สารบัญ

ชื่อเรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)……..……..……(3)

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)……...……..(5)

กิตติกรรมประกาศ……..(6)

สารบัญ.....(7)

สารบัญตาราง……(11)

สารบัญภาพ……...(15)

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทนำต้นเรื่อง.....1

ตรวจเอกสาร……2

1. ปาล์มน้ำมัน……...2

1.1 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม.....3

1.2 ผลผลิตจากโรงงานหีบน้ำมันปาล์ม.....4

1.3 การใช้ประโยชน์ของปาล์มน้ำมัน และวัสดุเศษเหลือ 6

1.4 แหล่งผลิตปาล์มน้ำมัน……..……7

1.5 อนาคตของปาล์มน้ำมัน.....7

2. องค์ประกอบของเซลล์พืช.....8

2.1 เซลลูโลส (Cellulose).....9

2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose).....13

2.3 ลิกนิน (Lignin)……...14

3. กระบวนการผลิตเอทานอลของยีสต์.....15

4. การผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส……21

4.1 การเตรียมลิกโนเซลลูโลส (Pretreatment).....22

4.2 การย่อย (Hydrolysis)…… ……32

4.3 กระบวนการหมักเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส.....44

5. การผลิตเอทานอลแบบ SSF……47

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลโดยใช้ระบบ SSF……...49

6.1 อุณหภูมิ……...49

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

6.2 พีเอช……...51
6.3 สายพันธุ์จุลินทรีย์.....51
6.4 สารตั้งต้น.....53
6.5 เอนไซม์.....54
6.6 Pretreatment……55
6.7 Surfactant……56
6.8 สารยับยั้ง.....57
6.9 ความเข้มข้นของเอทานอล.....58
6.10 ออกซิเจน.....60
6.11 สารอาหาร……61
วัตถุประสงค์.....62
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....63
1. วัสดุ.....63
2. อุปกรณ์……64
3. สารเคมี.....65
4. วิธีการดำเนินการวิจัย.....66
4.1 ศึกษาการเตรียมเส้นใยปาล์ม…….....66
4.2 ศึกษาการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ.....67
4.3 การเตรียมเชื้อ *Saccharomyces cerivisiae* เริ่มต้น.....68
4.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลด้วยวิธี SSF โดยใช้เอนไซม์ย่อยในระบบแบบกะ.....68
4.5 ศึกษาการเปลี่ยนของเอทานอลภายใต้สภาวะที่เหมาะสม…….....71
4.6 ศึกษาการผลิตเอทานอลแบบ SHF……...……71
4.7 ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการไฮโดรไลซีสแบบกะ ที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้า ระบบ SSF…….....72
4.8 ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการไฮโดรไลซีสแบบกึ่งกะ ที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าระบบ SSF……..…72

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

บทที่ 3 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล……74

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบของเส้นใยปาล์ม.....……..…..…74

2. ผลการศึกษาการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....74

2.1 การเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....78

2.2 การเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์……..84

2.3 เปรียบเทียบการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์……..…87

3. ผลการศึกษาการไฮโดรไลซีส เส้นใยปาล์มที่ผ่านการเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 15 นาที ที่สารละลายเดือด (10% (w/v) NaOH/boiling 15 min).....91

3.1 ผลการศึกษาการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสจากทางการค้าชนิดต่างๆ.....91

3.2 ผลการศึกษาการไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ร่วมกับเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส……..95

4. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากเส้นใยปาล์ม ด้วยวิธี SSF ในระบบแบบกะ โดยใช้เชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5596……..…98

4.1 ผลของปริมาณเส้นใยปาล์มที่เหมาะสม.....98

4.2 ผลของอุณหภูมิที่เหมาะสม.....100

4.3 ผลของพีเอชที่เหมาะสม……..……101

4.4 ผลของปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสม.....103

4.5 ผลของปริมาณสัดส่วนเอนไซม์เซลลูเลส และเบต้า-กลูโคซิเดสที่เหมาะสม.....105

5. การเปลี่ยนแปลงของเอทานอลภายใต้สภาวะที่เหมาะสม.....107

6. การผลิตเอทานอลแบบ SHF……...109

7. ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการไฮโดรไลซีสแบบกะ ที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้า ระบบ SSF……...…...…111

8. ศึกษาการผลิตเอทานอลโดยการไฮโดรไลซีสแบบกึ่งกะ ที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้า ระบบ SSF……..…112

สารบัญ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

9. เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลกับงานวิจัยอื่นๆ.....116
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง.....121
ข้อเสนอแนะ.....123
เอกสารอ้างอิง.....125
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....133
ภาคผนวก ข การเตรียมสารเคมี.....140
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐาน.....142
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง.....143
ภาคผนวก จ การคำนวณ.....157
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....162

