บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปผล

4.1 การทดลองที่ 1 การหาคุณลักษณะการทำงานของปั๊ม

4.1.1 ผลการทดลอง

ภาพที่ 4.1แสดงการทดลองหาคุณลักษณะการทำงานของปั๊ม

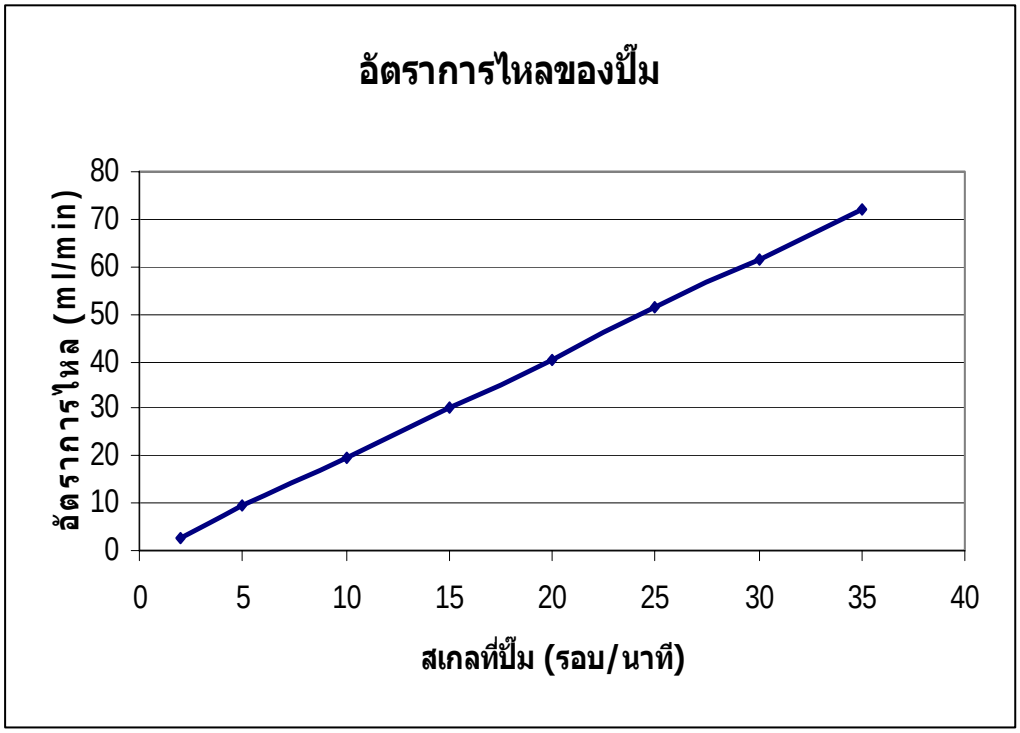
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการหาคุณลักษณะการทำงานของปั๊มที่รอบต่างๆ

สเกลของปั๊ม (rpm)	ปริมาตรน้ำที่วัดได้ (ml)	เวลา (s)	อัตราการไหล (ml/min)
2	6.5	90	2.9
5	15.5	90	9.3
10	30	90	19.1
15	44.5	90	30.2
20	59	90	40.5
25	75.5	90	51.2
30	88.5	90	61.5
35	104.5	90	72.2

4.1.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเบื้องต้นสามารถนำค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองโดยการวัดปริมาตรของน้ำที่ทำการปรับเปลี่ยนสเกลหลายๆค่าที่ตัวปั๊ม (รอบต่อนาที) มาเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์โดยได้แสดงดังรูปกราฟด้านล่าง จุดประสงค์ในการทดลองนี้ต้องการให้ง่าย สะดวก ไม่เสียเวลา และสอดคล้องกับการดำเนินงานจริงที่ไม่ต้องทำการคำนวณหรือทดลองซ้ำอีก

โดยกราฟที่ได้นี้จะใช้เป็นข้อมูลในการทำนายแนวโน้มของอัตราการการไหลของสเกลที่ตัวปั๊ม (รอบต่อนาที)กับอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)



ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของสเกลที่ตัวปั๊ม (รอบต่อนาที) กับอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)

4.2 ผลการทดลองที่ 2 การหาปริมาตรร้อยละของน้ำต่อปริมาตรแกลบรวมกับน้ำ

4.2.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการหาปริมาตรร้อยละของน้ำต่อปริมาตรแกลบรวมกับน้ำ

ปริมาตรรวม (ml)	ปริมาตรน้ำ (ml)	ปริมาตรของน้ำร้อยละ
600	510	85.00
800	670	83.75
1000	880	88.00

4.2.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้เราได้ทราบว่าเมื่อบรรจุแกลบจนเต็มบีกเกอร์แล้วเทน้ำจนเต็มบีกเกอร์ น้ำจะมีปริมาตรร้อยละ 85 ของปริมาตรทั้งหมด (แกลบรวมกับน้ำ) ดังนั้นสามารถหาปริมาตรน้ำที่อยู่ในต้นแบบถังหมักที่ 2 ได้โดยที่ถังหมักที่ 2 มีปริมาตรทั้งหมด 8,103 มิลลิลิตร จากการทดลองข้างต้นทำให้เราทราบว่าจะสามารถบรรจุน้ำได้จริง (8,103) X (0. 85) = 6,887.55 มิลลิลิตร และใช้ปริมาตรนี้ในการคำนวณอัตราการไหลที่เหมาะสมต่อไป

