



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การผลิตเอทานอลโดยการหมักร่วมระหว่างน้ำตาลทรายดิบ
และน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง

ETHANOL FERMENTATION FROM CO-SUBSTRATE OF RAW SUGAR
AND CASSAVA STARCH HYDROLYSATE

นางสาวภานพร ขจรกลาง

นางสาวรัชณีกร ไตรเทพโพธิ์

นายอาสนะ สุพรรณ

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

2563



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การผลิตเอทานอลโดยการหมักร่วมระหว่างน้ำตาลทรายดิบ
และน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง

ETHANOL FERMENTATION FROM CO-SUBSTRATE OF RAW SUGAR
AND CASSAVA STARCH HYDROLYSATE

นางสาวภานพร ขจรกลาง

นางสาวรัชนิกร ไตรเทพโพธิ์

นายอาสนะ สุพรรณ

โครงการสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

2563

หัวข้อรายงาน	การผลิตเอทานอลโดยการหมักร่วมระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)
ผู้จัดทำ	นางสาวกานพร ขจรกลาง รหัสนักศึกษา 6040201111 นางสาวรัชนิกร ไตรเทพโพธิ์ รหัสนักศึกษา 6040201113 นายอาสนะ สุพรรณ รหัสนักศึกษา 6040201124
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ ธนะมูล
พนักงานที่ปรึกษา	นางสาวจันทร์พิมพ์ แซ่ก้วย

บทคัดย่อ

การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลทรายดิบร่วมกับน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง เพื่อเป็นทางเลือกเสริมในการผลิตเอทานอลของโรงงาน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (80 : 20 และ 70 : 30) และความเข้มข้นของน้ำตาล (18 และ 20) ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ผลผลิตเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักน้ำตาลทรายดิบร่วมกับน้ำย่อยจากมันสำปะหลังที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองคือที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70 : 30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 ให้ปริมาณเอทานอลได้สูงสุดเท่ากับ 10.09 โดยปริมาตร ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 19.27 กรัมต่อลิตร และเวลาที่ใช้ในการทดลอง 144 ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้เข้ามาฝึกปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา บริษัทไทยเอทานอลพาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) ในแผนกควบคุมคุณภาพ ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 จนถึงวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2564 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่าง ๆ และการปรับตัวเข้ากับสังคม และผู้ร่วมงานในสถานประกอบการ ซึ่งนับเป็นประสบการณ์ที่มีค่ายิ่งสำหรับข้าพเจ้า รายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคลากรหลาย ๆ ฝ่าย ข้าพเจ้าในฐานะผู้จัดทำรายงานขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับบุคคลต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ นางสาวจันทร์พิมพ์ แซ่ก้วย หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ และเจ้าหน้าที่ในแผนกควบคุมคุณภาพทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวคิดที่เป็นประโยชน์ ชี้แนะแนวทางการความรู้และแนวทางแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดโครงการ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ ธนะมูล อาจารย์นิเทศสหกิจศึกษา รวมไปถึงคณาจารย์สาขาวิชาเคมี และคณะกรรมการสหกิจศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในปฏิบัติการ ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องของการเขียนเล่มรายงาน ขอขอบพระคุณครอบครัวและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการแก้ไขปัญหาตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จลงด้วยดี

ภานพร ขจรกลาง

รัชนิกร ไตรเทพโธ

อาสนะ สุพรรณ

2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการทำงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการทำงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงาน	2
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารหรืองานวิจัย	
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	15
3.2 สารเคมี	15
3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลการศึกษาผลผลิตเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักระหว่างน้ำตาล ทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง	18
4.2 ผลการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการ หมักระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง โดยอาศัยวิธีทาง สเปกโทรโฟโตเมทรี	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	41
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก ก	44
ภาคผนวก ข	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มั่นสำปะหลัง	3
2.2 โครงสร้างเอทานอล	4
2.3 รูปแผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยในโรงงาน	6
2.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร	10
2.5 เครื่องยู่วี-วิสิเบิล สเปกโทรมิเตอร์	11
2.6 กล้องจุลทรรศน์	13
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 70:30	19
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 70:30	19
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 80:20	21
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 80:20	21
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม	22
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม	23
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม	24
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วน 70:30	25
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้น เริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30	26
4.11 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วน 80:20	27
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 80:20	28
4.13 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลทรายดิบที่ใช้เป็นตัวควบคุม	29
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้น เริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100	30
4.15 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำย่อยจากมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวควบคุม	31
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำย่อยมันสำปะหลังที่อัตราส่วนร้อยละ 100	32
4.17 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18	33
4.18 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20	33
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30	34

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่	
4.20 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18	35
4.21 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20	35
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้น เริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30	36
4.23 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18	37
4.24 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20	37
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้น เริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100	38
4.26 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18	39
4.27 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20	39
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100	40

บทที่ 1

บทนำ

ชื่อสถานประกอบการ	บริษัทไทยเอทานอล พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่เลขที่ 88 หมู่ที่ 6 ถนนมิตรภาพ ตำบลโนนศิลา อำเภอโนนศิลา จังหวัดขอนแก่น 40110
ลักษณะการประกอบการ	ผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5%
ตำแหน่งงานที่ได้รับมอบหมาย	นักศึกษาฝึกงานแผนกควบคุมคุณภาพ
พนักงานที่ปรึกษา	นางสาวจันทร์พิมพ์ แซ่ก๊วย หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญในการทำงาน

เอทานอล (Ethanol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการหมักพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย น้ำตาล กากน้ำตาล กากอ้อย แป้งมันสำปะหลัง มันเทศ ข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และข้าวฟ่าง เป็นต้น ผ่านกระบวนการย่อยสลายและการหมัก เพื่อเปลี่ยนแปลงจากพืชให้เป็นน้ำตาลและเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ เมื่อทำให้เป็นแอลกอฮอล์มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่น จะเรียกว่า เอทานอล ซึ่งเอทานอลสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้การแปรสภาพเอทานอล มีการแปรสภาพหลายประเภท อาจจะไม่ได้ออกแปรสภาพด้วยน้ำมันเบนซินเหมือนกับเอทานอลที่จะนำไปใช้ทำน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น อาจถูกแปรสภาพด้วยการใส่ส่วนผสมทำให้ยังสามารถนำไปล้างเครื่องจักรอาหาร หรือทำเจลล้างมือได้ เป็นต้น

ปัจจุบันมันสำปะหลังซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลของโรงงานค่อนข้างขาดแคลน เนื่องจากเกิดปัญหาภัยแล้งและปัญหาทางเศรษฐกิจที่ส่งผลให้ราคาของมันสำปะหลังตกต่ำ จากเหตุผลดังกล่าวกลุ่มผู้วิจัยจึงสนใจนำน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อเป็นทางเลือกเสริมในการผลิตเอทานอลของโรงงาน โดยมีปัจจัยในการทดลองครั้งนี้ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง ความเข้มข้นของน้ำตาล และเวลาในการหมักเอทานอล

1.2 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติงาน

1.2.1 เพื่อใช้น้ำตาลทรายดิบเป็นทางเลือกสำหรับทดแทนมันสำปะหลังหากขาดแคลน

1.3 ขอบเขตของการทำงาน

1.3.1 การปฏิบัติงานในครั้งนี้ ได้ดำเนินงานในแผนกควบคุมคุณภาพ บริษัทไทยเอทานอล พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) ตั้งแต่วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 จนถึงวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2564

1.3.2 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบกับน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง ความเข้มข้นของน้ำตาล และเวลาในการหมักเอทานอล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการปฏิบัติงาน

1.4.1 ได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารหรืองานวิจัย

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 มันสำปะหลัง

ชื่อสามัญ : Tapioca Plant Cassava, Manioc

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Manihot esculenta* Crantz

ชื่อวงศ์ : Euphorbiaceae

ชื่ออื่นๆ : มันสำโรง (กลาง) ตางนอย ตางบาน (ภาคเหนือ) มันตัน มันไม้ (ภาคใต้) มันหัว

(พังงา)



รูปที่ 2.1 มันสำปะหลัง

ที่มา: <https://medthai.com/มันสำปะหลัง>

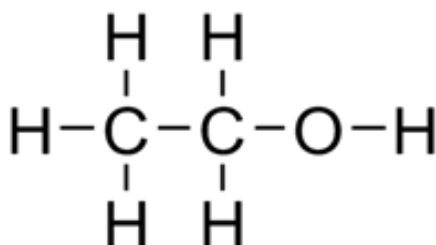
มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา และฮอลแลนด์ เข้ามาในทวีปเอเชียเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2283 ซึ่งเริ่มปลูกมันสำปะหลังในมอริเชียสโดยชาวฮอลแลนด์ ต่อมาถูกนำเข้ามาในฟิลิปปินส์และสิงคโปร์ ประมาณ พ.ศ. 2383 และเริ่มมีการนำมาทำเป็นแป้งมันสำปะหลังในสิงคโปร์เมื่อปี พ.ศ. 2389 สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานแน่นอนว่ามีการนำเข้ามาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงจะเข้ามาในระยะเดียวกันกับที่เข้ามาสู่ศรีลังกา ฟิลิปปินส์ ราว พ.ศ. 2329 ถึง 2383 เดิมทีเรียกว่า ในสำโรง มันไม้ ต่อมาได้มีการเปลี่ยนชื่อมาเรียกว่า มันสำปะหลัง และในต่างประเทศก็มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่ม มีอายุอยู่ได้หลายปี ความสูงของต้นจะมีความสูงแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์และสภาพแวดล้อม บางที่อาจมีลำต้นสูงประมาณ 1 ถึง 5 เมตร ตลอดลำต้นมียางสีขาว มีใบลักษณะเป็นแฉก 3 ถึง 9 แฉก ใบเป็นแบบปาล์ม มีช่อดอกขนาดเล็ก ๆ มีทั้งดอกตัวผู้และตัวเมีย แต่จะอยู่แยกดอกกัน มีผลเป็นแบบแคปซูล โตเต็มที่ขนาดประมาณครึ่งนิ้ว ผลแก่เต็มที่เมื่อมีอายุ 2 ถึง 3 เดือน เม็ดมีสีน้ำตาลลายตัว มีรากจำนวนมาก ทั้งรากจริง (true or wiry roots) และรากสะสมอาหาร (modified or storage roots) โดยทั่วไปมีหัวประมาณ 5 ถึง 15 หัวต่อต้น มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 ถึง 15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สามารถเพาะปลูกได้ในดินแทบทุกชนิด แต่ลักษณะดินที่ชอบคือดินเหนียวปนทราย และมีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้สูง

มันเส้น (Cassava ship) เกิดจากการนำหัวมันสดไปล้างแล้วนำเข้าเครื่องสับหรือหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้งประมาณ 2 ถึง 3 วัน โดยต้องมีการใช้คราดหรือรถแทรกเตอร์ในการกลับมันเส้นทุก ๆ 1 ถึง 2 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นระเหยอย่างทั่วถึงโดยมันเส้น 1 กิโลกรัม จะมีความชื้นมาตรฐานประมาณร้อยละ 14 ใช้หัวมันสด 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม (ปริมาณแป้งร้อยละ 25) (สมาคมมันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2545)

2.1.2 เอทานอล

เอทานอลหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เอทิลแอลกอฮอล์ มีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH มีจุดเดือดประมาณ 78 องศาเซลเซียส คุณสมบัติโดยทั่วไปเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์ขึ้นและช่วยลดมลพิษทางอากาศ โดยลดปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนคาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ (ที่มา: http://www.lannar.com/main/?page_id=53)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเอทานอล

ที่มา: <https://www.siamchemi.com/สูตรเคมี>

2.1.3 เทคโนโลยีและกระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

กระบวนการผลิตเอทานอล ประกอบด้วย กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมักและการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอล และการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ถ้าเป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลัง และธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อย แป้งหรือเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาล หรือน้ำอ้อย เมื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วสามารถนำไปหมักได้ ในกระบวนการหมัก จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้ชนิดของ เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมักจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักคือ เอธิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 ถึง 12 โดยปริมาตร น้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักจะนำมาแยกเอทานอลออกโดยใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธีในการแยกน้ำโดยการใช้อนุภาคซีฟ (molecular sieve separation) เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 จะผ่านเข้าไปในหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ ทำให้เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้จะถูกรีเจนเนอเรตโดยการไล่น้ำออก เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) และใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้กับเครื่องยนต์โดยการเปลี่ยนรูปเอทานอลมาเป็นสาร ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether)

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในประเทศไทยจะใช้วัตถุดิบทั้งประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลัง และประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลจากอ้อยเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ขั้นตอนการผลิตหลัก ๆ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

2.1.3.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก ก่อนการหมักจะขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ ถ้าเป็นวัตถุดิบที่ เชื้อจุลินทรีย์สามารถใช้อย่างง่าย การจัดเตรียมก็ทำได้ง่าย เช่น กากน้ำตาล เพียงเจือจางวัตถุดิบด้วยน้ำเพื่อ ปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมต่อการทำงานของยีสต์ (กรณีการหมักแบบครั้งคราว จะอยู่ระหว่าง 18 ถึง 25 องศาบริกซ์) แล้วก็สามารถนำไปหมักได้ แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นวัตถุดิบที่ใช้อย่างยาก เช่น หัวมัน สำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทแป้งหรือชานอ้อยซึ่งเป็นวัตถุดิบประเภทเส้นใยเซลลูโลสจะต้องนำวัตถุดิบไป ผ่านกระบวนการลดขนาดเชิงกลด้วยการหั่น ตัด หรือบด ด้วยเครื่องจักรและอาจมีการใช้ความร้อนร่วมด้วย เพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เหมาะต่อการนำไปย่อยให้เป็นน้ำตาลด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ (น้ำย่อย) แล้วเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไป

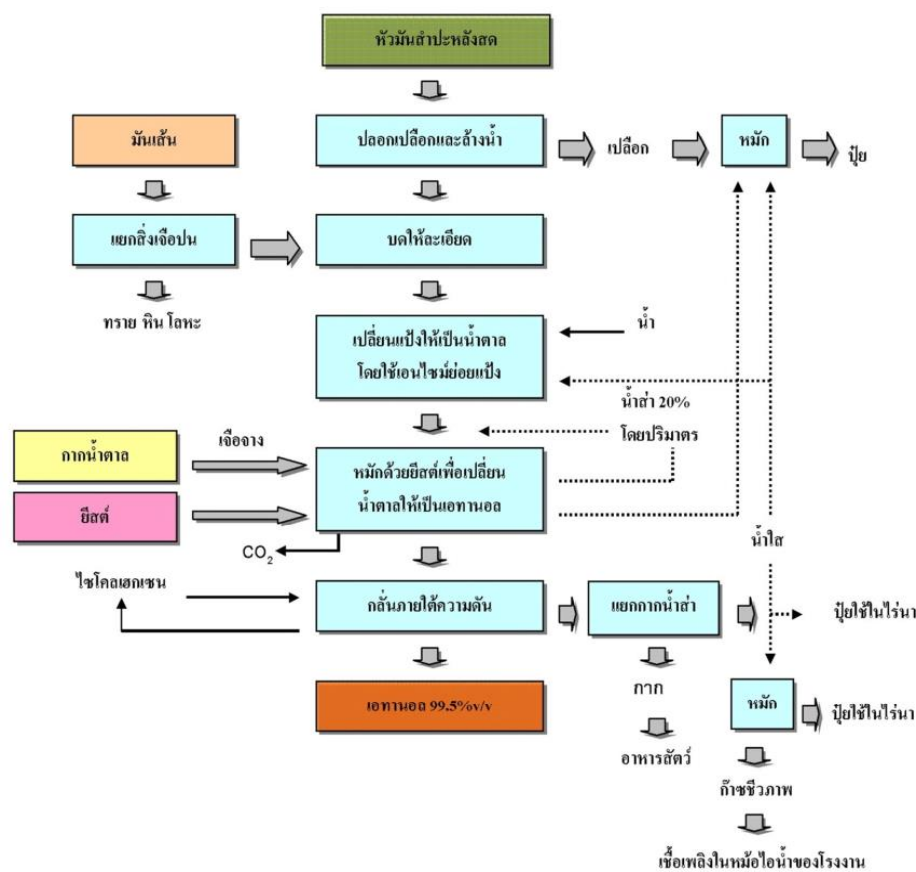
ส่วนกระบวนการทางเคมีและชีวเคมี เพื่อเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือกลูโคส ที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 วิธีการ คือ

วิธีการที่ 1 Acid hydrolysis ซึ่งเป็นวิธีการใช้กรดย่อยแปง

วิธีการที่ 2 Enzymatic hydrolysis เป็นวิธีการใช้เอนไซม์ในการย่อยแปง

การใช้เอนไซม์ในการย่อยแปงจะเป็นที่นิยมมากกว่าเนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและประหยัด ในเรื่องของต้นทุน รวมทั้งไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้หัวมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจะใช้เอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่

1. แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Liquefaction
2. กลูโค-อะไมเลส หรือเบตา-อะไมเลส (Glucoamylase or β -amylase) ในขั้นตอนที่เรียกว่า Saccharification



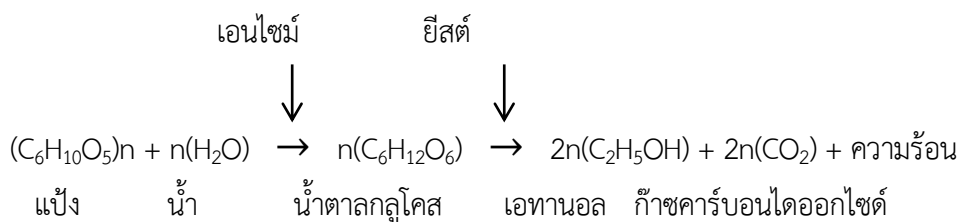
รูปที่ 2.3 รูปแผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยในโรงงาน

ที่มา: การศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลของสหรัฐอเมริกาและไทย, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงพลังงาน, กุมภาพันธ์ 2551

2.1.3.2 การเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) และการหมัก (Fermentation)

1) การเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อเพื่อให้ได้เชื้อจุลินทรีย์ที่แข็งแรงและมีปริมาณมากเพียงพอสำหรับการหมัก รวมทั้งต้องปราศจากการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ เมื่อเตรียมหัวเชื้อเรียบร้อยแล้วจึงถ่ายลงในถังหมักผสมกับวัตถุดิบ จากนั้นทำการปรับและควบคุมสภาวะของการหมัก เช่น อัตราการให้อากาศ (aeration rate) อัตราการกวน (agitation rate) ค่าความเป็นกรดเบส (pH) และอุณหภูมิในระหว่างการหมัก ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของการหมัก ชนิดของผลิตภัณฑ์ และชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ เชื้อยีสต์ที่นำมาใช้จะเป็นยีสต์สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว เช่น *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งใช้ในการหมักหัวมันสำปะหลัง เป็นต้น เมื่อใช้วัตถุดิบต่างประเภทกัน ปกติจะใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันด้วย อย่างไรก็ตามขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อไม่จำเป็นต้องมีหากมีการนำเอาเชื้อยีสต์แห้ง (dried yeast หรือ powder yeast) มาใช้แทน โดยการนำเชื้อยีสต์แห้งในปริมาณที่ต้องการผสมกับวัตถุดิบ (น้ำตาล) ในถังหมักได้เลยเมื่อเตรียมวัตถุดิบพร้อมแล้วนำมาถ่ายลงในถังหมัก (Fermentor) วัตถุดิบจำเป็นต้องผ่านหรือไม่ผ่านขั้นตอนการฆ่าเชื้อหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของการหมักและวัตถุดิบที่ใช้ เช่น กากน้ำตาลสามารถนำไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้โดยไม่ต้องทำการฆ่าเชื้อก่อน เป็นต้น

2) การหมัก (Fermentation) ขั้นตอนการหมักเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของเชื้อยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส ภายใต้สภาพที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยทั่ว ๆ ไป การหมักแบบครั้งคราว (batch fermentation) จะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 3 วัน เพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 8 ถึง 12 โดยปริมาตร ซึ่งตามทฤษฎียีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นแอลกอฮอล์ได้ร้อยละ 51.1 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 48.9 โดยน้ำหนัก และมีความร้อนเกิดขึ้นด้วย ดังสมการเคมีที่แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงเป็นเอทานอล



2.1.3.3 การแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์

เป็นขั้นตอนในการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 ถึง 12 โดยปริมาตร ออกจากน้ำหมักหรือน้ำสาโดยใช้กระบวนการทางเคมีได้แก่ กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร (ในทางปฏิบัติจะเรียกว่าเอทานอลร้อยละ 95) การกลั่นที่ความดันบรรยากาศจะไม่สามารถผลิตเอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงกว่านี้ได้ เนื่องจากเกิดองค์ประกอบที่เป็นของอะซีโอโทรป (Azeotropic mixture) หรือของผสมของสารที่มีจุด

เดือดคงที่ แต่สำหรับการนำไปใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงจะต้องทำให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้นที่ระดับไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร มีชื่อเรียกว่า เอทานอลไร้น้ำ (Anhydrous หรือ Absolute ethanol) ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นๆ มาช่วยแยกเอทานอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 95.6 โดยปริมาตร กรรมวิธีหรือเทคโนโลยีในการแยกน้ำ เพื่อผลิตเอทานอลไร้น้ำที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ประเภท ประกอบด้วย

1) กระบวนการแยกด้วยวิธีกลั่นสกัดแยกกับสารตัวที่สาม (extractive distillation with the third component) วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมาเป็นเวลานาน ปัจจุบันก็ยังใช้กันในเชิงพาณิชย์อยู่ แต่ได้มีการปรับเปลี่ยนสารตัวที่สามจากตัวเดิมที่ใช้สารเบนซีน (Benzene) มาใช้สารไซโคลเฮกเซน ซึ่งมีอันตรายน้อยกว่า

2) กระบวนการแยกด้วยวิธีเมมเบรน (membrane pervaporation) ซึ่งจะใช้เยื่อหุ้มบางมาเป็นตัวซึมผ่านและระเหยกลายเป็นไอเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล

3) กระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลกุลซีฟ (molecular sieve separation) โดยการให้เอทานอลมีน้ำ (hydrous ethanol) ผ่านวัสดุที่มีรูพรุนสูง เช่น ซีโอไลต์ เพื่อให้รูพรุนนั้นดักเอาน้ำออก โดยทั้ง 3 กระบวนการ ดังกล่าวมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป การพิจารณาเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์เอทานอลที่ได้รับว่าจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทใด อย่างไรก็ตามกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอลของไทยคือ กระบวนการแยกด้วยวิธีโมเลกุลซีฟ

2.1.4 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรสามารถแบ่งตามกลุ่มพืชผลการเกษตรที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

2.1.4.1 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทน้ำตาล (Sugar) ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล และผักกาดหวาน (Sugar beet) ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้เลยโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ โดยวัตถุดิบเหล่านี้จะมีน้ำตาลซูโครส (Sucrose) เป็นองค์ประกอบหลัก โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส และสมการเปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพื่อใช้ในการหมัก

2.1.4.2 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้ง (Starch) ได้แก่ มันสำปะหลัง (รวมทั้งมันเส้น) ธัญพืช และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยแป้งจะเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อนำมาผ่านกระบวนการย่อยจะได้น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่การหมักในกระบวนการผลิตเอทานอลนั้น แป้งในวัตถุดิบจะต้องถูกย่อยให้ได้น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน ยีสต์จึงจะสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ ซึ่งการย่อยแป้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ

1) การย่อยครั้งแรกหรือการทำให้เหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอนไซม์กลุ่มแอลฟาอะมิเลส (alpha - amylase) ย่อยแป้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส

ให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลง ของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กโทรส (Dextrose equivalent ; DE) อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 15 เรียกว่า มอลโตเด็กซ์ทริน (Maltodextrin)

2) การย่อยครั้งสุดท้ายหรือการทำให้อหวน (Saccharification) สารละลายน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งควรมีสมมูลเด็กซ์โทรสสูง ยีสต์จึงจะทำงานได้ดี ขั้นตอนนี้จะใช้เอนไซม์กลูโคอะมิเลส (gluco - amylase) เข้าไปย่อยให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว โดยจะใช้เวลาในการย่อยระหว่าง 60 ถึง 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการย่อยจะให้ความร้อนเพื่อหยุดกิจกรรมเอนไซม์และฆ่าเชื้อที่อาจปนเปื้อนก่อนที่จะเข้ากระบวนการหมักยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอล เมื่ออยู่ในสภาพปราศจากอากาศ (หรือมีอากาศจำกัด)

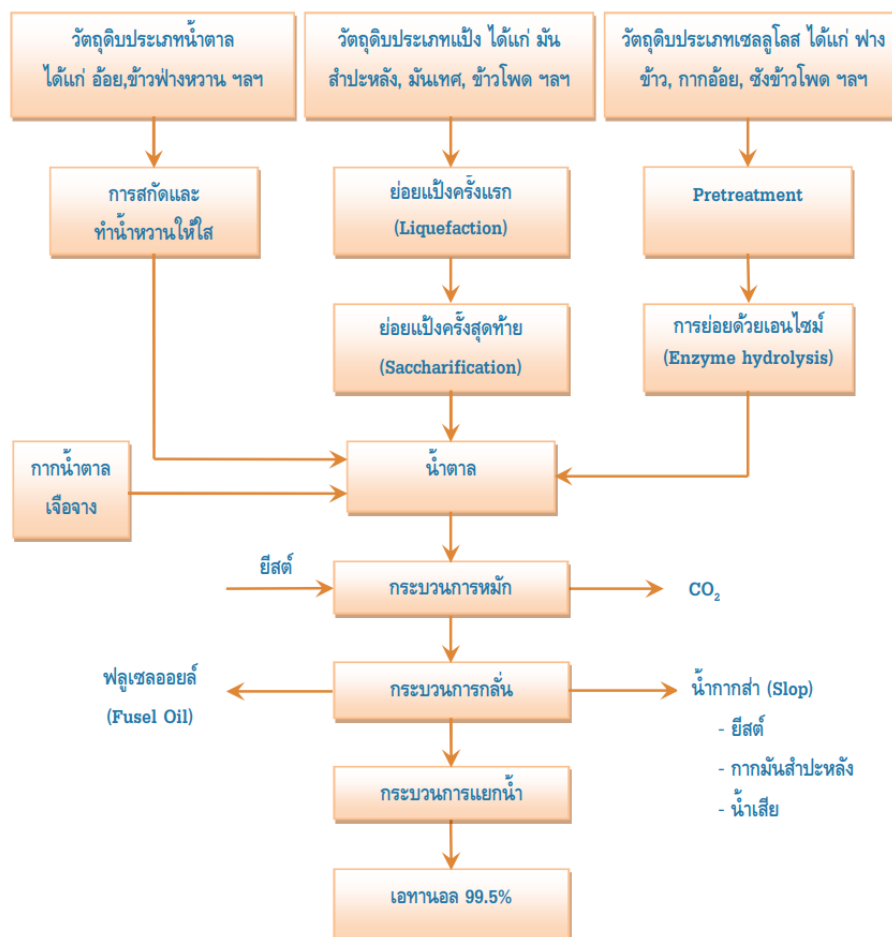
2.1.4.3 การผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ส่วนมากวัตถุดิบกลุ่มนี้จะเป็นผลผลิตพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ชังข้าวโพด และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วย ส่วนประกอบสำคัญ 3 ชนิดคือ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆ เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวและอยู่ในรูปผลึก มีลักษณะเป็น เส้นใยเหนียวและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (pentose) หลายชนิด เช่น ไซโลส (xylose) แมนโนส (mannose) และอะราบินโนส (arabinose) เป็นต้น ไม่ละลายน้ำและเสถียรน้อยกว่าเซลลูโลสมาก ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพนทอล การย่อยสลายอย่างมาก ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลสจึงประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นตอนการทำ Pretreatment เป็นการแตกพันธะที่เซลลูโลสจับกับสารประกอบอื่น ๆ ออกเพื่อให้เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulose) สามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น วิธีการนี้มีหลายวิธี ทั้งวิธีทางเคมีได้แก่ การย่อยด้วยกรดเจือจาง ย่อยด้วยกรดเข้มข้น และการย่อยด้วยด่าง เป็นต้น วิธีทางกายภาพ ได้แก่ การระเบิดด้วยไอน้ำ (steam explosion) เป็นต้น หรืออาจใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบเป็นสำคัญ

2) ขั้นตอนการย่อย (Hydrolysis) มี 2 วิธี คือ การย่อยด้วยกรดและการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรดจะมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลเพนโตส จากนั้นขั้นตอนที่สองจะเป็นการย่อยเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลกลูโคส ส่วนการย่อยด้วยเอนไซม์เทคโนโลยีที่ใช้ปัจจุบันคือ Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) เป็นการรวมการย่อยและการหมักในถังหมักเดียวกัน

3) ขั้นตอนการหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอล โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้น ๆ ได้ กระบวนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ วัตถุดิบประเภทน้ำตาล วัตถุดิบประเภทแป้ง และวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลในประเทศจะใช้วัตถุดิบทั้งประเภทแป้ง เช่น มันสำปะหลังและประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำตาลจากอ้อยเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร
ที่มา: คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิง, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ
อนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2.1.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1.5.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) และแสงที่มองเห็น (Visible) ความยาวคลื่นประมาณ 190 ถึง 1000 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



รูปที่ 2.5 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์

ที่มา: <https://chinese.alibaba.com/product-detail>

ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1) แหล่งกำเนิดแสง (light source) จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ สำหรับความยาวคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ต จะใช้หลอดดิวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งให้แสงในช่วง 185 ถึง 375 นาโนเมตร หลักการคือทำให้อะตอมดิวเทอเรียมที่อยู่ในสภาวะเร้าคายพลังงานออกมา ส่วนหลอดทังสเตน (tungsten filament lamp) จะให้ความยาวคลื่นครอบคลุมช่วงแสงที่มองเห็นได้คือตั้งแต่ 320 ถึง 2500 นาโนเมตร หลักการจะคล้ายกับหลอดไฟทังสเตนธรรมดา คือ ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปจนกระทั่งหลอดทังสเตนร้อนและเปล่งรังสีออกมา

2) ส่วนเลือกความยาวคลื่น (wavelength selector) เป็นส่วนที่ใช้แยกความยาวคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลาย ๆ ความยาวคลื่น (polychromatic wavelength) ให้เป็นความยาวคลื่นเดี่ยว (monochromatic wavelength) เครื่องมือสมัยก่อนจะใช้ปริซึมหรือฟิลเตอร์สำหรับแยกความยาวคลื่น แต่ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้โมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

แบบเกรตติง (grating) สะท้อนแสงซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็ก ๆ ขนานกันจำนวนมาก แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะตกกระทบลงบนผิวหน้าของร่อง แล้วสะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ เฉพาะความยาวคลื่นที่เราเลือกเท่านั้นจึงจะผ่านช่องแสงออก (exit slit) ไปสู่สารตัวอย่าง

3) เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (cell หรือ cuvette) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอर्टซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4) ตัวตรวจจับสัญญาณ (detector) เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ ปัจจุบันนิยมใช้ตัวตรวจจับสัญญาณ 2 ชนิดคือ

4.1) หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube; PMT) หลอดประกอบด้วยแคโทด (cathode) ที่ฉาบผิวด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้เมื่อถูกแสงจำนวน 9 ชุด เรียกว่า ไดโนด (dynode) แต่ละไดโนดจะมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อแสงตกกระทบกับไดโนดตัวที่หนึ่งสารที่ฉาบผิวจะเกิดอิเล็กตรอนขึ้น แล้ววิ่งไปกระทบไดโนดที่สอง สาม สี่ จนครบทั้งเก้าตัว ดังนั้นปริมาณอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นถึง 10^6 ถึง 10^7 เท่า แล้วจึงชนแอโนดให้กระแสไฟฟ้าออกมาเข้าเครื่องขยายสัญญาณต่อไป

4.2) โฟโตไดโอดอาร์เรย์ (photodiode arrays; PDA) ตัวตรวจจับสัญญาณชนิดนี้สามารถจับสัญญาณได้ครอบคลุมทั้งสเปกตรัมโดยใช้ไดโอดนี้มาเรียงต่อกันเป็นแถว ซึ่งสามารถวัดครอบคลุมสเปกตรัมได้ตั้งแต่ 200 ถึง 1100 นาโนเมตร ตัวตรวจจับสัญญาณนี้ประกอบไปด้วยโฟโตไดโอดและตัวเก็บประจุ (capacitor) ประมาณ 200- 4000 ตัวเรียงต่อกันเป็นแถว หลักการเริ่มต้นด้วยการให้ประจุผ่านผิวหน้าไดโอด ซึ่งไดโอดก็จะเก็บประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุ เมื่อแสงตกลงบนไดโอดจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าไปทำลายประจุที่เก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุ ทำให้ต้องใส่ประจุเพิ่มเข้าไปใหม่ซึ่งเป็นช่วงของการสแกนแต่ละครั้งนั่นเอง ปริมาณของประจุที่ต้องใส่เข้าไปใหม่จะเป็นปริมาณโดยตรงกับความเข้มแสงที่วัดได้ของแต่ละไดโอด ดังนั้นจากการวัดปริมาณแสงที่แตกต่างกันตลอดช่วงความยาวคลื่นจะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนของสารนั้นออกมา

(ที่มา: https://il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_2.html)

2.1.5.3 กล้องจุลทรรศน์ (Microscopes)



รูปที่ 2.6 กล้องจุลทรรศน์

ที่มา: <https://sites.google.com/a/longwittaya.ac.th>

ประเภทของกล้องจุลทรรศน์ ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light Microscope) เป็นกล้องที่ได้รับการพัฒนาจากในอดีตอย่างมากและใช้แสงที่ดีที่สุด ในปัจจุบันมีกำลังขยายถึง 2,000 เท่า และเป็นกล้องที่ราคาถูกแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1.1) กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงแบบธรรมดา ประกอบด้วยเลนส์ 2 ชนิดคือ เลนส์ใกล้วัตถุ และเลนส์ใกล้ตา โดยใช้แสงผ่านวัตถุแล้วขึ้นมาที่เลนส์จนเห็นภาพที่บนวัตถุอย่างชัดเจน

1.2) กล้องที่ใช้แสงแบบสเตอริโอ เป็นกล้องที่ประกอบด้วยเลนส์ที่ทำให้เกิดภาพแบบ 3 มิติ ใช้ศึกษาวัตถุที่มีขนาดใหญ่แต่ตาเปล่าไม่สามารถแยกรายละเอียดได้จึงต้องใช้กล้องชนิดนี้ช่วยขยาย

2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope) ใช้ลำอิเล็กตรอน ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแทนแสงสว่างที่มองเห็น และใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าแทนเลนส์แก้ว ใช้ลำอิเล็กตรอนจากปืนยิงผ่านเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้เกิดภาพบนจอร์รับภาพมีกำลังขยายสูงกว่า กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแบ่งเป็น

2.1) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) สามารถมองเห็นองค์ประกอบภายในของเซลล์ได้ชัดเจน มีกำลังขยายสูงมาก

2.2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ใช้ศึกษารูปร่างโครงสร้างและพื้นผิวของเซลล์ภายนอก ไม่เห็นองค์ประกอบด้านใน

