ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242441

การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

จักราวุฒิ เสโข

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มกราคม 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242441

การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

จักราวุฒิ เตโช

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มกราคม 2554

การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

จักราวุฒิ เตโช

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
ผศ.ดร. วสันต์ จอมภักดี

.....กรรมการ
รศ.ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ

.....กรรมการ
ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ ดุษฎี

.....กรรมการ
อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รศ.ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ

25 มกราคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ดุษฎี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาเอาใจใส่ พร้อมทั้งให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์มากในการทำวิจัยที่ดี ให้คำปรึกษาเมื่อพบปัญหาและอุปสรรค ตลอดจนตรวจทานปรับแก้วิทยานิพนธ์จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ จอมภักดี อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ช่างเรือ ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

กราบบูชาคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่มีพระคุณอันสูงสุดที่ให้ชีวิต สติปัญญา คุณธรรมและคำอบรมสั่งสอน ความเจริญแก่ลูก และอาจารย์จักรกฤช เตโชพี่ชายอันเป็นที่รักยิ่งของผู้วิจัย ที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาต่าง ๆ รวมทั้ง อ.สุจิตรา พิลึกที่คอยเป็นกำลังใจที่สำคัญอย่างมากยิ่งสำหรับผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ได้ให้โอกาส รวมทั้งสนับสนุนทุนในการวิจัยและนายกองค์การบริหารส่วนตำบลห้วยทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้ออำนวยความสะดวกสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่มีประโยชน์มากในการทำวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาทุกเรื่องเมื่อเกิดอุปสรรค ปัญหาต่าง ๆ และที่สำคัญขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ห้องวิจัยและประยุกต์การขับเคลื่อนอากาศพลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนการเรียนและการใช้ชีวิตด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์นี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจที่จะศึกษาต่อไป หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องประการใด ผู้วิจัยต้องขอกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

จักราวุฒิ เตโช

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

ผู้เขียน นาย จักราวุฒิ เตโช

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สัมพันธ์ ไชยเทพ

242441

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล มีการดำเนินงาน 2 ขั้นตอนคือ ตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อน เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้และปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักที่มีการใช้งานของสถานประกอบการแบบดั้งเดิม และออกแบบ สร้างรวมทั้งตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อน เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้และปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ ซึ่งโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่นี้มีขนาดห้องอบแห้งกว้าง 3.4 เมตร ยาว 3.6 เมตร สูง 3.3 เมตร มีหลักการทำงานคือใช้เทคนิควิธีการต้มน้ำร้อน โดยจะนำน้ำร้อนมาเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นใช้พัดลมเป่าอากาศร้อนมายังห้องอบแห้ง แล้วดูดอากาศบางส่วนกลับเข้าห้องอบแห้งอีกทีหนึ่ง ส่วนฝุ่นและควันที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นได้ผ่านเครื่องดักฝุ่นและควันก่อนที่จะปล่อยสู่ธรรมชาติ สามารถอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักได้ประมาณ 1,600 กิโลกรัมต่อครั้ง และจากการตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อน เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้และปริมาณฝุ่นระหว่างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่พบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6.36%เป็น 10.15% สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจาก 4,784 ppm เหลือเพียง 9.24 ppm (ลดลง 99.81%) สามารถลดปริมาณฝุ่นจาก 1,556.5 mg/m^3 เหลือเพียง 12 mg/m^3 (ลดลง 99.23%)

Thesis Title	Development of Mango Woodcarving Drying System Using Heat Exchanger from Biomass Fuel
Author	Mr. Chakkrawut Tacho
Degree	Master of Engineering (Energy Engineering)
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sumpun Chaitep