ในการเตรียมสารละลายตั้งต้น(น้ำตาล) จึงควรเตรียมที่ 7 ลิตรขึ้นไปและเพื่อกันความผิดพลาดในระหว่างการทดลองที่จะเกิดขึ้น จึงทำการเตรียมสารละลายตั้งต้น (น้ำตาล)ที่จะใช้ในการหมักเผื่อที่ 7.5 ลิตรต่อ 1 ถังหมัก

4.3 การทดลองที่ 3 การทดลองหาอัตราการไหลเข้าเทียบอัตราการไหลออกในถังหมัก

4.3.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองหาอัตราการไหลเข้าเทียบกับอัตราการไหลออกในถังหมัก

อัตราการไหลเข้าของน้ำ (ml/min)	อัตราการไหลออกของน้ำ (ml/min)
10	9.80
	9.70
	10
20	19.50
	20
	19.70
30	30
	29.70
	29.70
40	37.50
	35.20
	36.50

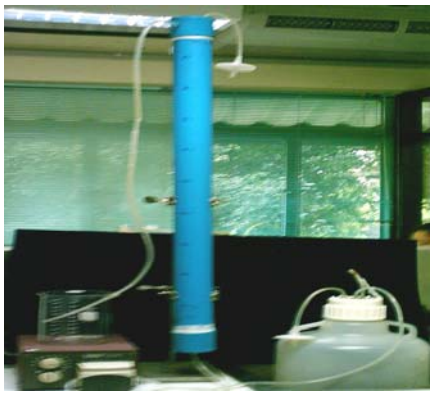
4.3.2 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองที่อัตราการไหลเข้า 10, 20 และ 30 มิลลิลิตรต่อนาที จะไม่ทำให้เกิดน้ำล้นออกมาที่รูระบายอากาศของถังหมัก เนื่องจากอัตราการไหลเข้ามีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับกับค่าอัตราการไหลออก แต่ที่อัตราการไหล 40 มิลลิลิตรต่อนาที จะเห็นว่าอัตราการไหลออกของน้ำน้อยกว่าอัตราการไหลเข้าของน้ำ และเมื่อปล่อยให้น้ำไหลต่อไป จะมีน้ำล้นออกมาทางช่องรูระบายอากาศ ซึ่งสามารถทำการแก้ปัญหานี้โดยการขยายช่องทางออกของน้ำหมักให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้น้ำหมักสามารถไหลออกได้สะดวก ช่วยให้ลดการเกิดการเสียดทานบริเวณปากทางช่องทางน้ำออกและลดการอุดตันของแกลบที่เล็ดลอดออกมาได้

4.4 ผลการทดลองกระบวนการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 1 (ท่อPVC)

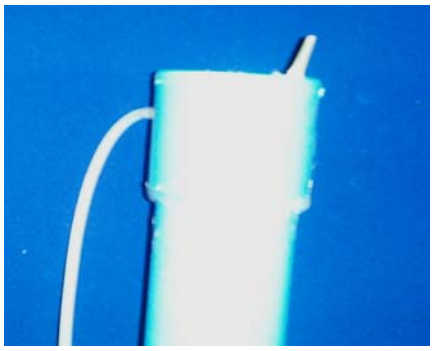
สำหรับในการทดลองกระบวนการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 1 (ท่อ PVC) เกิดข้อผิดพลาดที่ตัวถังหมัก พบว่ามีน้ำรั่วซึมออกมาตามบริเวณข้อต่อที่ช่องทางไหลเข้าของสารละลายผลิตภัณฑ์ (น้ำตาล) และเมื่อทำการ Feed สารละลายผลิตภัณฑ์น้ำตาลไปเรื่อยๆ น้ำหมักจะไหลออกที่ช่องรูระบายอากาศ จึงทำการซ่อมแซมแก้ไขโดยการใช้ Cilicone มาอุดรอยรั่วตามบริเวณที่เกิดรอยรั่ว แต่ก็ยังเกิดการรั่วต่อไปจึงยุติกระบวนการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 1

สาเหตุที่ทำให้น้ำเกิดการล้นออกที่ทางช่องระบายอากาศนั้นเกิดจากเมื่อทำการ Feed สารละลายตั้งต้นเข้าไปในถังหมักจะทำให้แกลบดันขึ้นไปด้านบนบวกกับมีแกลบที่เล็ดลอดออกจากผ้าตาข่ายที่กั้นไว้ทำให้เกิดการอุดตันบริเวณช่องทางออก และที่ช่องทางออกมีขนาดความกว้างที่น้อยและอยู่ใกล้กับบริเวณช่องรูระบายอากาศ น้ำหมักจึงไหลขึ้นสู่ด้านบนสุดและออกทางช่องรูระบายอากาศ สำหรับในกรณีที่ที่เกิดรอยรั่วนั้นเกิดจากการติดกาวที่ข้อต่อไม่แน่นพอ ทำให้น้ำเกิดการรั่วซึม



(ก) แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(ข) แสดงปั๊ม Peristaltic ที่ใช้ในการทดลอง



(ค) เกิดน้ำล้นออกที่ช่องรูระบายอากาศ

(ง) ใช้ Cilicone มาอุดรอยรั่ว

ภาพที่ 4.3 แสดงกระบวนการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 1 (ท่อ PVC)

4.5 ผลทดลองการหาค่า Retention Time และ Dilution rate ในต้นแบบถังหมักที่ 2

4.5.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลอง Retention Time(h)