(ที่มา: <https://pccpcell.wordpress.com/>)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญช่วย ปานอินทร์ และวรณี แผงจันทิก (2560) เนื่องจากความต้องการใช้กากน้ำตาลเพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคากากน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการนำน้ำตาลทรายดิบมาเป็นทางเลือกในการผลิตเอทานอล เนื่องจากน้ำตาลทรายดิบมีสมบัติความหวานและความบริสุทธิ์สูงกว่ากากน้ำตาล แต่น้ำตาลทรายดิบมีราคาสูงกว่ากากน้ำตาล จึงได้หาสัดส่วนปริมาณการใช้กากน้ำตาลทรายดิบที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการหมักและวิเคราะห์สัดส่วนการใช้กากน้ำตาลต่อน้ำตาลทรายดิบในการหมักเอทานอลที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าสัดส่วนการผสมกากน้ำตาลร้อยละ 80 กับน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 20 จะให้ประสิทธิภาพการหมักสูงถึงร้อยละ 82.71 นอกจากนี้เมื่อเติมเอนไซม์เข้าไปในการหมักด้วยจะทำให้ประสิทธิภาพการหมักเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 84.27 ที่สัดส่วนวัตถุดิบกากน้ำตาลร้อยละ 40 กับน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 60 และเมื่อเพิ่มสารอาหารเลี้ยงเชื้อเข้าไปในการหมักด้วยจะทำให้ประสิทธิภาพการหมักเพิ่มสูงมากขึ้นเป็นร้อยละ 85.98 ที่สัดส่วนวัตถุดิบกากน้ำตาลร้อยละ 20 กับน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 80

ชลดา ซื่อสัตย์, บงกชรัตน์ ปติยนต์, อีรภัทร ศรีนรคุตร และวิเชียร กิจปรีชาวนิช (ม.ป.ป) ศึกษาการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลังซึ่งเปื้อนวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการผลิตแป้ง แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลและการหมักน้ำตาลด้วยยีสต์ พบว่า การย่อยกากมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและเพคติเนสก่อนมีผลทำให้การย่อยแป้งในกากมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อทำการย่อยด้วยเอนไซม์ผสมระหว่างเซลลูเลสและเพคติเนสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ย่อยต่อด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และย่อยต่อด้วยเอนไซม์กลูโคอะไมเลสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากความเข้มข้นกากมันสำปะหลัง 145 กรัมต่อลิตร สามารถย่อยและให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดคือ 122.4 กรัมต่อลิตร เมื่อนำสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ย่อยได้นี้หมักด้วยยีสต์พบว่า ที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น 89.2 กรัมต่อลิตร สามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณ 36.2 กรัมต่อลิตร ในชั่วโมงที่ 24 คิดเป็นประสิทธิภาพการหมักร้อยละ 91 ของทฤษฎี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 กล้องจุลทรรศน์ (Microscopes)
- 3.1.2 เครื่องวัดค่าความหวาน (Hand Refractometer)
- 3.1.3 เครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
- 3.1.4 เครื่องวัดความหนาแน่นของเอทานอล (Density meter: DMA 4500 M)
- 3.1.5 เครื่องบ่มเชื้อ (Shaker Incubator)
- 3.1.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH meter)

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid: H_2SO_4)
- 3.2.2 กลูโคส (D-Glucose: $C_6H_{12}O_6$)
- 3.3.3 คอปเปอร์ซัลเฟต เฮปตะไฮเดรต (Copper Sulfate heptahydrate: $CuSO_4 \cdot 7H_2O$)
- 3.3.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH)
- 3.3.5 3, 5 – ไดไนโตรซาลิไซลิก แอซิด (3, 5 – Dinitrosalicylic acid: $C_7H_4N_2O_7$)
- 3.3.6 โซเดียม โพแทสเซียม ทาร์เทรต (Sodium Potassium tartrate: $C_4H_4KNaO_6$)
- 3.3.7 ฟีนอล (Phenol: C_6H_5OH)
- 3.3.8 ฟีนอล์ฟทาลีน อินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein: $C_{20}H_{14}O_4$)
- 3.3.9 เมทิลีนบลู (Methylene blue: $C_{16}H_{18}ClN_3S$)
- 3.3.10 ยูเรีย (Urea: NH_2CONH_2)
- 3.3.11 ยีสต์ (Yeast)
- 3.3.12 น้ำตาลทรายดิบ (Raw sugar)
- 3.3.13 น้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (Cassava)

3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.3.1 การเตรียมน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อย

3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างกล้าเชื้อที่ความเข้มข้นน้ำตาลเท่ากับ 10 เติร์มโดยตวงน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง ปริมาตร 2,400 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น และปรับความเข้มข้นให้ได้ค่าความหวานของน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 10

3.3.1.2 การเตรียมตัวอย่างในการหมักที่ความเข้มข้นน้ำตาลเท่ากับ 18 และ 20 โดยน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 น้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 และในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 80:20 และ 70:30 ตามลำดับ จากนั้นละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นและปรับความเข้มข้นตัวอย่างให้ได้ค่าความหวานของน้ำตาลเท่ากับร้อยละ 20 จากนั้นแบ่งตัวอย่างใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตร 540 มิลลิลิตร

หมายเหตุ: ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 ทำเช่นเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 20

3.3.2 การฆ่าเชื้ออุปกรณ์และตัวอย่าง

3.3.2.1 การฆ่าเชื้อตัวอย่าง และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างก่อนทำการหมัก นำภาชนะที่จะใส่ตัวอย่างไปต้มฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พักทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ขั้นตอนนี้ทำในขณะที่ยังไม่เติมยีสต์และยูเรีย)

3.3.2.2 การฆ่าเชื้อขณะเก็บตัวอย่าง ใช้ปิเปตที่ผ่านการต้มฆ่าเชื้อแล้วในการเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำภาชนะที่ใส่ตัวอย่างผ่านความร้อนด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง

หมายเหตุ: ควรทำความสะอาดมือด้วยเอทานอลทุกครั้งก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

3.3.3 ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงกล้าเชื้อ (Starter)

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1.1 แบ่งใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปริมาตร 600 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด จากนั้นใส่ยีสต์และยูเรียอย่างละ 1.00 กรัม ตามลำดับ และเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำไปบ่มด้วยตุ้มเชื้อ ควบคุมอุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส เขย่าที่ 200 rpm นาน 8 ชั่วโมง

3.3.4 ขั้นตอนการหมัก

ถ่ายกล้าเชื้อ (starter) จากข้อ 3.3.3 ที่มีจำนวนเชื้อมากกว่า 100×10^6 เซลล์ ใส่ขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 60 มิลลิลิตร เติมยูเรียปริมาณ 0.60 กรัม จากนั้นเขย่าให้เข้ากัน และเก็บตัวอย่างชั่วโมงเริ่มต้น (ชั่วโมงที่ 0) จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มด้วยตุ้มเชื้อ ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ 110 rpm นาน 24 ชั่วโมง เพื่อวัดค่าความหวานของน้ำตาล ค่าความเป็นกรดต่าง นับเซลล์ ปริมาณกรดอะซิติก และปริมาณเอทานอล

หมายเหตุ: ทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 24 ชั่วโมง จนครบ 144 ชั่วโมง ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่างต้องนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงแล้วเก็บส่วนใสไว้หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด โดยใช้วิธีทางสเปกโตรโฟโตเมทรี (เมื่อครบ 144 ชั่วโมง จึงหยุดกระบวนการหมักและหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ น้ำตาลทั้งหมด สภาพความเป็นกรดทั้งหมด กรดแลคติก กรดอะซิติก วัดค่าความหวานของน้ำตาล ค่าความเป็นกรดต่าง นับเซลล์และหาปริมาณเอทานอล)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลร่วมกับกากน้ำตาล เพื่อเป็นทางเลือกเสริมในการผลิตเอทานอลของโรงงาน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (อัตราส่วน 80:20 และ 70:30) และความเข้มข้นของน้ำตาล (18 และ 20) ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ใช้น้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังในกระบวนการหมักเอทานอล ทั้งนี้ยังมีน้ำย่อยจากมันสำปะหลังและน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 เป็นตัวควบคุมในการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

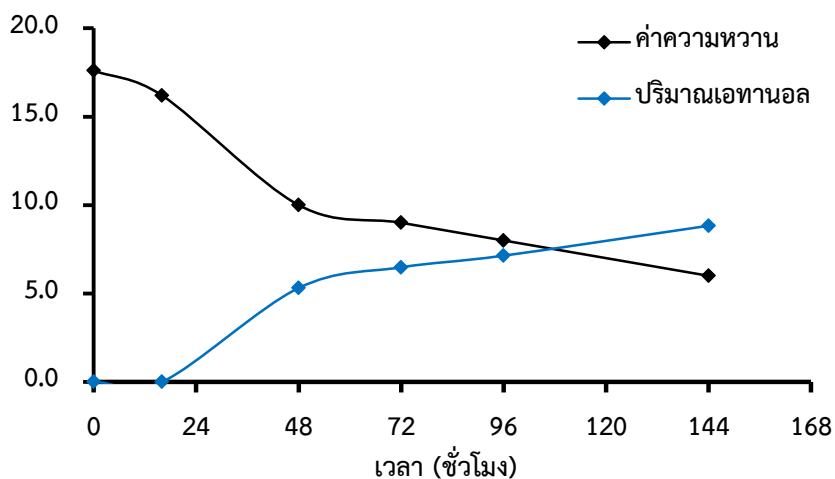
4.1 ผลการศึกษาผลผลิตเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ผลผลิตเอทานอลที่ได้มีปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า เอทานอลที่หมักได้มีผลผลิตอยู่ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 มีผลผลิตสูงที่สุดคือ ร้อยละ 10.09 โดยปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4.1

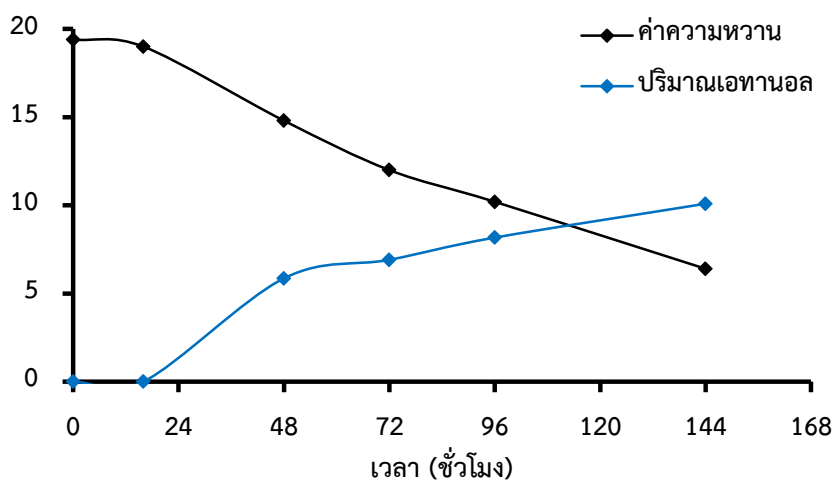
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลเอทานอลในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (70:30) ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)
0	17.6	-	19.4	-
16	16.2	-	19.0	-
48	10.0	5.31	14.8	5.86
72	9.0	6.48	12.0	6.91
96	8.0	7.14	10.2	8.17
144	6.0	8.83	6.4	10.09

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 144 ชั่วโมง ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเอทานอลอยู่ร้อยละ 8.83 และ 10.09 โดยปริมาตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 70:30



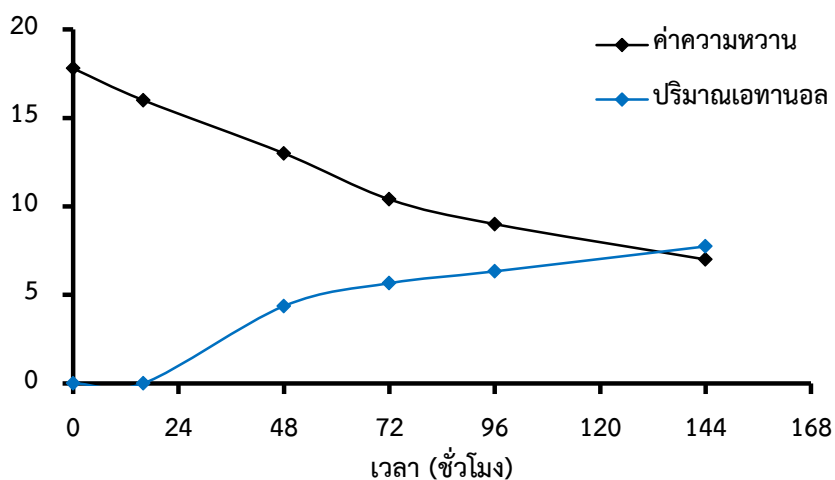
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 70:30