สารบัญตาราง

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 1 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของปาล์มน้ำมันเป็นรายจังหวัด.....8
ตารางที่ 2 ปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในวัสดุทางการเกษตร.....9
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในเส้นใยปาล์ม
กับวัตถุดิบทางการเกษตรอื่นๆ.....76
ตารางที่ 4 ปริมาณเส้นใยปาล์มที่เหลือหลังการเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
และแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....77
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากวัตถุดิบที่เตรียมด้วย
วิธีต่างในการวิจัยนี้ กับงานวิจัยอื่นๆ.....90
ตารางที่ 6 ปริมาณเอทานอล และผลผลิตที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF
เป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....107
ตารางที่ 7 การผลิตเอทานอลแบบ SSF กับแบบ SHF.....110
ตารางที่ 8 ปริมาณเอทานอล และผลผลิตที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยมีการ
ไฮโดรไลซีสแบบกะ และแบบกึ่งกะ ก่อนเข้าระบบ SSF.....116
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบต่างๆ กับเส้นใยปาล์มที่ใช้ในงาน
วิจัยครั้งนี้ด้วยวิธีการผลิตแบบ SSF.....118
ตารางที่ 10 ปริมาณเซลลูโลสในเส้นใยปาล์มที่ผ่านการเตรียม และไม่เตรียมด้วยสารเคมี.....144
ตารางที่ 11 ปริมาณกิจกรรมของเซลลูเลสในเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า.....146
ตารางที่ 12 ปริมาณกิจกรรมของเบต้า-กลูโคซิเดสในเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า.....146
ตารางที่ 13 ปริมาณกิจกรรมของของเบ้ตา-กลูโคซิเดสในเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดสทางการค้า...146
ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำตาล และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง ที่ได้จากการไฮโดรไลซีส
เส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate
ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....147
ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำตาล และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง ที่ได้จากการไฮโดรไลซีส
เส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate
ผสมกับเอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส 10 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์
พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 16 ปริมาณเอทานอล และ Y_{EtOH} ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 90, 100 และ 110 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……..…..148
ตารางที่ 17 ปริมาณเอทานอล และ Y_{EtOH} ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……148
ตารางที่ 18 ปริมาณเอทานอล และ Y_{EtOH} ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.5, 5.0 และ 5.5 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……....149
ตารางที่ 19 ปริมาณเอทานอล และ Y_{EtOH} ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 4-10 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 4-10 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……149
ตารางที่ 20 ปริมาณเอทานอล และ Y_{EtOH} ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 2-6 FPU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……..…..150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 21 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส จาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง.....151

ตารางที่ 22 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SHF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ไฮโดรไลซีสโดยใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หมักเอทานอล ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง……..……152

ตารางที่ 23 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส จาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง.....153

ตารางที่ 24 การผลิตเอทานอลแบบ SSF ด้วยปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 6 FPU/g substrate และ เบต้า-กลูโคซิเดส 3 IU/g substrate โดยมีการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเติมเส้นใยปาล์มที่เวลา 6 ชั่วโมงของการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าระบบ SSF ที่ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 25 การผลิตเอทานอลแบบ SSF ด้วยปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 6 FPU/g substrate และ เบต้า-กลูโคซิเดส 3 IU/g substrate โดยมีการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเติมเส้นใยปาล์ม ที่เวลา 12 ชั่วโมงของการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าระบบ SSF ที่ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที……..…..155

ตารางที่ 26 การผลิตเอทานอลแบบ SSF ด้วยปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 6 FPU/g substrate และ เบต้า-กลูโคซิเดส 3 IU/g substrate โดยมีการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเติมเส้นใยปาล์ม ที่เวลา 6 และ 12 ชั่วโมงของการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนเข้าระบบ SSF ที่ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....156

สารบัญภาพ

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาพที่ 1 ปาล์มน้ำมัน……..3
ภาพที่ 2 สัดส่วนและผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม.....5
ภาพที่ 3a การแยกองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช.....10
ภาพที่ 3b ลิกโนเซลลูโลส……11
ภาพที่ 4 โครงสร้างของเซลลูโลส.....11
ภาพที่ 5 รูปร่างโครงสร้างของเซลลูโลสที่พบในผนังเซลล์พืชโดยทั่วไป.....12
ภาพที่ 6 พันธะระหว่างไฮโดรเจนกับพันธะ β-1,4-glucan ในเส้นใยเซลลูโลส……..13
ภาพที่ 7 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส……..14
ภาพที่ 8 โครงสร้างของลิกนิน……15
ภาพที่ 9 การผลิตเอทานอลจากกลูโคสโดย Embden-Meyerhof-Panmas Pathway…….17
ภาพที่ 10 การผลิตเอทานอล และแลคแตท จากกลูโคส และไซโลสโดยวิถี
Heterolactic Fermentation Pathway…….....18
ภาพที่ 11 การผลิตเอทานอลด้วยน้ำตาลเพนโตสโดยเชื้อยีสต์ผ่านวิถี
Pentose phosphate และ Embden-Meyerhof-Parnas pathway……20
ภาพที่ 12 การผลิตเอทานอลจากกลูโคสโดย Entner-Doudoroff Pathway……..……21
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลลูโลสเป็นเอทานอล……..……22
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของลิกโนเซลลูโลสโดยวิธีทางชีวภาพ……..…32
ภาพที่ 15 กลไกลการทำงานของเอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยสลายเซลลูโลส……35
ภาพที่ 16 การไฮโดรไลซีสด้วยเอนไซม์ของเซลลูโลสด้วยอัตราการเขย่าที่แตกต่างกัน.....40
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอล.....44
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล Xylose เป็นเอทานอล.....45
ภาพที่ 19 การไฮโดรไลซีสน้ำตาล Sucrose……..…45
ภาพที่ 20 การผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบต่างๆ.....46
ภาพที่ 21 การผลิตเอทานอลจากมันเส้นด้วยกระบวนการผลิต.....48
ภาพที่ 22 เครื่องบด Hammer mill ……..…66
ภาพที่ 23 เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยปาล์ม และทะลายปาล์มเปล่า.....76

สารบัญภาพ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาพที่ 24 สัดส่วนปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน ในเส้นใยปาล์มหลังการเตรียมด้วย
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....79
ภาพที่ 25 ปริมาณลิกนินที่ลดลง จากการเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....80
ภาพที่ 26 ปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน ที่เหลือในเส้นใยปาล์มหลังการเตรียมด้วย
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์.....82
ภาพที่ 27 สัดส่วนปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน ในเส้นในปาล์มหลังการเตรียมด้วย
แคลเซียมไฮดรอกไซด์.....85
ภาพที่ 28 ปริมาณลิกนินที่ลดลงหลังจากการเตรียมด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์……..……86
ภาพที่ 29 ปริมาณเซลลูโลส และลิกนิน ที่เหลือหลังการเตรียมด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์.....87
ภาพที่ 30 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซีสเส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์
เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 4.8
อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที……..93
ภาพที่ 31 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเส้นใยปาล์มเป็นน้ำตาลรีดิวส์ ที่ได้จากการไฮโดรไลซีส
เส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate
ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที……..94
ภาพที่ 32 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการไฮโดรไลซีสเส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์
เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate ผสมกับ เอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส 10 IU/g
substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส
อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที……..……96
ภาพที่ 33 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเส้นใยปาล์มเป็นน้ำตาลรีดิวส์ ที่ได้จากการไฮโดรไลซีส
เส้นใยปาล์มที่เตรียมแล้ว ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ปริมาณ 10 FPU/g substrate ผสม
กับ เอนไซม์เบต้า-กลูโคซิเดส 10 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์
พีเอช 4.8 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาพที่ 34 ปริมาณเอทานอล (C_{EtOH}) และผลผลิต (Y_{EtOH}) ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 90, 100 และ 110 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....99

ภาพที่ 35 ปริมาณเอทานอล (C_{EtOH}) และผลผลิต (Y_{EtOH}) ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง.....101

ภาพที่ 36 ปริมาณเอทานอล (C_{EtOH}) และผลผลิต (Y_{EtOH}) ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 8 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 8 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 4.5, 5.0 และ 5.5 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง…….....102

ภาพที่ 37 ปริมาณเอทานอล (C_{EtOH}) และผลผลิต (Y_{EtOH}) ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 4-10 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 4-10 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง……..…..104

สารบัญภาพ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาพที่ 38 ปริมาณเอทานอล(C_{EtOH}) และผลผลิต (Y_{EtOH}) ที่ได้จากการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 2-6 FPU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง……...106

ภาพที่ 39 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส จาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง.....108

ภาพที่ 40 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SHF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ไฮโดรไลซีสโดยใช้ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสจาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หมักเอทานอลที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 96 ชั่วโมง……..……110

ภาพที่ 41 ปริมาณเอทานอล, พีอช, น้ำตาลรีดิวส์ และเชื้อยีสต์ ในการผลิตเอทานอลแบบ SSF โดยใช้ปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส จาก *T. reesei* 6 FPU/g substrate ผสมกับ เบต้า-กลูโคซิเดสจาก *A. niger* 3 IU/g substrate ในสารละลายซิเตรตบับเฟอร์ พีเอช 5.0 อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที หลังจากการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง.....111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ชื่อเรื่อง **หน้า**

ภาพที่ 42 การผลิตเอทานอลแบบ SSF ด้วยปริมาณเส้นใยปาล์มเริ่มต้น 100 กรัมต่อลิตร ปริมาณเอนไซม์เซลลูเลส 6 FPU/g substrate และ เบต้า-กลูโคซิเดส 3 IU/g substrate โดยมีการไฮโดรไลซีสที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนเข้าระบบ SSF ที่ 35 องศาเซลเซียส พีเอช 5.0 อัตราการเขย่า 160 รอบต่อนาที.....115
ภาพที่ 43 กระบวนการผลิตเอทานอลจากเส้นใยปาล์ม.....124