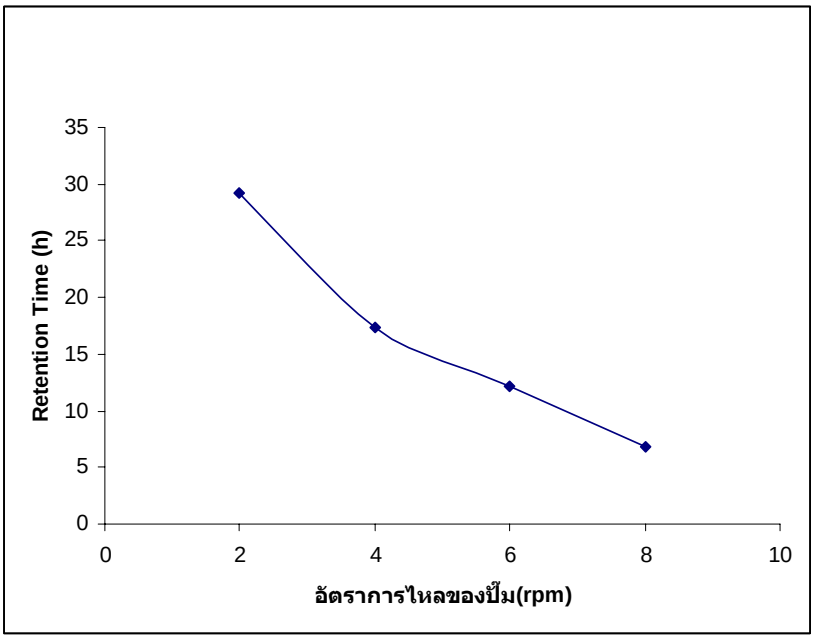
อัตราการไหล(rpm)	ครั้งที่1 (ml/20min)	ครั้งที่2 (ml/20min)	เฉลี่ย (ml/20min)	คิดเป็น (ml/min)	Retention Time(h)
2	80	77	78.50	3.92	29.28
4	134	130	132	6.6	17.39
6	188	191	189.50	9.47	12.12
8	335	344	339.50	16.97	6.76

ค่า Retention Time (RT) จะคิดที่ปริมาตรของน้ำที่สามารถบรรจุในต้นแบบถังหมักที่ 2 คือ 6,887.55 มิลลิลิตรหรือ ประมาณ 6.89 ลิตร

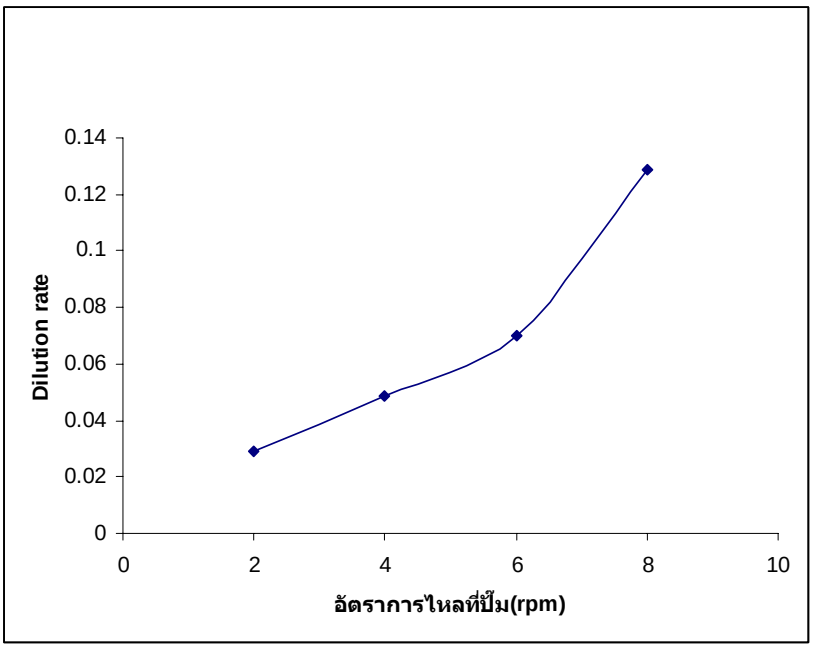
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองค่า Dilution rate (D)

อัตราการไหล(rpm)	ครั้งที่1 (ml/20min)	ครั้งที่2 (ml/20min)	เฉลี่ย (ml/20min)	คิดเป็น (ml/min)	Dilution rate
2	80	77	78.50	3.92	0.02887
4	134	130	132	6.6	0.04887
6	188	191	189.50	9.47	0.07012
8	350	344	347	17.35	0.12847