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น ร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (80:20) พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเอทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผกผันกับปริมาณเอทานอลอยู่เสมอ

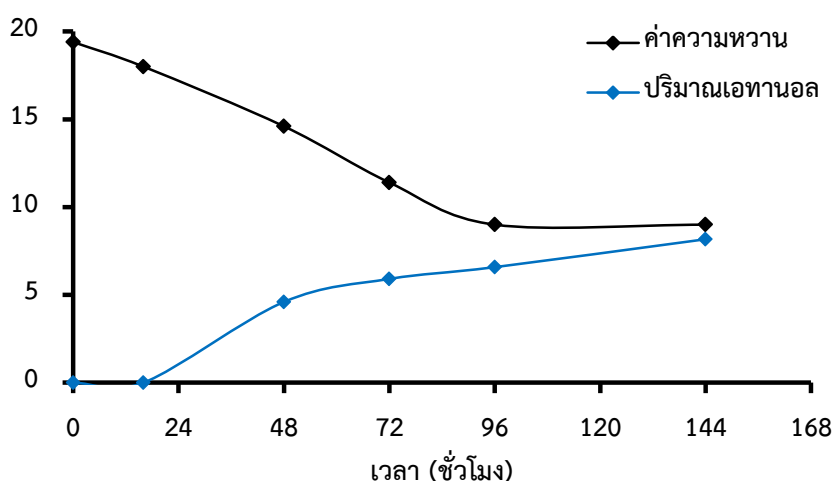
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงปริมาณเอทานอลในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (80:20) ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)
0	17.8	-	19.4	-
16	16.0	-	18.0	-
48	13.0	4.37	14.6	4.60
72	10.4	5.66	11.4	5.91
96	9.0	6.33	9.0	6.58
144	7.0	7.74	9.0	8.17

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 80:20 ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 144 ชั่วโมง ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเอทานอลอยู่ร้อยละ 7.74 และ 8.17 โดยปริมาตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 80:20



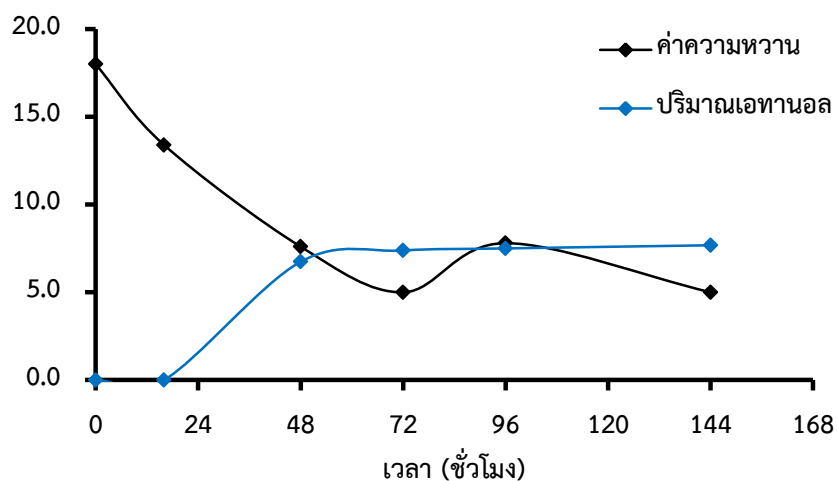
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วน 80:20

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (70:30) พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเอทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผกผันกับปริมาณเอทานอลอยู่เสมอ

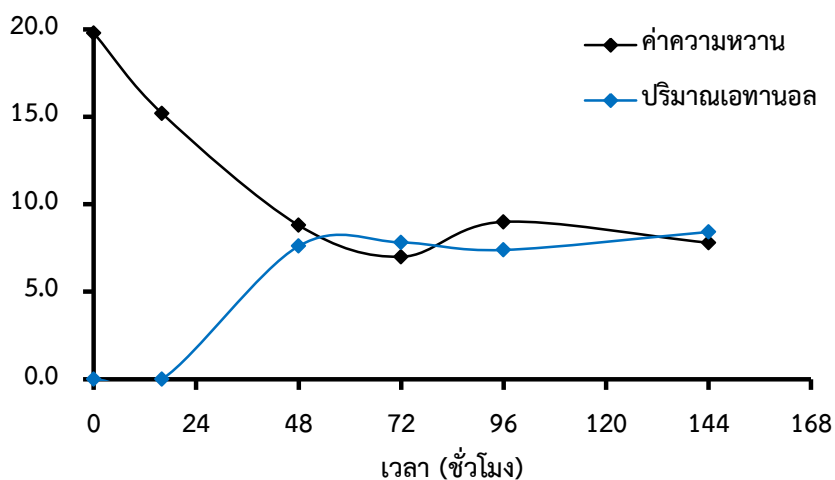
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความเข้มข้น ของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)
0	18.0	-	19.8	-
16	13.4	-	15.2	-
48	7.6	6.74	8.8	7.61
72	5.0	7.38	7.0	7.82
96	7.8	7.50	9.0	7.39
144	5.0	7.68	7.8	8.42

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 144 ชั่วโมง ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเอทานอลอยู่ร้อยละ 7.68 และ 8.42 โดยปริมาตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม



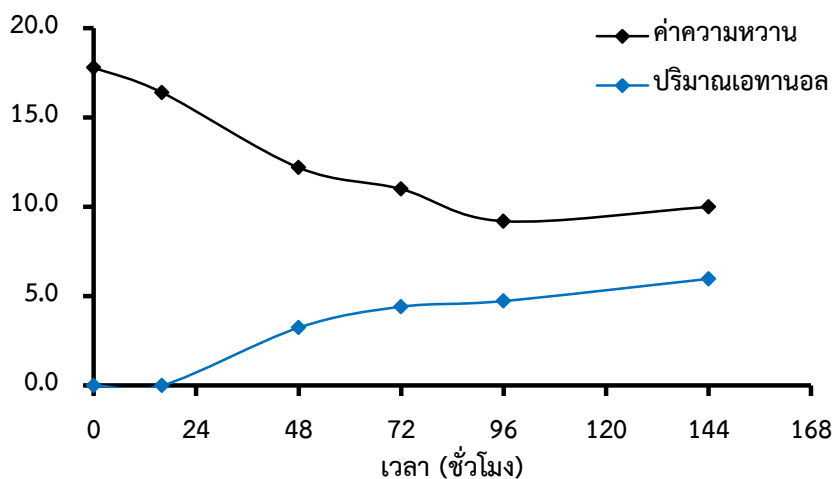
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเอทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผกผันกับปริมาณเอทานอลอยู่เสมอ

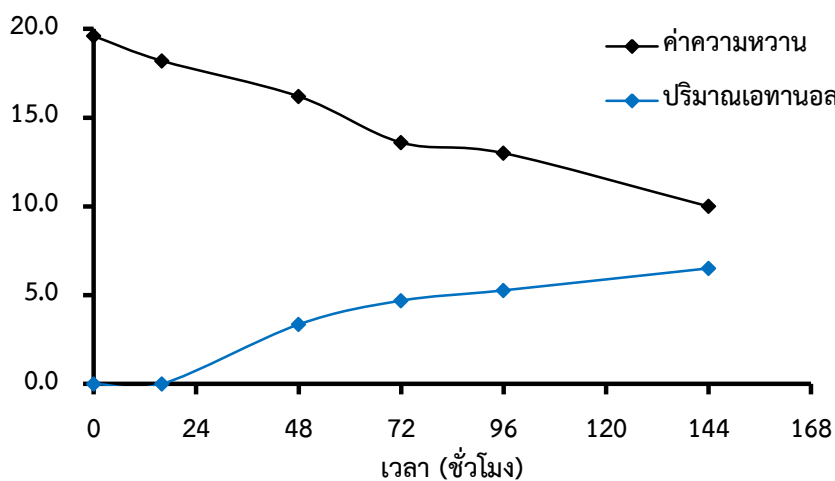
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ความเข้มข้นของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาล	ปริมาณเอทานอล (ร้อยละโดยปริมาตร)
0	17.8	-	19.6	-
16	16.4	-	18.2	-
48	12.2	3.24	16.2	3.35
72	11.0	4.41	13.6	4.69
96	9.2	4.73	13.0	5.27
144	10.0	5.97	10.0	6.51

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 144 ชั่วโมง ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเอทานอลอยู่ร้อยละ 5.97 และ 6.51 โดยปริมาตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม



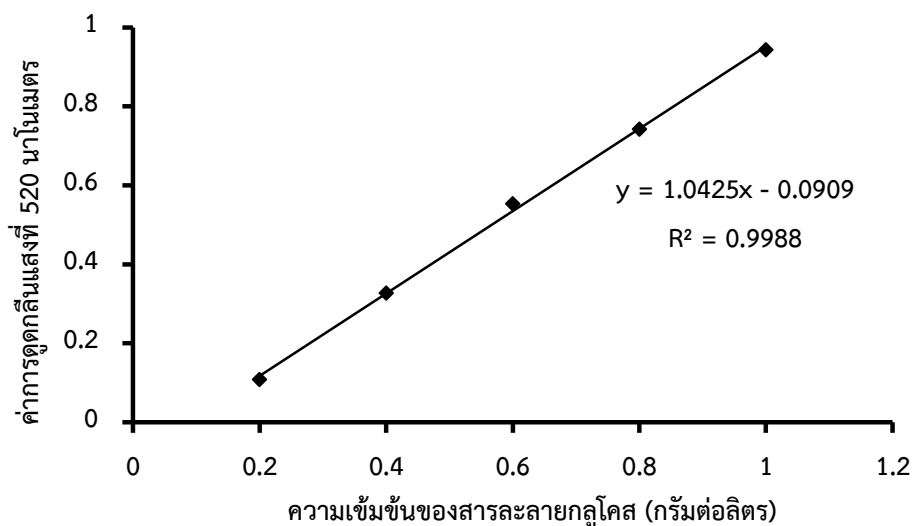
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุม

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก และปริมาณเอทานอลของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเอทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผกผันกับปริมาณเอทานอลอยู่เสมอ

4.2 ผลการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการหมักระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง โดยอาศัยวิธีทางสเปกโทรโฟโตเมทรี

4.2.1 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

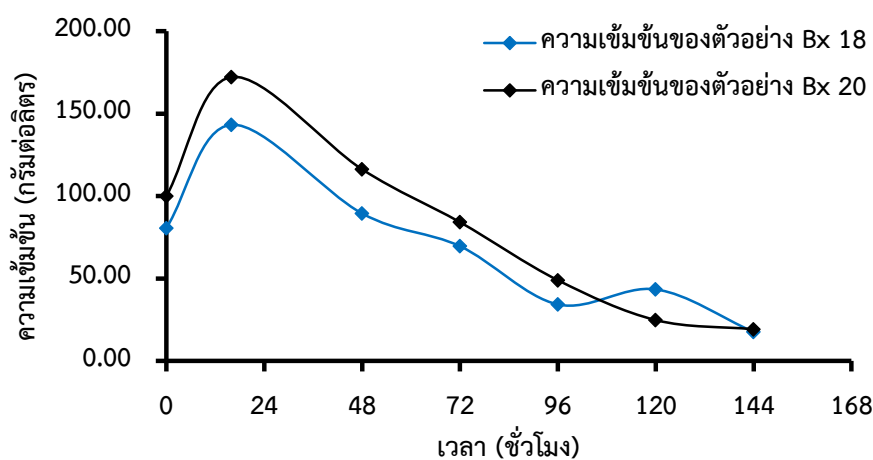
ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.20 ถึง 1.00 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 1.0425x - 0.0909$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า R^2 เท่ากับ 0.9988



