

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



208812



การเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบแห้งชิ้นไม้ในระบบการอบแห้งชิ้นไม้
ของอุตสาหกรรมแผ่นไม้ใยไม้
THE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF BAGASSE PRE-DRYER
IN PARTICLE BOARD INDUSTRY

นายสิทธิพร สมนาน

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2534

600256851

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



208812



การเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบแห้งขั้นต้นในระบบการอบแห้งชานอ้อย
ของอุตสาหกรรมปาร์ติเกิลบอร์ด

THE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF BAGASSE PRE-DRYER
IN PARTICLE BOARD INDUSTRY



นายสิทธิพร สมทรัพย์

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2554

การเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบแห้งขั้นต้นในระบบการอบแห้งชานอ้อย
ของอุตสาหกรรมปาร์ติเกิลบอร์ด

นายสิทธิพร สมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

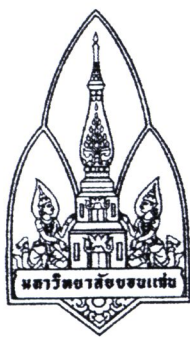
พ.ศ. 2554

**THE EFFICIENCY IMPROVEMENT OF BAGASSE PRE-DRYER
IN PARTICLE BOARD INDUSTRY**

MR. SITTIPORN SOMSAP

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN ENERGY ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL KHON KAEN UNIVERSITY**

2011



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
หลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบแห้งขั้นต้นในระบบการอบแห้งขนอ้อย
ของอุตสาหกรรมปาร์ติเกิลบอร์ด

ชื่อผู้ทำวิทยานิพนธ์ : นายสิทธิพร สมทรัพย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ :	ผศ.ดร. อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์	ประธานกรรมการ
	รศ.ดร. รัชพล สันติวรากร	กรรมการ
	ผศ.ดร. นิตรชัย เบญจปิยะพร	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ :

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรากร)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ลำปาง แม่นมัตย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมนึก ชีระกุลพิสุทธ์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

สิทธิพร สมทรัพย์. 2554. การเพิ่มประสิทธิภาพเตาอบแห้งขั้นต้นในระบบการอบแห้งชานอ้อยของอุตสาหกรรม
ปาร์ติเกิลบอร์ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รองศาสตราจารย์ ดร. รัชพล สันติวรากร

บทคัดย่อ

208812

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการศึกษาหาประสิทธิภาพการอบแห้งชานอ้อยและศึกษาหาแนวทางลดการใช้เชื้อเพลิงของระบบอบแห้งชานอ้อยโดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิ ปริมาณเชื้อเพลิง ปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสีย ปริมาณความร้อนที่ต้องการในการอบแห้งและใช้หลักสมมูลพลังงานความร้อนในการหาประสิทธิภาพการอบแห้ง จากนั้นดำเนินการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการอบแห้งชานอ้อยขั้นต้นโดยการหุ้มฉนวนกันความร้อนด้วยฉนวนใยแก้วที่มีความหนาแน่น 38 kg/m^3 ค่าสภาพการนำความร้อน 0.032 W/m . หนา 75 mm . และการพัฒนาระบบอัตโนมัติในการปรับรอบความเร็วของระบบลำเลียงฟุ้งชานอ้อยก่อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของระบบลำเลียงฟุ้งชานอ้อย (y) ให้เหมาะสมกับความชื้นของชานอ้อย (x) ตามความสัมพันธ์แบบสมการเชิงเส้น $y = 35.70x - 1005$ จากผลการศึกษาพบว่าหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพรวมของระบบการอบแห้งชานอ้อยขั้นต้นเพิ่มขึ้น 10.09% จาก 45.61% เป็น 55.70% คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ประหยัดได้ $2,026 \text{ MJ/h}$. สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 119.53 kg/h คิดเป็น ร้อยละ 19.48% ของปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด เมื่อราคาฟุ้งชานอ้อยเท่ากับ 0.3 บาท/กิโลกรัม และต้นทุนในการปรับปรุงระบบทั้งหมดเป็น $92,402$ บาท จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายค่าน้ำเชื้อเพลิงได้ $258,184.8$ บาท/ปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 0.36 ปี

Sittiporn Somsap. 2011. **The Efficiency Improvement of Bagasse Pre-dryer in Particle Board Industry,**

Master of Engineering Thesis in Energy Engineering, Graduate School, Khon Kaen University.