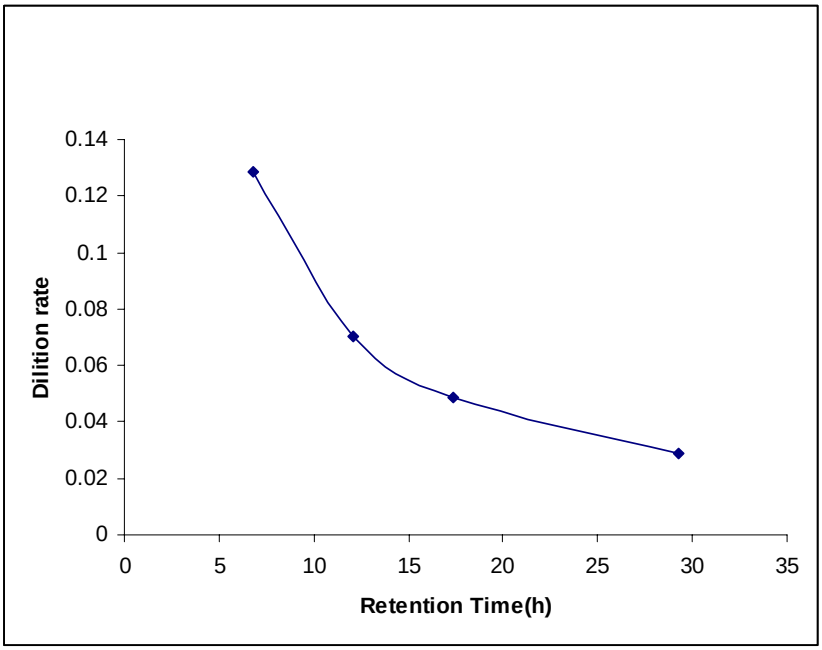
ค่า Dilution rate(D) จะคิดที่ปริมาตรของถังหมักที่สามารถบรรจุในต้นแบบถังหมักที่ 2 คือ 8,103 มิลลิลิตร (8.10 ลิตร)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)กับค่า Retention Time(h)



รูปที่ 4.5ความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)กับค่า Dilution rate



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่า Retention Time(h) กับค่า Dilution rate

4.5.2 สรุปผลการทดลอง

จากกราฟผลการทดลองทั้ง 3 กราฟแสดงค่า Retention Time (h) และค่า Dilution rate ที่ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลต่างๆ (2, 4, 6 และ 8 rpm) กราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า Retention Time (h) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่ออัตราการไหล (rpm)เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถทำนายคาดการณ์ระยะเวลาที่ทำการ feed สารละลายตั้งต้น (น้ำตาล)ในแต่ละอัตราการไหลนั้นๆจะบรรจุได้เต็มถังหมักใช้เวลานานเท่าไหร่ เพื่อทำการเก็บตัวอย่างและปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอื่นๆที่ถูกต้องต่อไป ส่วนค่า Dilution rate นี้จะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นค่า Dilution rate ยิ่งสูงมากๆจะอยู่ที่อัตราการไหลที่สูงเช่นกัน ค่า Dilution rate จะนำไปประกอบการวิเคราะห์กับน้ำตาลและเอทานอล เพื่อบ่งบอกว่าเซลล์ยีสต์สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมและเต็มประสิทธิภาพที่อัตราการไหลเท่าไร โดยที่เซลล์ยีสต์นั้นยังคงอยู่ในสภาวะเดิมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

4.6 ผลการทดลองการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 2 (ท่อใส) ครั้งที่ 1 ใช้สูตรอาหาร YPD

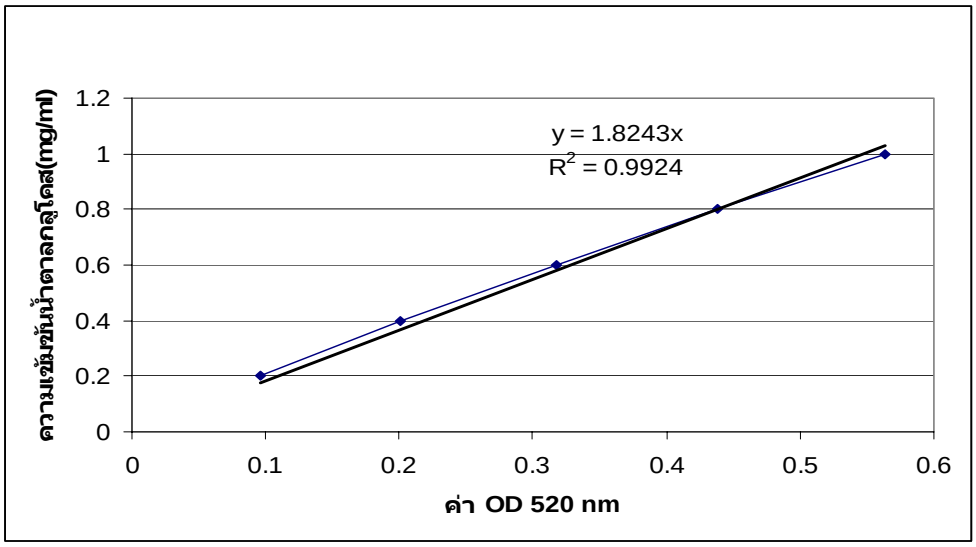
4.6.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองหาค่าน้ำตาลที่ได้จากการหมัก ครั้งที่ 1

ความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคส (mg/ml)		ปริมาณน้ำตาลกลูโคส g/L ครั้งที่ 1	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส g/L ครั้งที่ 2	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส g/L เฉลี่ย
Standard	0.2	0.1003	0.0924	0.0964
	0.4	0.1966	0.2040	0.2003
	0.6	0.3135	0.3211	0.3173
	0.8	0.4451	0.4318	0.4385
	1	0.5730	0.5545	0.5638
สารละลายที่ได้ในการทดลอง	12% ก่อนหมัก	0.4328	0.4437	0.4383
	12% (4 rpm)	0.2084	0.3194	0.2639
	12% (6 rpm)	0.3344	0.2922	0.3133
	12% (8 rpm)	0.2616	0.3301	0.2959
	24% ก่อนหมัก	1.0806	1.0652	1.0729
	24% (4 rpm)	0.3292	0.8307	0.5800
	24% (6 rpm)	0.6674	0.7830	0.7252