ABSTRACT

242441

The objective of this research was developing of mango wood-carvings drying system using heat exchanger from biomass fuel. There were 2 studying processes; i.e., measurement thermal efficiency, exhaust emission and dust data of the existing dry mango wood-carvings plant, comparison were then made the corresponding parameters of the designed and the constructed of new thermal dry mango woodcarvings plant. Internal capacity size of this dry mango wood-carvings plant are 3.4 metres width, 3.6 metres length and 3.3 metres height. Water heat exchanging techniques was used for this new plant. Hot air was blown into drying room, and then some portion was be recirculated. The smoke and dust would trapped before release to the ambient air. Approximate capacity was 1,600 kg. per batch of drying. Measurement of thermal efficiency and exhaust emission and dust data between an existing plant compared to the new one, showed with following improvements; thermal efficiency was increased from 4.36% to 9.73% and carbon emissions was reduced from 4,784 ppm. to only 9.24 ppm (decreased 99.81%) and dust emissions was reduced from 1,556.5 mg/m^3 to only 12 mg/m^3 (decreased 99.23%).

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
1.6 สถานที่ดำเนินงาน	10
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	11
2.1.1 ความชื้นในวัสดุ	11
2.1.2 กระบวนการอบแห้ง	12
2.1.3 อากาศในบรรยากาศ	13
2.1.4 คุณสมบัติอากาศชื้น	14
2.1.5 แผนภูมิอากาศชื้น	17
2.2 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้	19
2.2.1 เชื้อเพลิงชีวมวล	19
2.2.2 การเผาไหม้เชื้อเพลิง	20
2.2.3 ปฏิกิริยาเคมีทางความร้อนของการเกิดก๊าซชีวมวล	20

2.2.4 ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (Q_{fuel}) 22
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน 22
2.3.1 การนำความร้อน 23
2.3.2 การพาความร้อน (Convection) 25
2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) 25
2.4 หลักการเบื้องต้นสำหรับการพาความร้อน 28
2.4.1 หลักการเบื้องต้นสำหรับการพาความร้อน 28
2.4.2 การจัดประเภทของการไหล 28
2.4.3 ตัวแปรสำคัญในการไหลเชิงความเร็วและความร้อน 29
2.4.4 กลุ่มตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless Parameter) 34

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย 36
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 36
3.1.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 36
3.1.2 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 36
3.1.3 ไม้มะม่วงแบบต่าง ๆ 37
3.1.4 ตู้อบลมร้อน 37
3.1.5 เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม 38
3.1.6 เครื่องตรวจวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง รุ่น330 ยี่ห้อ Testo 38
3.1.7 เครื่องบันทึกข้อมูลกึ่งแบบอัตโนมัติ 39
3.1.8 เทอร์โมคอปเปิ้ลชนิด K 39
3.1.9 กล้อง Digital ยี่ห้อ Sony Cyber – Shot รุ่น DSC-L1 40
3.1.10 ชุดคอมพิวเตอร์เป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะยี่ห้อ Acer พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วง 40
3.1.11 เครื่องวัดฝุ่นในอากาศ ยี่ห้อ Casella 41
3.1.12 เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ 41
3.2 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย 42
3.2.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักที่มีการใช้งานแบบดั้งเดิม 42
3.2.2 วิธีการดำเนินการอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 43

3.2.3 ขั้นตอนการออกแบบ สร้างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้พลังงานจากชีวมวล 43
3.2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 44
3.2.5 วิธีการดำเนินการอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 44

บทที่ 4 ผลการวิจัย 46
4.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 46
4.1.1 การกระจายตัวอุณหภูมิของในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 46
4.1.2 การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักก่อนและหลังอบแห้งของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 49
4.1.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 51
4.1.4 การวิเคราะห์มลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 53
4.1.4.1 ปริมาณฝุ่นละออง 53
4.1.4.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 57
4.2 การออกแบบ สร้างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 58
4.3 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 60
4.3.1 การกระจายตัวอุณหภูมิของในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 60
4.3.2 การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักก่อนและหลังอบแห้งของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 63
4.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 64
4.3.4 การวิเคราะห์มลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 67
4.3.4.1 ปริมาณฝุ่นละออง 67
4.3.4.2 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) 69

