

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในขวดเขย่า พบว่าความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับการเจริญและการผลิตเอทานอล ของ *S. cerevisiae* M30 คือ 110 และ 220 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ
2. จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในถังหมักขนาดปริมาตรใช้งานเป็น 7 ลิตร พบว่า ณ ชั่วโมงที่ 48 จะได้ความเข้มข้นเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 89 กรัมต่อลิตร ( 11.27 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร) หรือ Yield of ethanol production เท่ากับ 0.50 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์
3. จากการหมักต่อเนื่องชนิดหนึ่งขั้นตอนพบว่าอัตราการป้อนสารอาหารที่เหมาะสมคือ 0.184 ลิตรต่อชั่วโมง (หรือ Retention time เท่ากับ 38 ชั่วโมง) ณ สภาวะคงที่จะได้ความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 33 กรัมต่อลิตรหรือได้ค่า yield of ethanol production เท่ากับ 0.30 กรัมเอทานอลต่อกรัมน้ำตาลรีดิวซ์ และมีอัตราการผลิตเอทานอลได้เป็น 5.99 กรัมต่อลิตรชั่วโมง
4. จากการหมักต่อเนื่องชนิดสองขั้นตอน และการหมักต่อเนื่องชนิดสองขั้นตอนชนิดมีการเวียนกลับเซลล์ พบว่าในการหมักต่อเนื่องชนิดสองขั้นตอนจะมีอัตราการผลิตเอทานอล ณ สภาวะคงที่สูงกว่าการหมักแบบต่อเนื่องชนิดหนึ่งขั้นตอน กล่าวคือจะได้ความเข้มข้นเอทานอลประมาณ 71.82 กรัมต่อลิตร หรือมีอัตราการผลิตเอทานอลได้เป็น 6.62 กรัมต่อลิตรชั่วโมง (ต่อ 1 ถึงหมัก) และเมื่อทำการเวียนกลับเซลล์ที่มีอัตราการเวียนกลับเป็น 1 ใน 6 ของอัตราการป้อนอาหาร หลังจากระบบคงที่แล้ว(ชั่วโมงที่ 120 ของการหมัก) พบว่า ณ ที่สภาวะคงที่ ความเข้มข้นเอทานอลลดลงเหลือ 64.12 กรัมต่อลิตรหรือมีอัตราการผลิตเอทานอลได้เป็น 5.91 กรัมต่อลิตรชั่วโมง
5. จากการหมักต่อเนื่องชนิดหนึ่งขั้นตอนต่อกับถังตกตะกอนเพื่อเวียนกลับเซลล์ ได้ทำการปรับปรุงพัฒนาการผลิตบางส่วนคือ เพิ่มปริมาณหัวเชื้อตั้งต้นให้สูงขึ้น 4 - 5 เท่า พบว่าที่อัตราการเวียนกลับเซลล์ 1 ใน 6 ของอัตราการป้อนอาหาร ณ สภาวะคงที่อัตราการผลิตเอทานอลจะสูงขึ้นคือจะได้ความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 72.49 กรัมต่อลิตร (ร้อยละ 9.18 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) หรือมีอัตราการผลิตเป็น 13.35 กรัมเอทานอลต่อลิตรชั่วโมง และเมื่อทำการเพิ่มอัตราการเวียนกลับให้สูงขึ้น (1 ใน 3 ของอัตราการป้อนอาหาร) พบว่า อัตราการผลิตเอทานอลจะลดลงคือจะได้ความเข้มข้น เอทานอลเป็น 62.50 กรัมต่อลิตร (ร้อยละ 7.92 โดยปริมาตรต่อปริมาตร) หรือมีอัตราการผลิตเป็น 11.51 กรัมเอทานอลต่อลิตรชั่วโมง

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลสรุปที่ได้จากทดลองหมักด้วยวิธีต่างๆโดยใช้ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้นร้อยละ 22 โดยปริมาตรต่อปริมาตร pH เริ่มต้นเท่ากับ 5.0 อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส

วิธีการหมัก	ความเข้มข้นน้ำตาลที่เหลือ (กรัมต่อลิตร)	น้ำนิกเซลล์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นเอทานอล* (กรัมต่อลิตร)	อัตราการผลิตเอทานอล (กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง)
ไม่ต่อเนื่อง ครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 เฉลี่ย	40	7.83	84	1.75
	43	8.30	94	1.96
	41	8.01	89	1.86
ต่อเนื่องหนึ่งขั้นตอน อัตราการเจือจาง 0.026 ต่อชั่วโมง อัตราการเจือจาง 0.040 ต่อชั่วโมง	76	4.12	32.54	5.99
	126	3.90	30.87	8.64
ต่อเนื่องสองขั้นตอน อัตราการเจือจาง 0.026 ต่อชั่วโมง	66	8.08	71.82	6.62
ต่อเนื่องสองขั้นตอนและมีการเวียนกลับเซลล์ (อัตราการเวียนกลับเป็น 1 ใน 6 เท่าของอัตราการเจือจาง และอัตราการเจือจาง 0.026 ต่อชั่วโมง )	91	7.95	64.12	5.91
ต่อเนื่องหนึ่งขั้นตอนต่อกับตั้งตกตะกอนด้วย (อัตราการเจือจาง 0.026 ต่อชั่วโมง ) อัตราการเวียนกลับเซลล์เป็น 1 ใน 6 ของอัตราการเจือจาง อัตราการเวียนกลับเซลล์เป็น 1 ใน 3 ของอัตราการเจือจาง				
	61	9.66	72.49	13.35 **
	100	7.76	62.50	11.51 **

หมายเหตุ \* ในกรณีที่คิดความเข้มข้นเอทานอลในหน่วยร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร คิดได้จาก ความเข้มข้นเอทานอล (กรัมต่อลิตร) / (ความหนาแน่นเอทานอล (0.7896 กรัมต่อกรัม) \* 10)

\*\* คิดปริมาตรเฉพาะถึงหมักขนาด 7 ลิตร

จากตารางที่ 5.1 ที่แสดงผลสรุปที่ได้จากการทดลองหมักด้วยวิธีต่าง เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ในแต่ละวิธีแล้วจะพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอทานอลสำหรับงานวิจัยนี้ คือ การหมักต่อเนื่องชนิดหนึ่งขั้นตอนต่อกับถังตกตะกอนเพื่อเวียนกลับเซลล์ มีอัตราการป้อนอาหาร 0.184 ลิตรต่อชั่วโมง ( อัตราการเจือจางเป็น 0.026 ต่อชั่วโมง) อัตราการเวียนกลับเซลล์ เป็น 0.031 ลิตรต่อชั่วโมง หรือคิดเป็น 1 ใน 6 เท่าของอัตราการป้อนอาหาร จะให้ความเข้มข้นของเอทานอลสูงถึง 72.49 กรัมต่อลิตรหรือมีอัตราการผลิตเอทานอล(Productivity) เท่ากับ 13.35 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมงซึ่งมากกว่า 7 และ 2.3 เท่าของการหมักแบบไม่ต่อเนื่องและการหมักแบบต่อเนื่องหนึ่งขั้นตอน ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการหมักแบบต่อเนื่องและมีการเวียนกลับเซลล์นั้น เชื่อจะมีข้อจำกัดในการเจริญหลายประการเช่น เกิดการยับยั้งจากเอทานอลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตออกมาพร้อมการเจริญ เมื่อมีปริมาณเอทานอลในระบบมากขึ้นเชื่อก็จะอ่อนแอลง จะทำให้อัตราการเจริญและอัตราการผลิตเอทานอลของเซลล์ลดลง ดังนั้นควรมีการศึกษาหาวิธีดึงเอทานอลบางส่วนออกจากระบบหรือเพิ่มอุปกรณ์เพื่อคัดแยกเซลล์ส่วนที่ยังมีความสมบูรณ์กลับเข้าสู่ระบบมากขึ้น ก็จะเป็นการเพิ่มผลผลิตได้อีกทางหนึ่ง