เมื่อนำข้อมูลจากสาร Standard ไปพล๊อตกราฟหาสมการ Standard เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหาค่าน้ำตาลที่ได้ในการทดลองนี้ต่อไป โดยสมการที่ได้จากกราฟคือ

สมการ Standard = 1.8243x(ค่าน้ำตาลที่ได้จากการทดลอง)

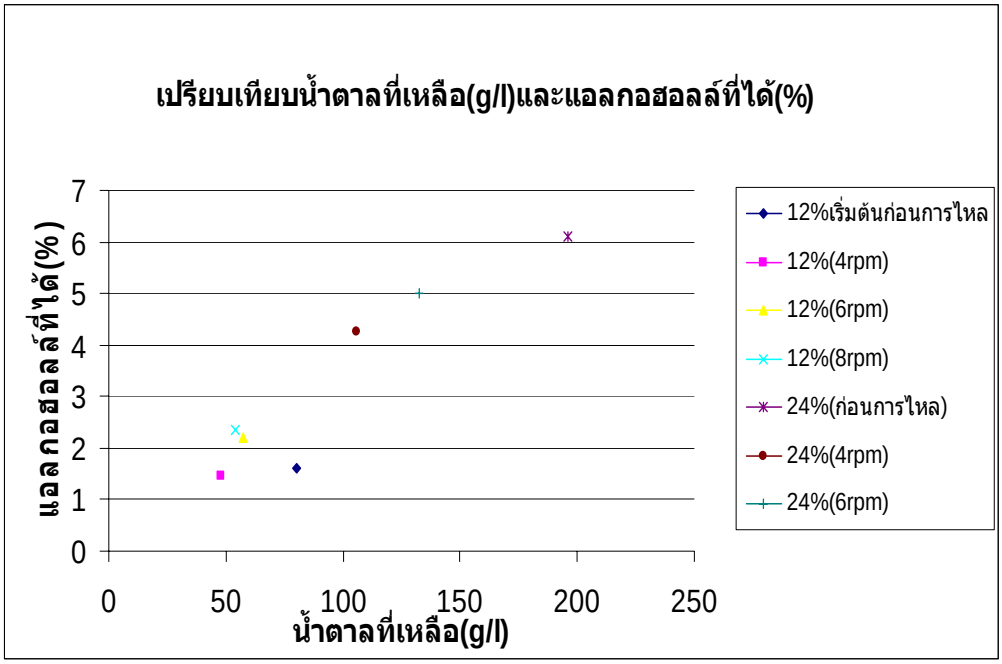


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสจากสาร Standard และสมการ Standard

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองหาค่าน้ำตาลและเอทานอลที่ได้จากการหมัก ครั้งที่ 1

ความเข้มข้นของน้ำตาลในอาหาร		น้ำตาลที่เหลือ(g/l)	แอลกอฮอลล์ที่ได้(%)
12%	เริ่มต้นก่อนทำการไหล	79.95	1.60
	3.92 ml/min	48.14	1.45
	6.60 ml/min	57.16	2.20
	9.47 ml/min	53.97	2.35
24%	เริ่มต้นก่อนทำการไหล	195.73	6.10
	3.92 ml/min	105.80	4.25
	6.60 ml/min	132.30	5.00

เนื่องจากสารละลายผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ ก่อนนำมาหาน้ำตาลต้องทำการเจือจางที่ 100 เท่าจึงนำ 100 ไปคูณกับค่าน้ำตาลที่หาได้ก่อน ส่วนค่าแอลกอฮอลล์(เอทานอล)ที่ได้ออกมาก็หาสมการ Standard เช่นเดียวกันแล้วจึงนำค่าแอลกอฮอลล์ที่หาได้มาแทนลงในสมการ Standard แล้วจึงนำมาคูณกับค่าที่ทำการเจือจางที่กี่เท่านั้นๆ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความเข้มข้นน้ำตาลที่เหลือกับค่าแอลกอฮอลล์(เอทานอล)ที่ได้

4.6.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ข้อมูลหลายอย่างขัดกับทฤษฎีอยู่มาก เช่น ช่วงที่มีการตรึงเซลล์ตามทฤษฎีแล้วควรเป็นช่วงเวลาที่มีปริมาณเอทานอลมากที่สุด แต่จากการทดลองพบว่า ได้ปริมาณเอทานอลเกือบจะน้อยที่สุด และในส่วนของปริมาณน้ำตาลก็ได้ผลขัดแย้งกับทฤษฎีเช่นกัน

เราคาดว่าเนื่องมาจากความผิดพลาดในส่วนของเวลาในการเก็บตัวอย่างการทดลอง โดยไม่ได้ทำตามเวลา Retention Time อย่างเคร่งครัด