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 70

5.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 70

5.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 71

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป 72

บรรณานุกรม 73

ภาคผนวก 76

ภาผนวก ก ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 77

ภาผนวก ข ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 87

ภาผนวก ค ข้อมูลส่วนประกอบก๊าซไอเสียจากปล่องควันของโรงอบแห้งไม้มะม่วง แกะสลักแบบดั้งเดิมและแบบใหม่ 96

ภาผนวก ง ข้อมูลปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก แบบดั้งเดิมและแบบใหม่ 99

ภาผนวก จ รายละเอียดแบบของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก แบบดั้งเดิมและแบบใหม่ 102

ภาผนวก ฉ ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วง แกะสลักแบบดั้งเดิม 126

ภาผนวก ช ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วง แกะสลักแบบใหม่ 140

ภาผนวก ซ บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ 161

ประวัติผู้เขียน 173

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	กลุ่มผู้ประกอบการสินค้า SME และ OTOP ต.ห้วยทราย อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่	3
2.1	องค์ประกอบก๊าซในอากาศ	14
2.2	ความดันไอน้ำอิ่มตัว ในช่วง 0-85°C	16
2.3	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลบางประเภท	19
4.1	ความชื้นของตัวอย่างไม้มะม่วงแกะสลักในโรงอบแห้งแบบในโรงอบแห้งแบบดั้งเดิม	50
4.2	แสดงอัตราการระเหยน้ำของไม้มะม่วงแกะสลัก ที่อบแห้งโดยโรงอบแห้งแบบดั้งเดิม	52
4.3	สรุปผลการทดสอบของไม้มะม่วงแกะสลักที่อบแห้งโดยโรงอบแห้งแบบดั้งเดิม	52
4.4	ค่ามาตรฐานของอากาศที่ระบายออกจากโรงงานของปริมาณสารเจือปนชนิดต่างๆ	54
4.5	ความชื้นของตัวอย่างไม้มะม่วงแกะสลักในโรงอบแห้งแบบใหม่	63
4.6	แสดงอัตราการระเหยน้ำของไม้มะม่วงแกะสลัก ที่อบแห้งโดยโรงอบแห้งแบบใหม่	65
4.7	สรุปผลการทดสอบของไม้มะม่วงแกะสลักที่อบแห้งโดยโรงอบแห้งแบบใหม่	66

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	สัดส่วนการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนในปี 2549	4
1.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกลางห้องอบแห้งกับเวลาในการอบแห้ง	4
2.1	การลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และการอบแห้งลดลง	13
2.2	แผนภูมิอากาศชื้นช่วง 0-50°C	18
2.3	การอ่านค่าคุณสมบัติอากาศชื้นจากแผนภูมิอากาศชื้น	18
2.4	Heat transfer by conduction	23
2.5	แสดงการพาความร้อนจากจุด A ไปยังจุด B	25
2.6	Radiant energy transfer between two surface molecules	26
2.7	Absorbtion, reflection, and transmission of radiation striking a semitransparent material	27
2.8	ค่าความหนืดของของไหล	30
2.9	การพิจารณาการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน	31
2.10	Velocity Boundary Layer Thickness	32
2.11	Thermal Boundary Layer Thickness	32
2.12	ผลของค่าสัมประสิทธิ์การฉุด (Drag Coefficient)	33
3.1	โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม	36
3.2	โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่	36
3.3	ไม้มะม่วงแบบต่าง ๆ	37
3.4	ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)	37
3.5	เครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม	38
3.6	เครื่องตรวจวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง	38
3.7	เครื่องบันทึกข้อมูลแบบกึ่งอัตโนมัติ	39
3.8	เทอร์โมคัปเปิลชนิด K	39
3.9	กล้อง Digital ยี่ห้อ Sony Cyber – Shot รุ่น DSC-L1	40
3.10	คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะยี่ห้อ Acer พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ	40
3.11	เครื่องวัดเครื่องวัดฝุ่นในอากาศ	41
3.12	เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ	41