Thesis Advisor: Assoc.Prof. Dr.Ratchaphon Suntivarakorn

ABSTRACT

208812

This research presents a method to determine an efficiency of bagasse drying and to find a way to reduce a fuel consumption of bagasse drying. The temperature of hot air and bagasse, fuel consumption and % oxygen of exhaust gas were measured to find the efficiency of drying process. The principle of energy balance was used in this study in order to analysis the energy efficiency. Then, two energy measure were studied to improve the efficiency of Pre-dryer system. First, insulator was installed at the old furnace from fiberglass with the thickness of 75 mm. The density and thermal conduction of the insulator were 38 kg/m^3 and 0.032 W/m , respectively. Second, The automatic system to adjust the speed cycle of the bagasse dust conveyor before entering the furnace was developed and applied in the system by controlling the speed cycle of the bagasse dust conveyor (y) and the bagasse moisture content (x) as the relationship of linear equations $y = 35.70x - 1005$. From the study, The results showed the total efficiency of bagasse drying system after improvement was increased 10.09 %. from 45.61 % to 55.70 %. This can save the energy about 2,026 MJ/h. or 93.77 kg. of fuel per hour. If the price of bagasse dust is 0.3 baht/kg and the investment cost is 92,402 bath, There two energy improvement method can reduce the energy openness about 258,184.8 baht/year. and a payback period is 0.36 year.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จลุล่วงของวิทยานิพนธ์นี้จะเกิดขึ้นมิได้ ถ้าหากไม่ได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ รัชพล สันติวรารกร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ของผู้เขียน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางและความช่วยเหลือต่างๆ อันเป็นประโยชน์ รวมถึงการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ และ ผศ.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ ในฐานะประธานกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบวิทยานิพนธ์และกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร ในฐานะกรรมการผู้สอบวิทยานิพนธ์

กราบขอบพระคุณบริษัท พาเนล พลัส จำกัด ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการศึกษาวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณอาทิตย์ ประสบสม ผู้จัดการโรงงาน และ พี่วีรพล นามปัญญา วิศวกรแผนกผลิต 1 รวมถึง พี่ๆวิศวกรและพนักงานทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาอำนวยความสะดวกในด้าน ข้อมูล การจัดทำ การติดตั้งอุปกรณ์ และการจัดเก็บข้อมูล

กราบขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทุน สกว.-อุตสาหกรรม ประจำปี 2552 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิจัยเรื่องนี้

ขอขอบคุณพี่น้องชาววิศวะทุกคนที่สนับสนุนช่วยเหลืองานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พี่ต้อมและพี่ปิง ผู้คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจ

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญยิ่งในการศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สิทธิพร สมทรัพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.2 การพัฒนาโครงการร่วมกับผู้ประกอบการ	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ของงานวิจัย	3
1.6 แผนการทำงาน (18 เดือน)	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 การผลิตน้ำตาลทราย	5
2.2 ชานอ้อย	8
2.3 กระบวนการอบแห้งชานอ้อยขั้นพื้นฐาน (Pre-drying)	9
2.4 ส่วนป้อนชีวมวลเข้าสู่เตาเผาชีวมวลจากฝุ่นชานอ้อย (Furnace)	10
2.5 ส่วนห้องเผาไหม้	15
2.6 ส่วนดักฝุ่นละอองและอนุภาคแข็งก่อนการอบแห้งชานอ้อย	17
2.7 ลักษณะของการอบแห้ง	19
2.8 การวิเคราะห์เชื้อเพลิง	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 การผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากชานอ้อย	25
3.1 ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมแผ่นไม้วิทยาศาสตร์	25
3.2 ความเหมาะสมในการนำแผ่นปาร์ติเกิลไปใช้งาน	27
3.3 การผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากชานอ้อย	28
3.4 กระบวนการปิดผิวหน้าแผ่นปาร์ติเกิลด้วย Melamine Paper	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying)	32
4.1 กำหนดสมมุติฐาน	32
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ	32
4.3 การหาประสิทธิภาพของเตาเผาชีวมวลจากฟืนชานอ้อย (Furnace)	33
4.4 การหาประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเผาเก่า	36
4.5 การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง	38
4.6 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด	39
4.7 วิธีการวิจัย	42
บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying)	46
5.1 การหุ้มฉนวนกันความร้อนที่เตาเผาเก่า (Old furnace)	46
5.2 การพัฒนาระบบอัตโนมัติในการปรับรอบความเร็วของระบบลำเลียงฟืนชานอ้อยตามปริมาณความชื้นของชานอ้อยก่อนอบ	61
บทที่ 6 ผลการทดลอง	70
6.1 ประสิทธิภาพการอบแห้งก่อนปรับปรุง	70
6.2 ประสิทธิภาพการอบแห้งหลังปรับปรุง	73
6.3 ผลการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่เตาเผาเก่า (Old furnace)	75
6.4 ผลการทดสอบระบบอัตโนมัติในการปรับรอบความเร็วของระบบลำเลียงตามปริมาณความชื้นของชานอ้อยก่อนอบ	78
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	87
7.1 สรุปผล	87
7.2 ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก เตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)	92
ภาคผนวก ข ตารางการวิเคราะห์เชื้อเพลิงฟืนชานอ้อย	97
ภาคผนวก ค ตารางบันทึกผลการตรวจวัด วันที่ 9 - 10 เมษายน 2553	99
ภาคผนวก ง ตารางบันทึกผลการตรวจวัด วันที่ 3,4,5,15 ตุลาคม 2553	102
ภาคผนวก จ ตารางการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพก่อนการปรับปรุงของเตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ ตารางการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงของเตอบแห้ง ของเตอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)	115
ภาคผนวก ช การคาดการณ์ผลประหยัดจากการหุ้มฉนวนที่เตาเผาเก่า	130
ภาคผนวก ซ ความสัมพันธ์ความเร็วรอบของระบบลำเลียงฟุ้งชานอ้อยที่เหมาะสมกับ ความชื้นชานอ้อยเข้า	135
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์	144
ประวัติผู้เขียน	145

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	4
ตารางที่ 5.1	58
ตารางที่ 5.2	65
ตารางที่ 6.1	71
ตารางที่ 6.2	74
ตารางที่ 6.3	78
ตารางที่ 6.4	80
ตารางที่ 6.5	86
ตารางที่ ข-1	98
ตารางที่ ค-1	100
ตารางที่ ค-2	101
ตารางที่ ง-1	103
ตารางที่ ง-2	104
ตารางที่ ง-3	105
ตารางที่ ง-4	106
ตารางที่ จ-1	108
ตารางที่ จ-2	109
ตารางที่ จ-3	110
ตารางที่ จ-4	111
ตารางที่ จ-5	112
ตารางที่ จ-6	113
ตารางที่ จ-7	114
ตารางที่ ฉ-1	116

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ ฉ-2	การหาความร้อนออกที่จะนำไปใช้ประโยชน์หลังการปรับปรุง (Q_2)
ตารางที่ ฉ-3	การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเผาชีวมวลจากชานอ้อย หลังการปรับปรุง (Fumace)
ตารางที่ ฉ-4	การหาความร้อนของไอเสียก่อนเข้าช่วงการอบแห้งขั้นต้นหลังการปรับปรุง (Q_3)
ตารางที่ ฉ-5	การหาประสิทธิภาพการส่งผ่านความร้อนของเตาเผาเก่าหลังการปรับปรุง (Old fumace)
ตารางที่ ฉ-6	การหาค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากชานอ้อยหลังการปรับปรุง (Q_4)
ตารางที่ ฉ-7	การหาค่าประสิทธิภาพของช่วงการอบแห้งขั้นต้นหลังการปรับปรุง (Drying chamber)
ตารางที่ ช-1	การหาความร้อนสูญเสียจากเตาเผาเก่าเปลือย (ก่อนการปรับปรุง)
ตารางที่ ช-2	การคำนวณเพื่อประมาณอุณหภูมิผิวของเตาเผาเก่าเมื่อหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 75 mm.
ตารางที่ ช-3	การคำนวณความสูญเสียความร้อนของเตาเผาเก่าเมื่อหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 75 mm.
ตารางที่ ช-4	การคำนวณหาประสิทธิภาพภายหลังการหุ้มฉนวน
ตารางที่ ช-1	ข้อมูลความเร็วรอบระบบลำเลียงฝุ่นชานอ้อยกับความชื้นชานอ้อย วันที่ 1-10 เมษายน 2553
ตารางที่ ช-2	การคำนวณหาความเร็วรอบของระบบลำเลียงฝุ่นชานอ้อยที่เหมาะสม กับความชื้นชานอ้อยเข้า
ตารางที่ ช-3	ปริมาณเชื้อเพลิงที่คาดว่าจะประหยัดได้หลังจากการปรับความเร็วรอบของระบบลำเลียง

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ระเบียบวิธีวิจัย	3
ภาพที่ 2.1 ขบวนการผลิตน้ำตาลดิบจากอ้อย	7
ภาพที่ 2.2 ขบวนการผลิตน้ำตาลรีไฟน์จากอ้อย	7
ภาพที่ 2.3 เตาอบแห้งขานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer) ประกอบไปด้วย 1 Silo; 2 Blower; 3 Furnace; 4 Cyclone; 5 Ash collector; 6 Old furnace; 7 Bagasse bin; 8 Drying chamber; 9 Cyclone; 10 Blower; 11 Main drying	9
ภาพที่ 2.4 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตเกอร์แบบตะกรับเลื่อน	11
ภาพที่ 2.5 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตเกอร์แบบกระจาย [6]	11
ภาพที่ 2.6 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบสโตเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง	12
ภาพที่ 2.7 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟัลเวอร์ไรซ์	13
ภาพที่ 2.8 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบไซโคลน	14
ภาพที่ 2.9 เตาเผาเชื้อเพลิงระบบฟลูอิดไคซ์เบค	14
ภาพที่ 2.10 เตาเผาชีวมวลจากฟืนขานอ้อย (Furnace)	15
ภาพที่ 2.11 เครื่องดักฝุ่นด้วยไฟฟ้า (Electrostatic precipitator)	17
ภาพที่ 2.12 เครื่องกรองฝุ่นแบบถุงกรอง (Bag filter)	18
ภาพที่ 2.13 เครื่องแยกฝุ่นแบบลมหมุน (Cyclone separator)	18
ภาพที่ 2.14 เส้นลักษณะเฉพาะสำหรับการอบแห้ง [8]	19
ภาพที่ 2.15 เชื้อเพลิงฟืนขานอ้อยที่เหลือจากขบวนการผลิตไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด	20
ภาพที่ 2.16 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงโดยปริมาณในแต่ละส่วนจะขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง [9]	21
ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากขานอ้อย [21]	31
ภาพที่ 4.1 กระบวนการอบแห้งขานอ้อยขั้นต้น (Pre-drying)	32
ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ทางความร้อนของเตาเผาชีวมวลจากฟืนขานอ้อย (Furnace)	33
ภาพที่ 4.3 ส่วนประกอบของสกรูป้อนเชื้อเพลิง	34
ภาพที่ 4.4 การคำนวณอัตราการขนถ่ายวัสดุ	34
ภาพที่ 4.5 เตาเผาเก่า (Old furnace)	36
ภาพที่ 4.6 การวิเคราะห์ทางความร้อนของช่วงการอบแห้ง	38
ภาพที่ 4.7 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสด้วยอินฟราเรด	40
ภาพที่ 4.8 เครื่องเทอร์โมคัปเปิ้ลแบบไทป์เค	40
ภาพที่ 4.9 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	40
ภาพที่ 4.10 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิของไม้แบบเข็มเจาะ	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.11 เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอบ	41
ภาพที่ 4.12 เครื่องวัดความเร็วลม	41
ภาพที่ 4.13 จุดตรวจวัดในเตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)	42
ภาพที่ 4.14 อัตราการลำเลียงฟ่อนชานอ้อยเข้าเตาเผา	43
ภาพที่ 4.15 จุดวัดก๊าซไอร้อนเข้า (Q_2)	43
ภาพที่ 4.16 จุดวัดก๊าซไอร้อนก่อนเข้าสู่การอบ	44
ภาพที่ 4.17 จุดวัดก๊าซไอร้อนทิ้งหลังการอบ	44
ภาพที่ 4.18 จุดเก็บตัวอย่างชานอ้อยก่อนและหลังการอบ	45
ภาพที่ 5.1 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นของท่อน้ำร้อน โดยความร้อนจะเกิดการถ่ายเท สู่อากาศภายนอกในแนวรัศมี และการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบ 1 มิติ	47
ภาพที่ 5.2 ท่อทรงกระบอกยาวที่มีรัศมีภายนอก r_2 และภายใน r_1 อุณหภูมิผิวด้านใน T_1 และด้านนอก T_2	48
ภาพที่ 5.3 วงจรความต้านทานความร้อนของท่อทรงกระบอกมีการพาความร้อนเกิดขึ้นที่ ภายในและนอกท่อทรงกระบอก	49
ภาพที่ 5.4 ท่อทรงกระบอกที่มีการหุ้มฉนวน และบริเวณผิวด้านนอกฉนวนจะเกิดการพาความร้อน และจะมีวงจรความต้านทานความร้อนเกิดขึ้น	50
ภาพที่ 5.5 การเปลี่ยนแปลงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวน ในแนวรัศมีของ ท่อทรงกระบอก	51
ภาพที่ 5.6 เตาเผาเก่าก่อนการหุ้มฉนวน	53
ภาพที่ 5.7 ลักษณะของวงจรต้านทานความร้อน	54
ภาพที่ 5.8 ภาพสมมูลพลังงานจากการคาดการณ์ผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการหุ้มฉนวน	60
ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบระบบลำเลียงกับความชื้นชานอ้อยก่อนอบ	61
ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบระบบลำเลียงกับความชื้นชานอ้อยหลังอบ	62
ภาพที่ 5.11 การวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับความชื้นชานอ้อยเข้าอบ	63
ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของระบบลำเลียงฟ่อนชานอ้อยกับความชื้นก่อนอบ ของชานอ้อยจากการคำนวณ	66
ภาพที่ 5.13 ขั้นตอนการทำงานของระบบอัตโนมัติ	67
ภาพที่ 5.14 ลักษณะตัวตรวจวัดความชื้นในชานอ้อย [30]	68
ภาพที่ 5.15 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้า 0 - 5 v to 4 - 20 mA. [31]	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 6.1 สมดุลพลังงานของระบบก่อนการปรับปรุง	70
ภาพที่ 6.2 สมดุลพลังงานของระบบหลังการปรับปรุง	73
ภาพที่ 6.3 สมดุลพลังงานหลังหุ้มฉนวน	75
ภาพที่ 6.4 เตาเผาเก่าหลังการหุ้มฉนวน	76
ภาพที่ 6.5 การหาผลประหยัดเชื้อเพลิงฟืนชานอ้อยหลังการหุ้มฉนวน	76
ภาพที่ 6.6 การวัดค่าความชื้นในห้องทดลอง	79
ภาพที่ 6.7 (ก) เครื่องวัดความชื้นไม้แบบเข็มเจาะและ (ข) เครื่องวิเคราะห์ความชื้นแบบอบวัด	79
ภาพที่ 6.8 การวัดค่าความชื้นในการทดลองจริง	79
ภาพที่ 6.9 ความสัมพันธ์ของความชื้นชานอ้อยก่อนอบกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากระบบอัตโนมัติ	81
ภาพที่ 6.10 ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากระบบอัตโนมัติกับความเร็วรอบระบบลำเลียง	81
ภาพที่ 6.11 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ต่อเชื่อมเครื่องวัดความชื้น	82
ภาพที่ 6.12 ตำแหน่งติดตั้งหัวโพรบวัดความชื้นชานอ้อยก่อนอบ	82
ภาพที่ 6.13 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเร็วรอบระบบลำเลียงกับความชื้นชานอ้อยเข้าอบก่อนและหลังการปรับปรุง	83
ภาพที่ 6.14 ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงกับความชื้นชานอ้อยเข้าอบ	84
ภาพที่ 6.15 การหาผลประหยัดเชื้อเพลิงฟืนชานอ้อยหลังการปรับความเร็วรอบระบบลำเลียง	84
ภาพที่ ก-1 เตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer) ประกอบไปด้วย 1 Silo; 2 Blower; 3 Furnace; 4 Cyclone; 5 Ash collector; 6 Old furnace; 7 Bagasse bin; 8 Drying chamber; 9 Cyclone; 10 Blower; 11 Main drying	93
ภาพที่ ก-2 ภาพจำลองระบบของเตาอบแห้งชานอ้อยขั้นต้น (Pre-dryer)	93
ภาพที่ ก-3 ไซโล (1)	94
ภาพที่ ก-4 Blower (2)	94
ภาพที่ ก-5 เตาเผาชีวมวลจากชานอ้อย (3)	95
ภาพที่ ก-6 (ก) ไซโคลน (4) และ (ข) ถังเก็บขี้เถ้า (5)	95
ภาพที่ ก-7 เตาเผาเก่า (6)	96
ภาพที่ ก-8 Blower (10)	96
ภาพที่ ก-9 กระบวนการอบแห้งชานอ้อยหลัก (11)	96
ภาพที่ ช-1 ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงฟืนชานอ้อยกับปริมาณความชื้นที่ระเหยไปในการอบ	138

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ ซ-2 ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อเพลิงฟูลินซานอ้อยกับปริมาณน้ำที่ระเหยไปในการอบ	139
ภาพที่ ซ-3 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบระบบลำเลียงเชื้อเพลิงเพลิงฟูลินซานอ้อยกับปริมาณน้ำที่ระเหยไปในการอบ	139
ภาพที่ ซ-4 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบระบบลำเลียงเชื้อเพลิงเพลิงฟูลินซานอ้อยกับความชื้นซานอ้อยออก	140
ภาพที่ ซ-5 กราฟความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของระบบลำเลียงฟูลินซานอ้อยกับความชื้นซานอ้อยเข้าอบ	142