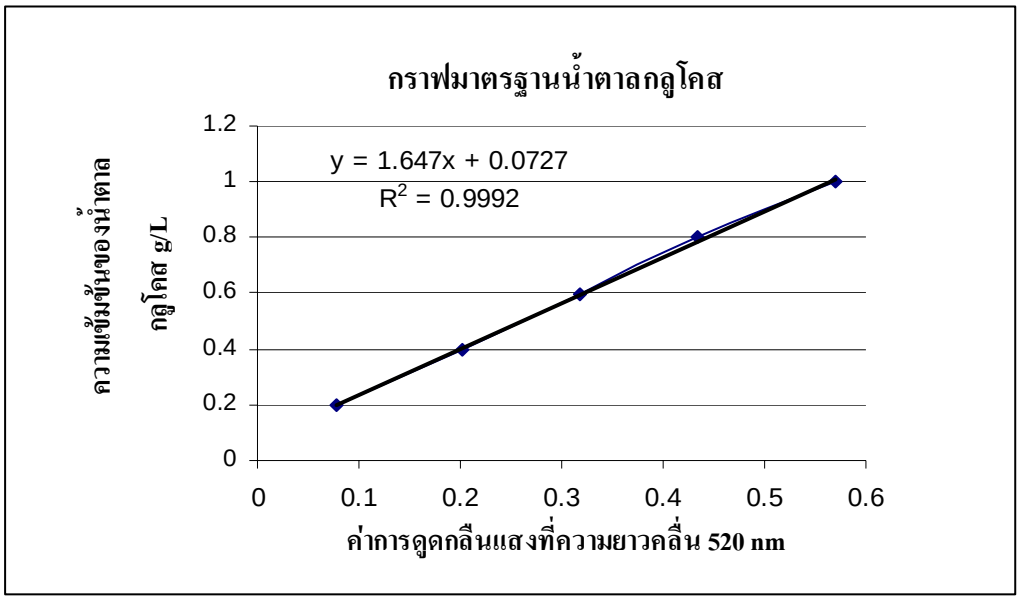
แต่จากผลการทดลองเราได้ผลสรุปที่สามารถเชื่อถือได้หนึ่งประการก็คือ ที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้น 12 % ยังมีน้ำตาลเหลืออยู่เพียงพอ ดังนั้นที่ความเข้มข้น 24 % ก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาอีกต่อไป เนื่องจากถือว่าเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า ดังนั้นเพื่อข้อมูลที่ถูกต้องจึงทำการหมักครั้งที่สองโดยไม่ใช้ความเข้มข้น 24 % อีก

4.7 ผลการทดลองการหมักในต้นแบบถังหมักที่ 2 (ท่อใส) ครั้งที่ 2 ใช้สูตรอาหาร YSM

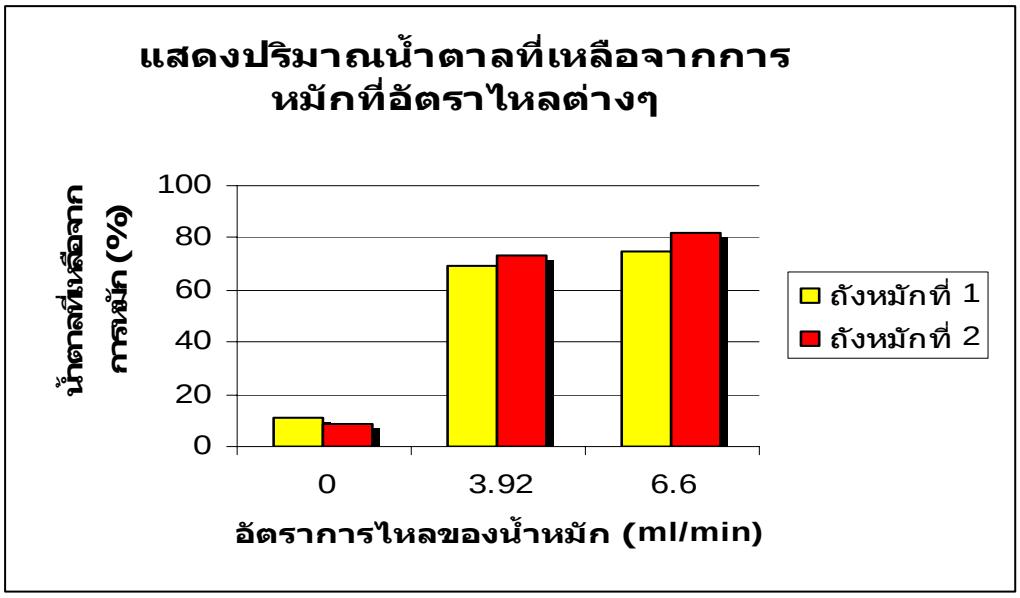
4.7.1 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองหาค่าน้ำตาลที่ได้จากการหมัก ครั้งที่ 2

อัตราการไหล (rpm)	ถังที่	ปริมาณน้ำตาลกลูโคส g/L		ปริมาณน้ำตาลกลูโคส g/L เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
น้ำหมัก 12%	ก่อนหมัก	98.96	97.89	97.89 ± 1.51
0 ml/min	1	10.28	10.71	10.71 ± 0.61
	2	8.13	8.47	8.47 ± 0.49
3.92 ml/min	1	67.42	68.35	68.35 ± 1.32
	2	70.65	72.01	72.01 ± 1.93
6.60 ml/min	1	71.60	74.24	74.24 ± 3.73
	2	77.71	80.23	80.23 ± 3.56