รูปที่ 4.9 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วน 70:30

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 70:30 ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.870	80.66	0.550	99.93
16	1.523	143.30	0.927	172.26
48	0.962	89.49	0.635	116.24
72	0.755	69.63	0.468	84.20
96	0.387	34.33	0.540	49.01
120	0.482	43.44	0.288	24.83
144	0.397	17.65	0.230	19.27

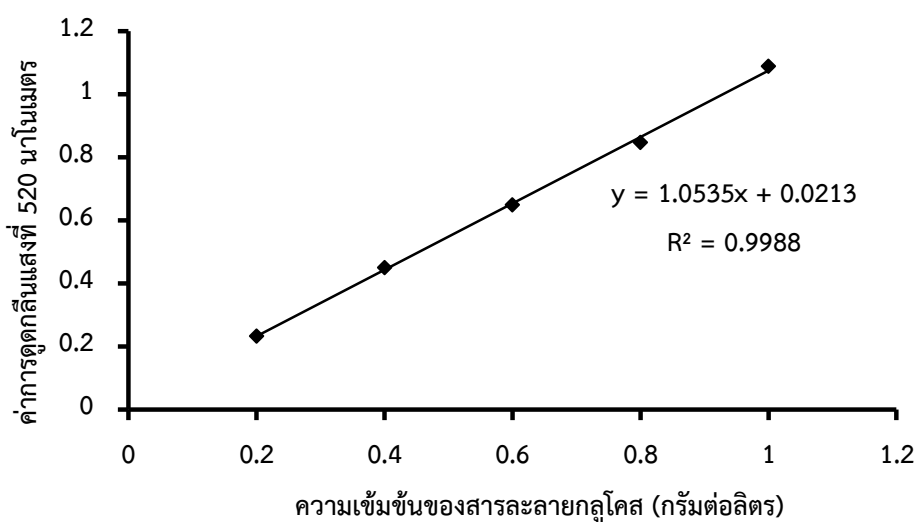


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่เสมอ

4.2.2 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 80:20 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

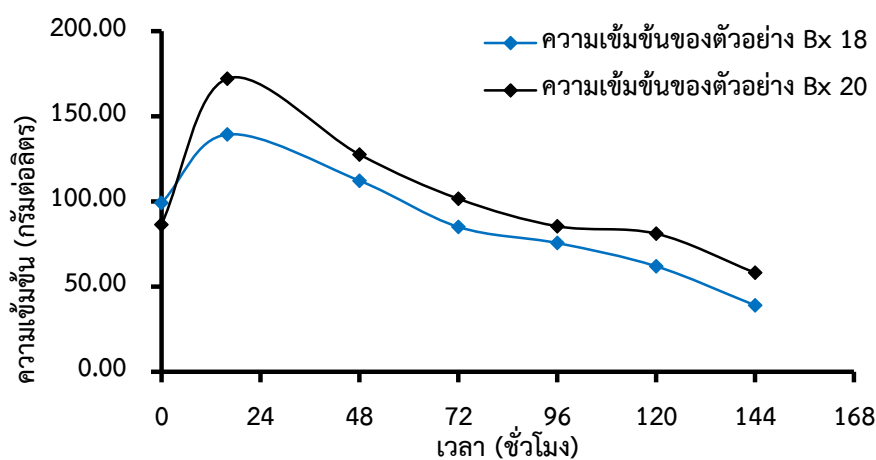
ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.20 ถึง 1.00 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 1.0535x + 0.0213$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า R^2 เท่ากับ 0.9988



รูปที่ 4.11 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วน 80:20

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	1.055	99.22	0.921	86.50
16	0.744	139.40	0.917	172.24
48	0.601	112.25	0.682	127.63
72	0.458	85.11	0.545	101.62
96	0.408	75.61	0.460	85.49
120	0.336	61.95	0.437	81.12
144	0.421	39.04	0.316	58.15

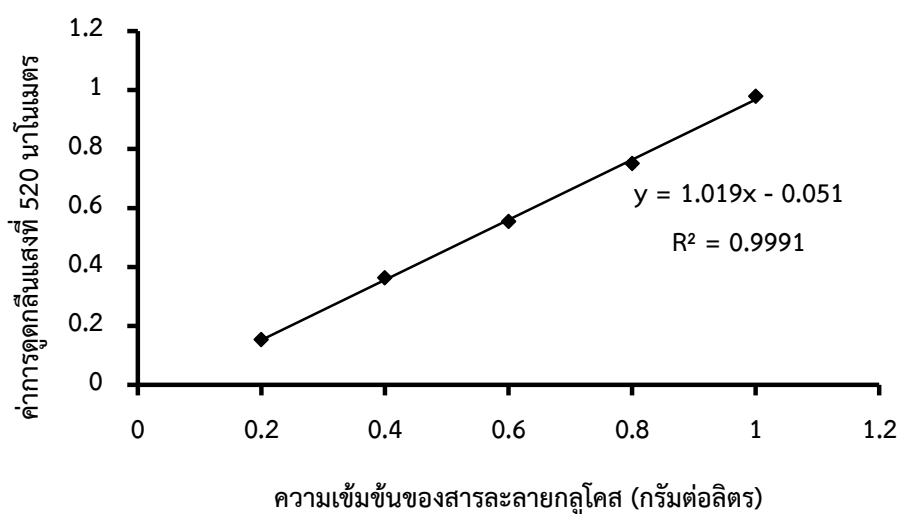


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 80:20

จากรูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่เสมอ

4.2.3 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วนน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุมที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

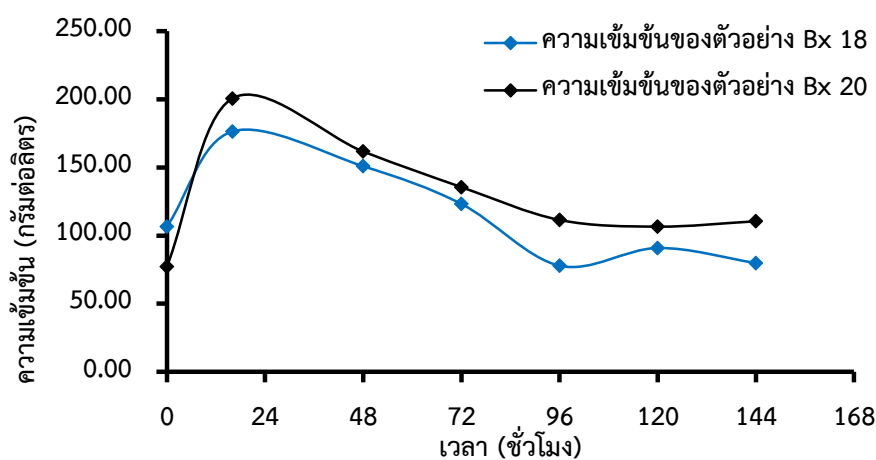
ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.20 ถึง 1.00 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 1.019x - 0.051$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า R^2 เท่ากับ 0.9991



รูปที่ 4.13 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำตาลทรายดิบที่ใช้เป็นตัวควบคุม

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	1.055	106.58	0.439	77.13
16	0.744	176.45	0.455	200.69
48	0.601	150.93	0.870	161.73
72	0.458	123.26	0.737	135.62
96	0.408	77.92	0.614	111.48
120	0.336	90.87	0.589	106.58
144	0.421	79.88	0.609	110.50

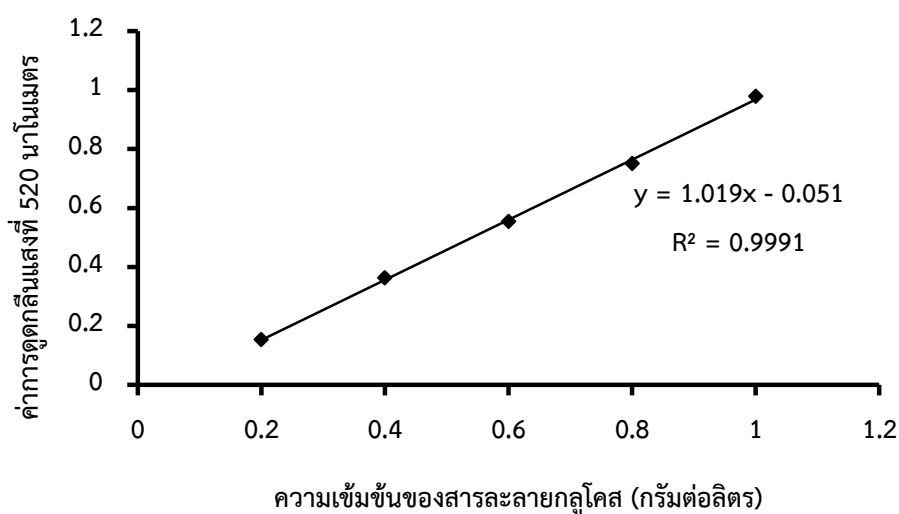


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่เสมอ

4.2.4 การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราส่วนน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

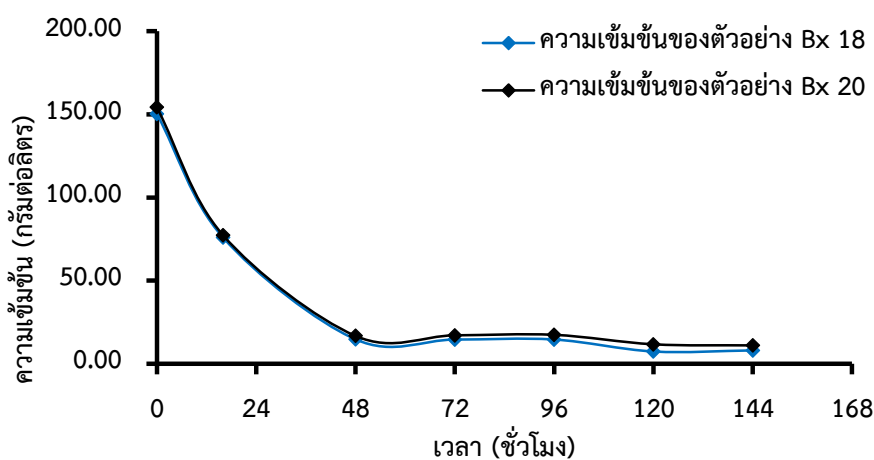
ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.20 ถึง 1.00 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าได้สมการเส้นตรงคือ $y = 1.019x - 0.051$ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่า R^2 เท่ากับ 0.9991



รูปที่ 4.15 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำย่อยจากมันสำปะหลังที่ใช้เป็นตัวควบคุม

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.812	150.34	0.832	154.27
16	0.433	75.96	0.440	77.33
48	0.346	14.72	0.388	16.78
72	0.343	14.57	0.395	17.12
96	0.790	14.60	0.401	17.42
120	0.423	7.40	0.285	11.73
144	0.456	8.05	0.610	11.07

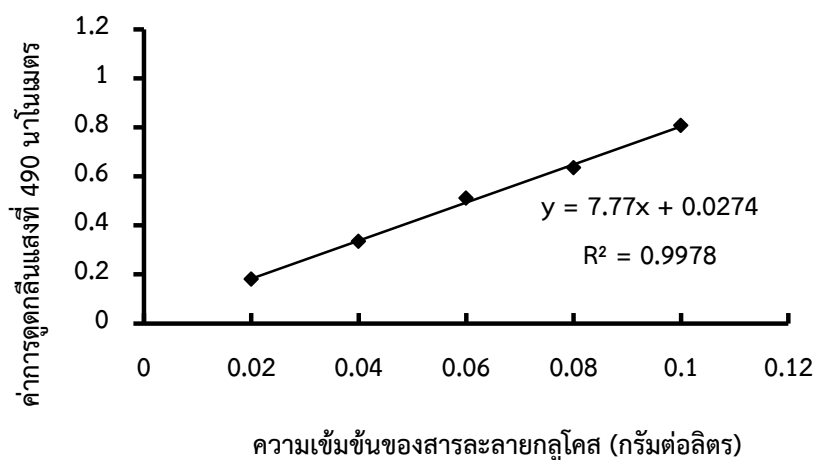


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำย่อยมันสำปะหลังที่อัตราส่วนร้อยละ 100

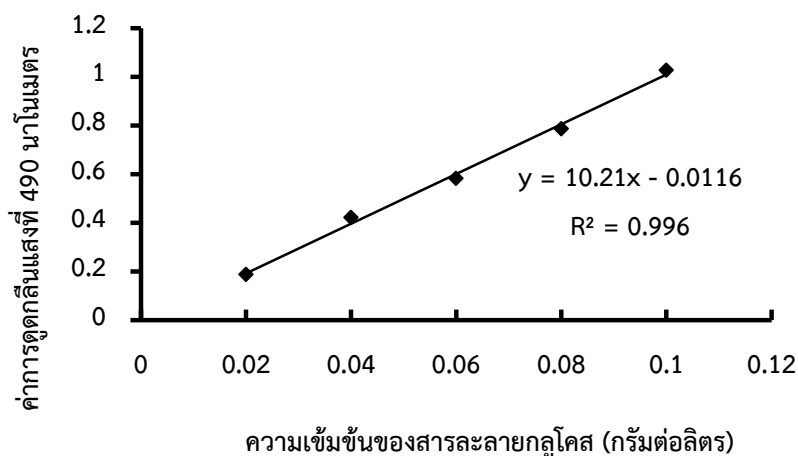
จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่เสมอ

4.2.5 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.02 ถึง 0.10 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18



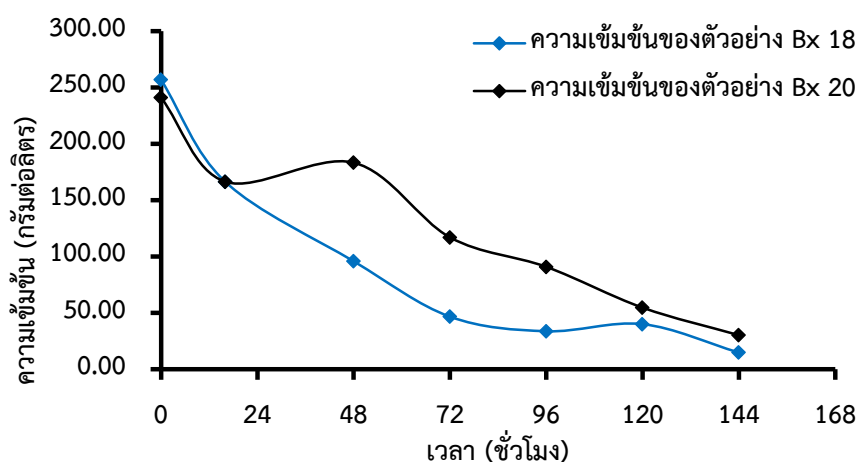
รูปที่ 4.17 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.18 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 70:30 ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.884	256.99	0.752	241.11
16	0.865	166.44	0.524	166.52
48	0.591	95.91	0.856	183.42
72	0.400	46.74	0.552	117.12
96	0.481	33.80	0.849	90.95
120	0.53	40.10	0.517	54.74
144	0.45	14.90	0.293	30.32

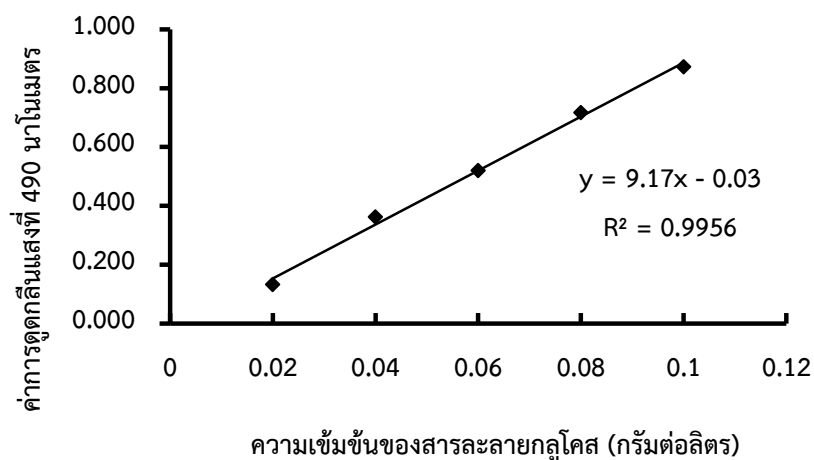


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30

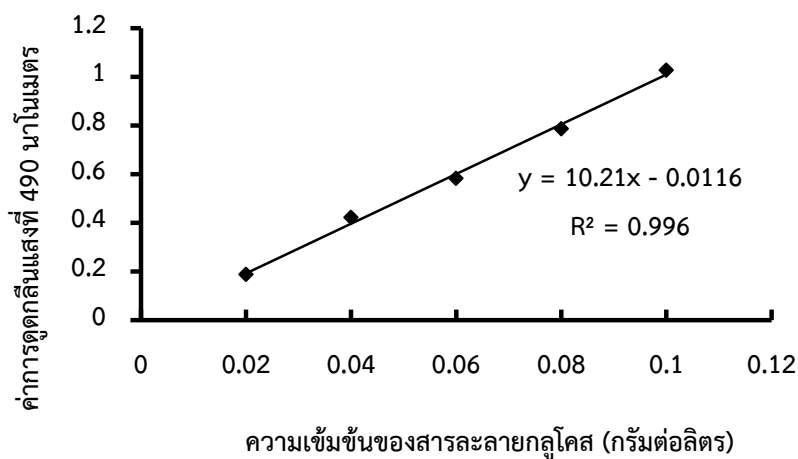
จากรูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่เสมอ

4.2.6 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 80:20 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.02 ถึง 0.10 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21



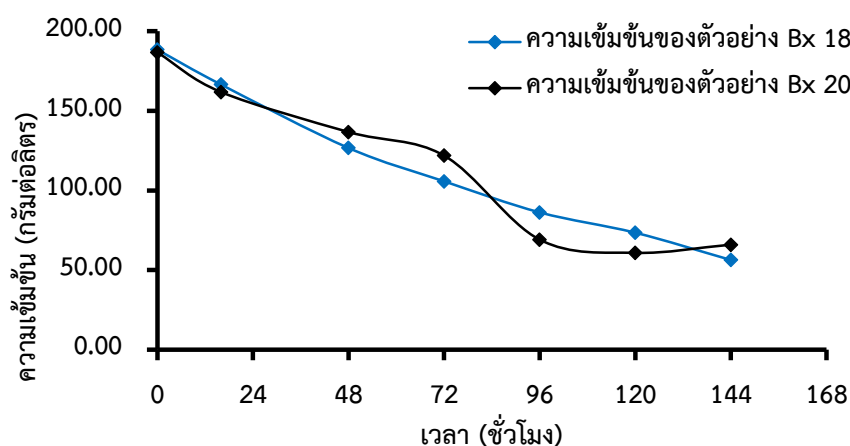
รูปที่ 4.20 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.21 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังในอัตราส่วน 80:20 ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.591	188.44	0.896	186.70
16	0.524	166.52	0.782	161.83
48	0.596	126.72	0.667	136.75
72	0.500	105.78	0.599	121.92
96	0.806	86.26	0.357	69.14
120	0.689	73.50	0.598	60.85
144	0.532	56.38	0.645	65.98

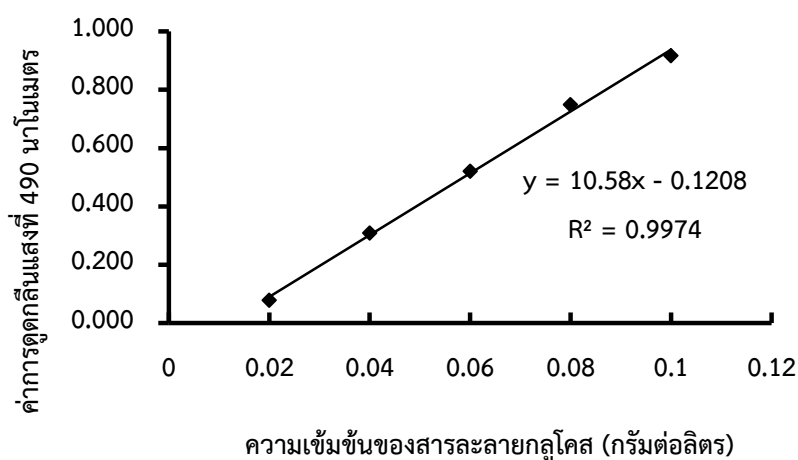


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วน 70:30

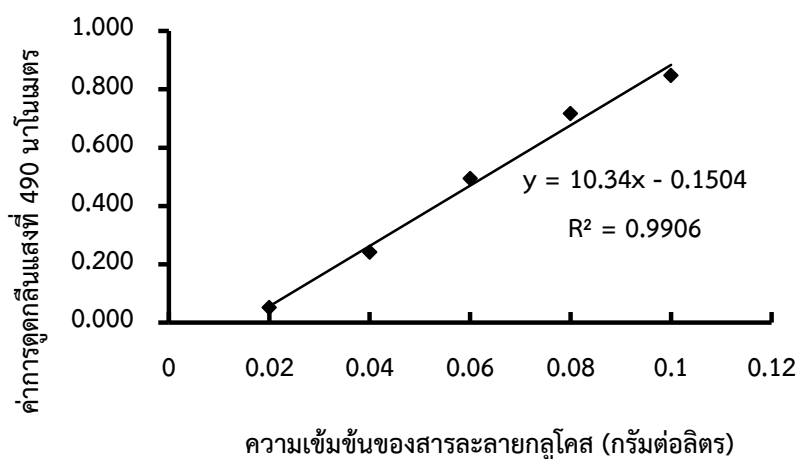
จากรูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่เสมอ

4.2.7 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในอัตราส่วนน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุมที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.02 ถึง 0.10 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสและค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ รูปที่ 4.24



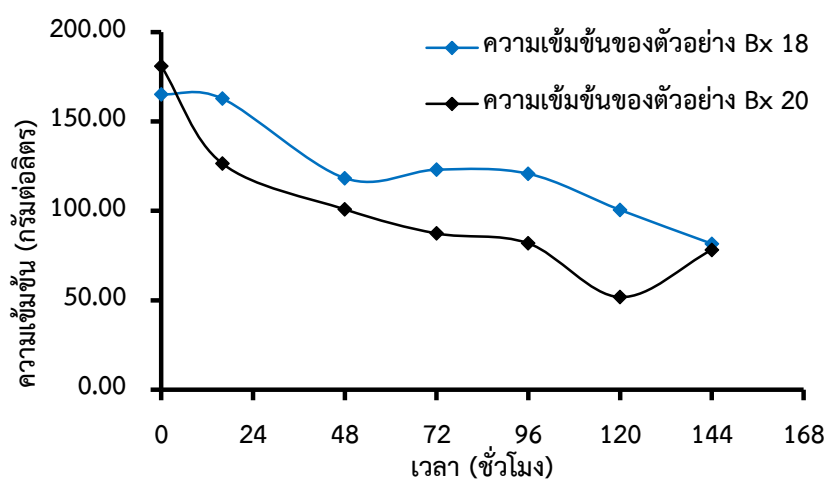
รูปที่ 4.23 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.24 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.889	165.18	0.941	180.93
16	0.876	162.72	0.659	126.38
48	0.641	118.30	0.527	100.85
72	0.666	123.02	0.909	87.37
96	0.654	120.76	0.852	81.86
120	0.547	100.53	0.541	51.78
144	0.447	81.63	0.814	78.18