3.13 แผนผังลักษณะการวางเทอร์โมคอปเปิ้ลในห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 42

3.14 แผนผังลักษณะการวางเทอร์โมคอปเปิ้ลในห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 44

4.1 การวางสาย K-Type thermocouple ในห้องอบแห้งแบบดั้งเดิม 47

4.2 ลักษณะของอุณหภูมิกลางภายในห้องอบแห้งแบบดั้งเดิม 48

4.3 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแบบดั้งเดิม 48

4.4 ตู้อบลมร้อนและตัวอย่างไม้มะม่วงที่ใช้ในการหาความชื้น 49

4.5 เครื่องชั่งดิจิตอลและตัวอย่างไม้มะม่วงที่ใช้ในการหาความชื้น 49

4.6 แผนภูมิวงกลมแสดงประสิทธิภาพของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม 51

4.7 ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบดั้งเดิมในทิศเหนือ 55

4.8 ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบดั้งเดิมในทิศใต้ 56

4.9 ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบดั้งเดิมในทิศตะวันออก 56

4.10 ปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบดั้งเดิมในทิศตะวันตก 57

4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยจากปล่องควัน ของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมกับเวลา 58

4.12 ลักษณะของแผ่นฉนวนสำเร็จ และการสร้างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 59

4.13 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 59

4.14 ลักษณะตะแกรงในอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 60

4.15 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบกึ่งอัตโนมัติต่อเข้ากับชุดคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะยี่ห้อ Acer 61

4.16 การวางสาย K-Type thermocouple ในห้องอบแห้งแบบใหม่ 62

4.17 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องอบแห้งแบบใหม่ 62

4.18 แผนภูมิวงกลมแสดงประสิทธิภาพของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ 65

4.19 ปริมาณฝุ่นละอองก่อนเปิดระบบดักฝุ่นและควันที่ปล่อยจากปล่องระบายควัน ของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบใหม่ 68

4.20 ปริมาณฝุ่นละอองหลังเปิดระบบดักฝุ่นและควันที่ปล่อยจากปล่องระบายควัน ของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบใหม่ 68

4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยจากปล่องควัน ของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแบบใหม่กับเวลา 69

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

M_w	ความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก
T_{dp}	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง
Q_{fuel}	ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง
m_{fuel}	ปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
LHV	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง
τ_s	ค่าความเค้นเฉือน
μ	ค่าความหนืดสัมบูรณ์
υ	ค่าความหนืดจลน์
ρ	ค่าความหนาแน่นของของไหล
Re	ค่าเรย์โนนัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
V	ค่าาความเร็วของของไหล
x	ค่าระยะทางที่พิจารณา
C_D	ค่าสัมประสิทธิ์การฉุด เป็นค่าไม่มีหน่วย
A	พื้นที่ผิวเสมือนด้านหน้า
C_F	ผลจากแรงเสียดทาน
C_P	ผลจากความดัน
Nu	ค่านัสเซลท์นัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
Pr	ค่าพรันค์เทิลนัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
α	ค่าการแพร่กระจายความร้อน
Gr	ค่ากราสฮอฟนัมเบอร์เป็นค่าไม่มีหน่วย
g	ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวของของไหล
ΔT	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ
L	มิติเชิงเส้น
St	ค่าสแตนตันนัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
Pe	ค่าเพคเลทนัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
Ra	ค่าราเลย์นัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
Gz	ค่าเกรซนัมเบอร์ เป็นค่าไม่มีหน่วย
ppm	ส่วนในล้านส่วน
m^3	ลูกบาศก์เมตร
$^{\circ}C$	องศาเซลเซียส
kg	กิโลกรัม
J	จูล
TSP	Total Suspended Particulate
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์