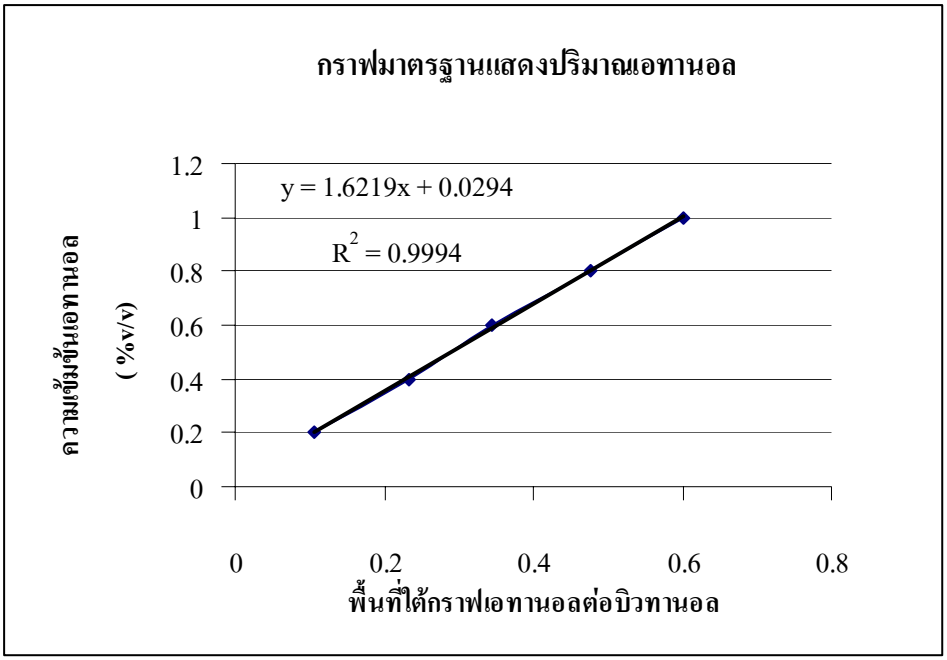
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสจากสาร Standard และสมการ Standard



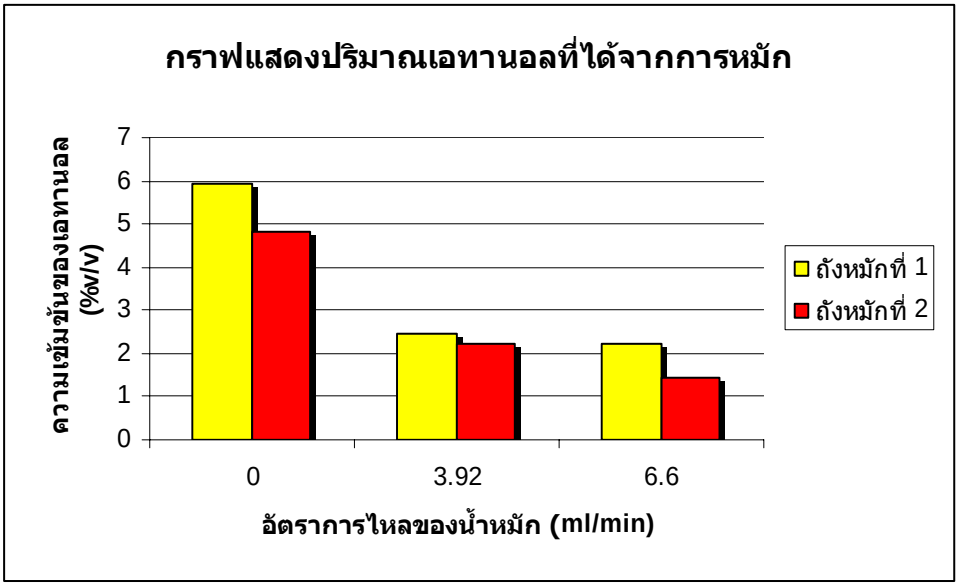
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแท่งความเข้มข้นน้ำตาลกลูโคสที่เหลือ

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณเอทานอลที่ได้จากการทดลอง

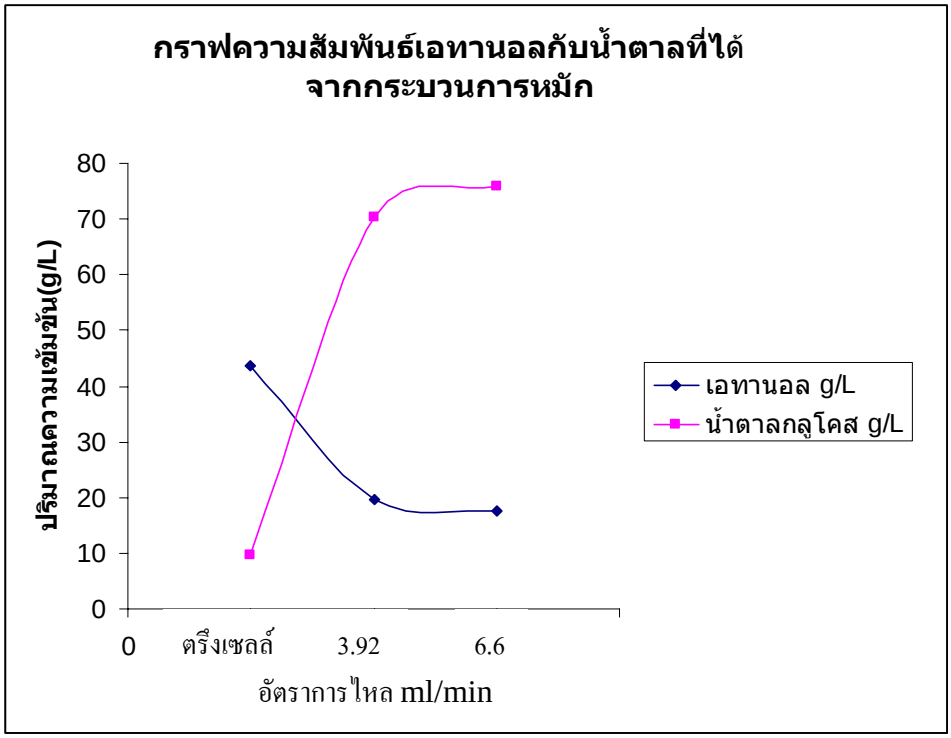
อัตราการไหล(rpm)	ถังที่	ปริมาณเอทานอล %v/v	ปริมาณเอทานอล g/L
น้ำหมัก 12%	ก่อนหมัก	0	0
0 rpm	1	5.97	47.13 $\pm$ 0.34
	2	4.83	38.15 $\pm$ 0.22
2 rpm	1	2.48	19.58 $\pm$ 0.04
	2	2.24	17.70 $\pm$ 0.09
4 rpm	1	2.24	17.67 $\pm$ 0.02
	2	1.43	11.25 $\pm$ 0.15