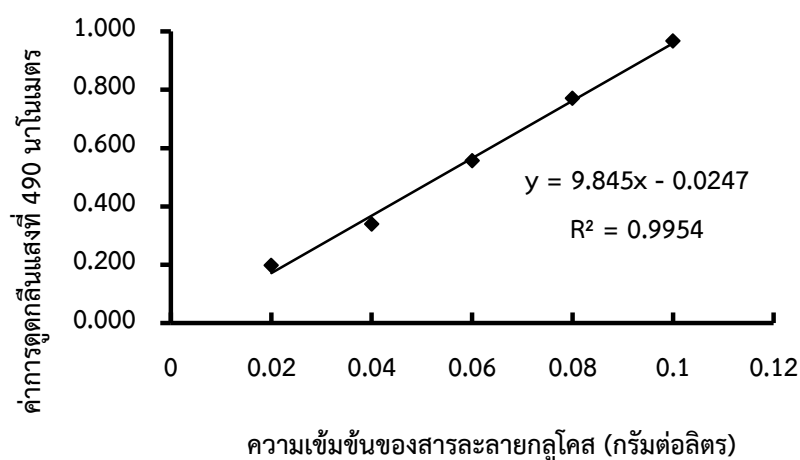


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100

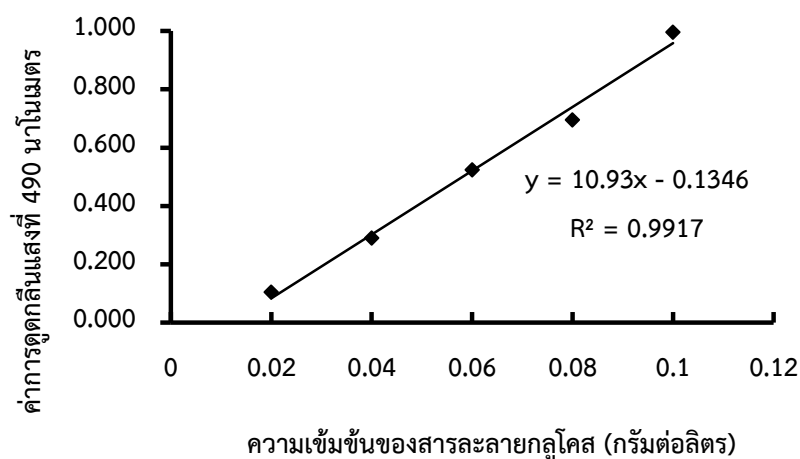
จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่เสมอ

4.2.8 การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในอัตราส่วนน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็น ตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ในงานวิจัยนี้ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูโคสที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าการดูดกลืนแสง เมื่อนำผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.02 ถึง 0.10 กรัมต่อลิตร มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.26 และ รูปที่ 4.27



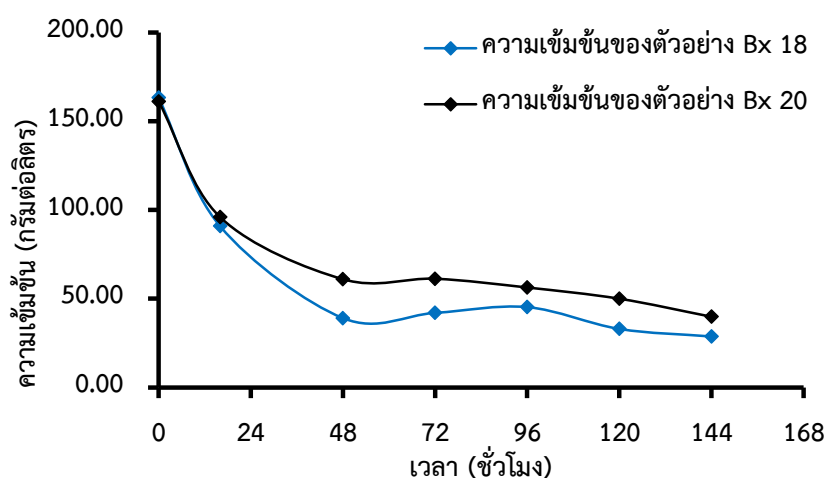
รูปที่ 4.26 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.27 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยกรัมต่อลิตร สำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของความเข้มข้นร้อยละ 20

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18		ค่าความหวานของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 20	
	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)	ค่าการ ดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (กรัมต่อลิตร)
0	0.863	163.27	0.909	161.13
16	0.954	90.88	0.553	95.99
48	0.444	39.08	0.695	60.99
72	0.473	42.02	0.698	61.26
96	0.505	45.27	0.644	56.32
120	0.384	32.98	0.575	50.01
144	0.342	28.72	0.464	39.85



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างและเวลาของน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก ของน้ำตาลทรายดิบที่อัตราส่วนร้อยละ 100

จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของตัวอย่างน้ำตาลเข้มข้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 และเวลาในการหมัก พบว่า เมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดจะลดลงตามไปด้วย แต่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลจะลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้ในการหมัก ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลนี้จะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่เสมอ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตเอทานอลจากน้ำตาลร่วมกับกากน้ำตาล เพื่อเป็นทางเลือกเสริมในการผลิตเอทานอลของโรงงาน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอล 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง (80:20 และ 70:30) และความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น (18 และ 20) ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ใช้น้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังมาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอล

จากการทดลองการผลิตเอทานอลระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง พบว่าที่อัตราส่วน (80:20 และ 70:30 รวมถึงน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม) ใช้เวลาในการหมักทั้งสิ้น 144 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก จะทำการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในแต่ละความเข้มข้นของน้ำตาล ซึ่งผลการทดลองที่ได้คือ ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 17.65 และ 19.27 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 80:20 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 39.04 และ 58.15 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 ที่ใช้เป็นตัวควบคุมในการทดลอง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 8.05 และ 11.07 กรัมต่อลิตร และน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 ที่ใช้เป็นตัวควบคุมในการทดลองในครั้งนี้ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 79.88 และ 110.50 กรัมต่อลิตร และหาปริมาณเอทานอล ที่อัตราส่วน 70:30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 มีปริมาณเอทานอลร้อยละ 8.83 และ 10.09 โดยปริมาตร ตามลำดับ และที่อัตราส่วน 80:30 ที่ค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20 มีค่าปริมาณเอทานอลร้อยละ 7.74 และ 8.17 โดยปริมาตร ตามลำดับ ผลที่ได้จากกระบวนการหมักพบว่า ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง 70:30 ได้ปริมาณเอทานอลมากที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่า ที่อัตราส่วน 70:30 เป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตเอทานอลสำหรับการทดลองในครั้งนี้

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

5.2.1 นักศึกษาได้พัฒนาการสืบค้น วางแผน แก้ไขปัญหา การใช้เครื่องมือ การเขียนรายงาน การนำเสนอในช่วงเวลาที่ศึกษา และเข้าใจในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยการหมักร่วมระหว่าง น้ำตาลทรายดิบและน้ำย่อยจากมันสำปะหลัง

5.2.2 ทราบเทคนิคที่สามารถหาปริมาณเอทานอลจากกระบวนการหมักได้ดีมากขึ้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเป็นกรดต่างในตัวอย่างถึงหมัก

บรรณานุกรม

- MedThai. (23 พฤษภาคม 2557). **มันสำปะหลัง สรรพคุณและประโยชน์ของมันสำปะหลัง 12 ข้อ**. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563 จาก <https://medthai.com/>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). **เชื้อเพลิงเอทานอล**. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2564 จาก <http://www.able.co.th/Upload/File/23.pdf>
- ชลดา ชื่อสัตย์ บงกชรัตน์ ปิทยนต์ อธิภัทร ศรีนรคุตร และวิเชียร กิจปรีชาวนิช. (ม.ป.ป.). การใช้ประโยชน์จากกากมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล. **โครงการคลังความรู้สู่ดิจิทัล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.
- ธุรกิจเอทานอล**. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2563 จาก http://www.lannar.com/main/?page_id=53
- บุญช่วย ปานอินทร์ และวราณี แผงจันทิก. (มกราคม-กุมภาพันธ์ 2560). การศึกษาความเหมาะสมของการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลทรายดิบ. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (1)**, 148-157.
- แป้งมันสำปะหลัง**. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2563 จาก http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files//01534/chapter2.pdf
- สถาบันนวัตกรรมและการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ป.). **ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์**. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2564 จาก https://il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_2.html
- องค์การสุรา กรมสรรพสามิต. (25 พฤศจิกายน 2560). **การผลิตแอลกอฮอล์**. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563 จาก <https://www.liquor.or.th/aic/detail/>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารละลาย

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม จากนั้นนำมาละลายน้ำ แล้วปรับปริมาตร 500 มิลลิลิตร จะได้ 0.1 นอร์มอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

2. 1% ฟีนอล์ฟทาลีน

เตรียมโดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 5.00 กรัม จากนั้นนำมาละลายใน 95% เอทานอล ปรับปริมาตรจนครบ 500 มิลลิลิตร จะได้ 1% ฟีนอล์ฟทาลีน ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

3. คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต

เตรียมโดยชั่งคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 138.556 กรัม จากนั้นนำมาละลายน้ำแล้วปรับปริมาตรจนครบ 2000 มิลลิลิตร จะได้คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต 2000 มิลลิลิตร

4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โพแทสเซียมทาร์เทตเพนตะไฮเดรต

เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม และชั่งโพแทสเซียมทาร์เทตเพนตะไฮเดรต 692 กรัม จากนั้น นำสารทั้งสองชนิดมาละลายน้ำผสมกันปั่นด้วย Magnetic bar แล้วปรับปริมาตร 2000 มิลลิลิตร จะได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ + โพแทสเซียมทาร์เทตเพนตะไฮเดรต ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

กราฟเปรียบเทียบมาตรฐานที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสง

ตารางภาคผนวก ข ที่ 1 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของอัตราส่วน 70:30 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้นของ กลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง-สารละลายเปล่า (0.120)
0.20	0.228	0.108
0.40	0.447	0.327
0.60	0.673	0.553
0.80	0.862	0.742
1.00	1.063	0.943

ตารางภาคผนวก ข ที่ 2 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของอัตราส่วน 80:20 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้นของ กลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง-สารละลายเปล่า (0.031)
0.20	0.264	0.233
0.40	0.481	0.450
0.60	0.680	0.649
0.80	0.878	0.847
1.00	1.119	1.088

ตารางภาคผนวก ข ที่ 3 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำตาลร้อยละ 100 และน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร	ค่าการดูดกลืนแสง-สารละลายเปล่า (0.097)
0.20	0.251	0.154
0.40	0.460	0.363
0.60	0.652	0.555
0.80	0.848	0.751
1.00	1.076	0.979

ตารางภาคผนวก ข ที่ 4 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของอัตราส่วน 70:30 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้นของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20	
	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.191)	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.045)
0.02	0.371	0.180	0.233	0.233
0.04	0.526	0.335	0.467	0.467
0.06	0.702	0.511	0.627	0.627
0.08	0.826	0.635	0.831	0.831
0.10	0.998	0.807	1.072	1.072

ตารางภาคผนวก ข ที่ 5 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของอัตราส่วน 80:20 ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้น ของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20	
	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.045)	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.070)
0.02	0.233	0.188	0.202	0.132
0.04	0.467	0.422	0.432	0.362
0.06	0.627	0.582	0.589	0.519
0.08	0.831	0.786	0.786	0.716
0.10	1.072	1.027	0.942	0.872

ตารางภาคผนวก ข ที่ 6 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำตาลทรายดิบร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้น ของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20	
	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.136)	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.156)
0.02	0.214	0.078	0.207	0.051
0.04	0.444	0.308	0.397	0.241
0.06	0.656	0.520	0.650	0.494
0.08	0.884	0.748	0.873	0.717
0.10	1.052	0.916	1.003	0.847

ตารางภาคผนวก ข ที่ 7 สรุปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากวิธีการวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำย่อยจากมันสำปะหลังร้อยละ 100 ที่ใช้เป็นตัวควบคุม ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 20

ความเข้มข้น ของกลูโคส (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 18		ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 20	
	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.084)	OD ที่ 490 nm	OD-blank (0.163)
0.02	0.282	0.198	0.267	0.104
0.04	0.423	0.339	0.453	0.29
0.06	0.640	0.556	0.686	0.523
0.08	0.854	0.77	0.857	0.694
0.10	1.051	0.967	1.158	0.995