดันลดภายในคอลัมน์มาก ดังนั้นเพื่อให้ความดันลดภายในเครื่องหมักขนาดใหญ่เท่ากับเครื่องหมักขนาดเล็ก ความสูงในแต่ละชั้น

ของเครื่องหมักขนาดใหญ่จะต้องเท่ากับเครื่องหมักขนาดเล็ก แต่ให้มีจำนวนชั้นมากกว่า ก็จะสามารถทำให้ค่า k_La ของเครื่องหมักทั้งสองขนาดมีค่าเท่ากันได้ และเนื่องจากความสูงของแผ่นเบดในแต่ละชั้นเท่ากัน ดังนั้น ถ้าใช้อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศต่อพื้นที่หน้าตัดของคอลัมน์เท่ากัน ความดันลดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องหมักทั้งสองขนาดจะเท่ากันด้วย (ตัวอย่างของการคำนวณหาขนาดของเครื่องหมักในการหมักปริมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน แสดงไว้ในภาคผนวก ง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย