สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ค
กิตติกรรมประกาศ		ง
สารบัญ		จ
รายการตาราง		ซ
รายการรูปประกอบ		ฎ
รายการสัญลักษณ์		ฒ
บทที่		
1. บทนำ		**1**
1.1	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3	ขอบเขตการวิจัย	1
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		**3**
2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล	3
2.2	การผลิตแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล	5
2.2.1	การอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (การอัดเปียก)	5
2.2.2	การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากผักตบชวา	7
2.3	ตัวประสาน	8
2.4	สมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง	10
2.4.1	ความต้านทานแรงกด	10
2.4.2	ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง	11
2.4.3	ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง	14
2.5	ส่วนประกอบและค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส	15
2.5.1	Proximate Analysis	16

หน้า

2.5.2	Ultimate Analysis	16
2.6	กระบวนการแกซิฟิเคชัน	18
2.6.1	การเผา	18
2.6.2	การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	18
3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย		**21**
3.1	วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	21
3.1.1	วัตถุดิบที่ใช้อัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง	21
3.1.2	ตัวประสานที่ใช้ในการอัดแท่งเชื้อเพลิง	23
3.2	อุปกรณ์การทดลอง	24
3.3	ขั้นตอนการทดลองอัดแท่งเชื้อเพลิง	24
3.4	การทดลองที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน	25
3.4.1	อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสานแป้งเปียก	25
3.4.2	อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน	26
3.5	การทดลองที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน	28
3.5.1	อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสานกากน้ำตาล	28
3.5.2	อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบเมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน	29
3.6	การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง	32
3.7	การออกแบบสร้างเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเอ็กซ์ทรูชัน และทดสอบผลิตแท่งเชื้อเพลิง	33
3.7.1	การออกแบบสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงแข็ง	33
3.7.2	การคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย	35
3.7.3	การคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย	51
3.8	การศึกษารูปร่างของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะกับการใช้ในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง	52
4. ผลการทดลอง		**53**
4.1	ผลการทดลองการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล	53
4.1.1	ผลการทดลองที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน (อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสาน)	53
4.1.2	ผลการทดลองที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน (อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบ)	54

หน้า

4.1.3 ผลการทดลองที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน (อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสาน) 60

4.1.4 ผลการทดลองที่ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน (อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบ) 61

4.2 ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่สร้างขึ้น 66

4.3 ผลการศึกษารูปร่างของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะกับการใช้ในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง 71

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ **77**

5.1 สรุปผลการทดลอง 77

5.1.1 อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสานแป้งเปียก 77

5.1.2 อิทธิพลของสัดส่วนตัวประสานกากน้ำตาล 77

5.1.3 อิทธิพลของสัดส่วนวัตถุดิบ 78

5.1.4 การเปรียบเทียบระหว่างตัวประสานแป้งเปียก และกากน้ำตาล 79

5.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้น 80

5.3 การศึกษารูปร่างลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงที่เหมาะกับการนำไปใช้ในเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง 80

5.4 ข้อเสนอแนะ 80

เอกสารอ้างอิง 82

ภาคผนวก

ก. ตารางบันทึกผลการทดลอง 84

ข. แผนภูมิขั้นตอนการคำนวณสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง 101

ค. รูปแบบของสกรู และเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง 106

ง. ผลงานการตีพิมพ์และนำเสนอผลงาน 118

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ระยะเวลาของการอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลในอัตราส่วนผสมต่างๆ	6
2.2	การวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Proximate Analysis	16
2.3	การวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลแบบ Ultimate Analysis	17
2.4	ค่าความร้อนของแก๊สที่ได้จากแหล่งผลิตต่างๆ	17
2.5	ส่วนประกอบ (Composition) และค่าความร้อน (Heating Value) จากโปรดิวเซอร์-แก๊สที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นไม้และถ่านไม้	17
3.1	ค่า Proximate Analysis ของวัตถุดิบหลักที่นำมาใช้อัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง	21
3.2	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน	25
3.3	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและซังข้าวโพด ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %	26
3.4	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลัง ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %	26
3.5	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและชานอ้อย ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %	26
3.6	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและแกลบ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 %	27
3.7	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและซังข้าวโพด ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %	27
3.8	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลัง ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %	27
3.9	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและชานอ้อย ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %	28
3.10	เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและแกลบ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 %	28

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

3.11 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงซึ่งใช้กากน้ำตาล เป็นตัวประสาน 29

3.12 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและซังข้าวโพด ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 29

3.13 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและกากมัน สำปะหลังซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 30

3.14 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและชานอ้อย ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 30

3.15 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและแกลบ ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 30

3.16 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและซังข้าวโพด ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 31

3.17 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและกากมัน สำปะหลังซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 31

3.18 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและชานอ้อย ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 31

3.19 เงื่อนไขการทดลองเพื่อการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากสบู่ดำและแกลบ ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 32

3.20 ผลสรุปของการคำนวณสกรูในช□วงการอัด 50

3.21 ผลการคำนวณกำลังงานที่ใช□ในการขับสกรูอัดแท□งเชื้อเพลิง 51

4.1 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นกับเครื่องอัดแท่ง เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อที่ 3.3 71

4.2 องค์ประกอบของแก๊สที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลรูปร่างลักษณะต่างๆ 74

4.3 ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลรูปร่างลักษณะต่างๆ 74

4.4 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่ง เชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นใหม่ 75

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.5 เปรียบเทียบองค์ประกอบของแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวลลักษณะรูปร่างทรงกระบอกกลวงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นใหม่และผลการทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 76

ก.1 ผลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนการผสมต่างๆ ระหว่างสบู่ดำกับตัวประสานแป้งเปียก 85

ก.2 ผลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนการผสมต่างๆ ระหว่างสบู่ดำกับตัวประสานกากน้ำตาล 85

ก.3 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 86

ก.4 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 86

ก.5 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 87

ก.6 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและแกลบซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15% 87

ก.7 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 88

ก.8 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 88

ก.9 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 89

ก.10 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและแกลบซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 89

ก.11 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 90

ก.12 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลังซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 90

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ก.13 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้กากน้ำตาล เป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 91

ก.14 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและแกลบซึ่งใช้กากน้ำตาล เป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % 91

ก.15 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้ กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 92

ก.16 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและกากมันสำปะหลัง ซึ่งใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 92

ก.17 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและชานอ้อยซึ่งใช้กากน้ำตาล เป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 93

ก.18 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและแกลบซึ่งใช้กากน้ำตาล เป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % 93

ก.19 สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากสบู่ดำและซังข้าวโพดซึ่งใช้แป้งเปียก เป็นตัวประสานที่สัดส่วน 15 % โดยผลิตด้วยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นใหม่ 94

ก.20 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกมีรูกลวงตรงกลาง 95

ก.21 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเล็กมีรูกลวงตรงกลาง 96

ก.22 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกตัน 97

ก.23 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะแบบอัดเป็นแท่งเกลียว 98

ก.24 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมตัน 99

ก.25 สมบัติและประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวมวลที่ผลิตจากเชื้อเพลิงชีวมวล ที่มีรูปร่างลักษณะเป็นชิ้นไม้ที่สับเป็นเหลี่ยม 100

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงเขียวแบบสกรู	5
2.2	เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบสกรูชนิดเกลียวตัวหนอน	8
2.3	เครื่องทดสอบ UTM (Universal Testing Machine)	11
2.4	การชั่งบนตาชั่งดิจิตอล	12
2.5	การผูกลวดชนวน	12
2.6	ถังออกซิเจน และการเติมออกซิเจน	12
2.7	การนำบอมบ์ใส่ลงใน Bucket	13
2.8	บอมบ์แคลอรีมิเตอร์	14
2.9	การหาค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง	15
3.1	ลักษณะของเครื่องบดย่อยวัสดุ	22
3.2	ลักษณะของวัตถุดิบที่ผ่านการบด	22
3.3	ลักษณะของกากน้ำตาลที่ใช้ในงานวิจัย	23
3.4	ลักษณะของตัวประสานแป้งเปียกที่ใช้ในงานวิจัย	23
3.5	ลักษณะการวางแท่งเชื้อเพลิงในการทดสอบการต้านทานแรงกด	32
3.6	ลักษณะโครงสร้างหลักในการสร้างเครื่องอัดแบบเอ็กซ์ทรูชัน	34
3.7	ลักษณะสกรูที่ใช้ในงานอัดโพลิเมอร์ทั่วไป	35
3.8	ลักษณะสกรูที่ใช้อัดแท่งเชื้อเพลิงในงานวิจัย	35
3.9	รูปแบบสกรู และตัวแปรที่กำหนด	36
3.10	ลักษณะการลดความสูงของฟันเกลียวในช่วงการอัด	42
3.11	ลักษณะปริมาตรในร□องเกลียวอัด	47
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อตัวประสานแป้งเปียก	53
4.2	ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้	54
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15	54

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 55

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 56

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 57

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 58

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆซึ่งใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 59

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อตัวประสานโมลาส 60

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 61

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 62

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 15 62

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 63

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 64

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงกับสัดส่วนการผสมสบู่ดำต่อวัสดุชีวมวลต่างๆ ซึ่งใช้โมลาสเป็นตัวประสานที่สัดส่วนร้อยละ 20 65

4.16 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ทดลองในหัวข้อ 3.4-3.5 (ขนาด10 แรงม้า) 66

4.17 เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ทำการสร้างขึ้นใหม่ (ขนาด5 แรงม้า) 66

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.18 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล ที่ทำการสร้างขึ้นใหม่ 67

4.19 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง ที่สร้างขึ้นใหม่ (5 แรงม้า) กับเครื่องอัดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป(10 แรงม้า) 68

4.20 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงกดของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่ง-เชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นใหม่ (5 แรงม้า) กับเครื่องอัดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (10 แรงม้า) 68

4.21 เปรียบเทียบค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง ที่สร้างขึ้นใหม่ (5 แรงม้า) กับเครื่องอัดที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป (10 แรงม้า) 69

4.22 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอกมีรูกลวงตรงกลาง 72

4.23 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอกขนาดเล็กมีรูกลวงตรงกลาง 72

4.24 ลักษณะแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอกตัน 72

4.25 เชื้อเพลิงที่ถูกอัดเป็นแท่งเกลียว 73

4.26 แท่งเชื้อเพลิงที่ถูกอัดเป็นก้อนทรงสี่เหลี่ยมตัน 73

4.27 เชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นชิ้นไม้สับเป็นเหลี่ยม 73

รายการสัญลักษณ์

A	พื้นที่, m^2
B	ความกว้างของร่องเกลียวที่วัดตามแนวสกรู, m
b	ความหนาของฟันเกลียว, m
c	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, kJ/kg·K
D	ความหนาแน่นของแท่งเชื้อเพลิง, kg/m^3
D_b	เส้นผ่านศูนย์กลางของ barrel, m
$\bar{D}_{bi}$	ความสูงของฟันเกลียวเฉลี่ย, m
D_{bi-1}	ความสูงของฟันเกลียวตำแหน่งที่พิจารณามาก่อนแล้ว, m
D_{bi}	ความสูงของฟันเกลียวตำแหน่งที่กำลังพิจารณา, m
D_m	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, m
D_s	เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู, m
e	ค่าปรับแก้ค่าความร้อนของลวดชนวน, Cal/cm
F	แรงที่กดลงบนแท่งเชื้อเพลิง, N
f_b	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างอนุภาคกับผิวของ barrel, “ไร้หน่วย”
f_s	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างอนุภาคกับผิวของสกรู, “ไร้หน่วย”
g	น้ำหนักตัวอย่างของเชื้อเพลิง, kg
H	ความลึกของร่องเกลียวสกรู, m
HHV	ค่าความร้อนสูงของแท่งเชื้อเพลิง, MJ/kg
HHV_g	ค่าความร้อนสูงของแก๊ส, MJ/kg
HHV_{bio}	ค่าความร้อนสูงของชีวมวล, MJ/kg
K	ตัวแปรสมมติ, “ไร้หน่วย”
M	มวลของแท่งเชื้อเพลิง, kg
M_1	ตัวแปรสมมติ, “ไร้หน่วย”
M_2	ตัวแปรสมมติ, “ไร้หน่วย”
M_3	ตัวแปรสมมติ, “ไร้หน่วย”
M_{Total}	ตัวแปรสมมติ, “ไร้หน่วย”
$\dot{M}_s$	อัตราการผลิตแท่งเชื้อเพลิง, kg/min
m	มวลของน้ำในแคลอรีมิเตอร์, kg

N	ความเร็วรอบของสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง, rpm
P	ความดันที่กระทำกับเบดอนุภาคของชีวมวล, N/m^2
P_1	ความดันของเบดอนุภาคชีวมวลที่ตำแหน่งทางเข้าของร่องเกลียว, N/m^2
P_2	ความดันของเบดอนุภาคชีวมวลที่ตำแหน่งทางออกของร่องเกลียว, N/m^2
P_w	กำลังงานที่ใช้ในการหมุนร่องเกลียวสกรู, kW
p	จำนวนปากของเกลียวสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง, ปาก
Q	ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง, MJ/kg
S	ระยะพิชของฟันเกลียวสกรูอัดแท่งเชื้อเพลิง, m
T_1	อุณหภูมิน้ำก่อนการเผาไหม้, °C
T_2	อุณหภูมิน้ำหลังการเผาไหม้, °C
ΔT	อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น, °C
V	ปริมาตรของแท่งเชื้อเพลิง, m^3
V	ปริมาตรของร่องเกลียว, m^3
V_b	ความเร็วของ barrel, m/s
W_b	ความกว้างระหว่างฟันเกลียวสกรูในแนวเอียงที่ตำแหน่งยอดฟันสกรู, m
W_m	ความกว้างระหว่างฟันเกลียวสกรูเฉลี่ยในแนวเอียงระหว่างโคน และยอดฟันสกรู, m
W_s	ความกว้างระหว่างฟันเกลียวสกรูในแนวเอียงที่ตำแหน่งโคนฟันสกรู, m
Z_b	ความกว้างของ barrel ตามแนวแกนสกรู, m
ρ	ความหนาแน่น, kg/m^3
θ	มุมขนถ่ายเบดอนุภาคของชีวมวล, degree
ϕ_b	มุมเอียงของฟันสกรูที่ตำแหน่งยอดฟันสกรู, degree
ϕ_m	มุมเอียงของฟันสกรูเฉลี่ยระหว่างโคน และยอดฟันสกรู, degree
ϕ_s	มุมเอียงของฟันสกรูที่ตำแหน่งโคนฟันสกรู, degree