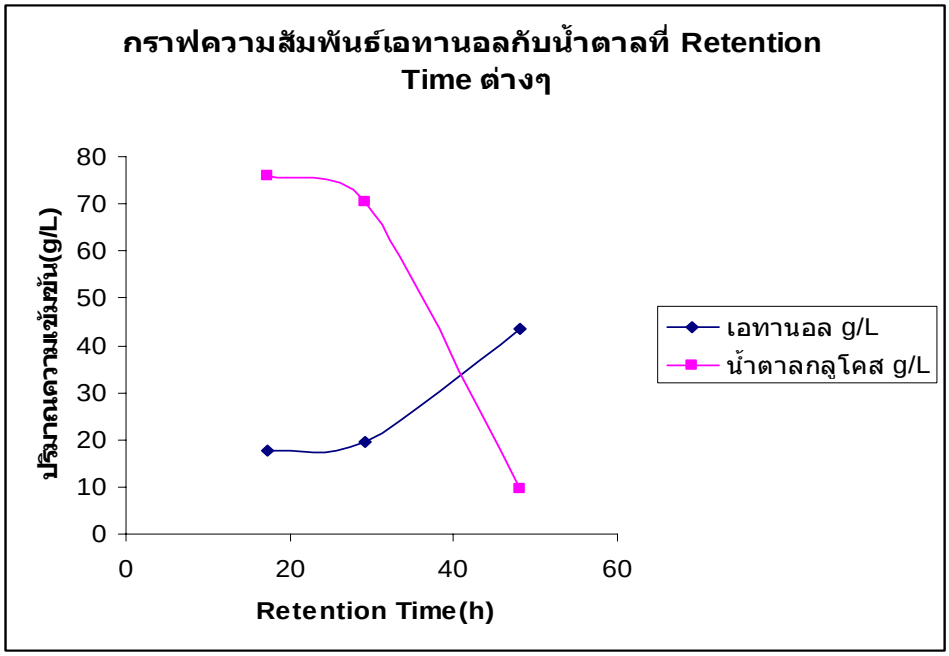
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณเอทานอลของสาร Standard และสมการ Standard



รูปที่ 4.12 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณเอทานอล(%v/v)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความเข้มข้นน้ำตาลที่เหลือกับค่าแอลกอฮอลล์(เอทานอล)ที่ได้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความเข้มข้นน้ำตาลที่เหลือกับเอทานอลที่ Retention Time(h)

4.7.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้น้ำหมัก YSM ที่มีปริมาณน้ำตาลทรายเท่ากับ 120 กรัมต่อลิตรหมักเอทานอลในถังหมักที่ 2 พบว่า การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสหรือน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำหมักเริ่มแรกมีค่าเท่ากับ 97.89±1.51 กรัมต่อลิตร และเมื่อทำการทดลองหมักเอทานอลแบบกะ พบว่า ปริมาณน้ำตาลที่เหลือและปริมาณเอทานอลที่ได้เท่ากับ 10.71±0.61 กรัมต่อลิตร และ 47.13± 0.34 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 1 และ 8.47±0.49 กรัมต่อลิตร และ38.15± 0.22 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 2 ตามลำดับ

ที่อัตราการไหลที่ปรับให้มีค่าการไหลของปั๊มเท่ากับ 2 rpm ปริมาณน้ำตาลที่เหลือและปริมาณเอทานอลที่ได้เท่ากับ 68.35±1.32 กรัมต่อลิตร และ 19.58±0.04 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 1 และ 72.01±1.93 กรัมต่อลิตร และ 17.70±0.09 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 2 ตามลำดับ

ที่อัตราการไหลที่ปรับให้มีค่าการไหลของปั๊มเท่ากับ 4 rpm ปริมาณน้ำตาลที่เหลือและปริมาณเอทานอลที่ได้เท่ากับ 74.24±3.73 กรัมต่อลิตร และ 17.67±0.02 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 1 และ 80.23±3.56 กรัมต่อลิตร และ 11.25±0.15 กรัมต่อลิตร ในถังหมักที่ 2 ตามลำดับ

จากกราฟผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 12% ในสารละลายตั้งต้นจะให้เอทานอล1.4- 2.5 % และปริมาณน้ำตาลจากสารละลายตั้งต้นมีน้ำตาลที่ 120 g/L เมื่อผ่านกระบวนการหมักเอทานอลจะเหลือน้ำตาลอยู่ 70-75 g/L ซึ่งทำให้เราต้องมาวิเคราะห์หา ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 12% ในสารละลายตั้งต้น ที่อัตราการไหลหรือ Retention Time ที่ได้จากกราฟพบว่าแนวโน้มปริมาณน้ำตาลในสารละลายตั้งต้นที่ อัตราการไหล 3.92 ml/min มีน้ำตาลที่เหลือน้อยกว่า อัตราการไหล 6.6 ml/min ส่วนปริมาณเอทานอลนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก