บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). ที่มา http://ee.dede.go.th/knowledge/ContentLevel3.aspx?gt=1&abs=1000000&abs2=1030000.

จักราวุฒิ เตโช, สัมพันธ์ ไชยเทพ, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ธเนศ ไชยชนะ. 2553. การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล (DEVELOPMENT OF MANGO WOOD-CARVING DRYING SYSTEM USING HEAT EXCHANGER FROM BIOMASS FUEL). การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 9. (11 – 12 มีนาคม). ณ โรงแรมปัตตาเวียรีสอร์ทแอนด์สปา อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 52 – 56.

จักราวุฒิ เตโช, สัมพันธ์ ไชยเทพ, ณัฐวุฒิ ดุษฎี. 2554. การวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก (ANALYSIS OF POLLUTION AND THERMAL EFFICIENCY OF DRY MANGO WOOD-CARVING PLANT). การประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น .อนาคตชนบทไทย:รากฐานที่มั่นคงเพื่อการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน. (27-29 มกราคม). ณ ห้องมงกุฎเพชร โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น, จัดโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่นร่วมกับมหาวิทยาลัยในเครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน หน้า 517-521.

ใจทิพย์ วานิชชัง, ผดุงศักดิ์ วานิชชัง และมานพ ลี้โกมลชัย. 2547. การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชสำหรับเกษตรกร. รายงานการวิจัยโครงการวิจัยร่วมรัฐเอกชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล หน้า 11-23.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี, อติพงศ์ นันทพันธุ์, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ผ่องรักษ์ สมมิตร, ประวิทย์ ลี้เหมือดภัย และมนตรี มีรัตน์. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาทดสอบเตาอบแห้งลำไย. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงานร่วมกับศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ ธเนศ ไชยชนะ. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัย ถ่ายทอดการเพิ่มผลิตภาพ และการประหยัดพลังงานในการประกอบการ. พลังงานจังหวัดเชียงใหม่ร่วมกับศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หน้า 5-15.

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ณัฐนี วรยศ, ยศพงษ์ โรจนานุกุลพงศ์, ณัฐวุฒิ คุษฎี, กัญญาพร ไชยวงศ์, นรินทร์ มาละวรรณโน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, ศรีธร อุปคำ, เวชยันต์ รางศรี, พณิชย์ จิตตะยโศธร. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการพัฒนาสาธิตระบบอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้และเครื่องจักรสาน (สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 3-6

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. 2547. การถ่ายเทความร้อน ฉบับแปลและเรียบเรียงจาก Top/McGraw-Hill. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าพระนครเหนือ หน้า 36-37

ไพรัช กล่ำมาศ. 2548. การพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์ขนาดห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 31-35

มนตรี พิรุณเกษตร. 2545. การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หน้า 62-69

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี หน้า 20-24

สมพล วงศ์ต่อม. 2547. การอนุรักษ์พลังงานในเตาเผาอิฐแบบโคม. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 19-25

สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ. 2548. การถ่ายเทความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หน้า 55-62

สุนันท์ ศรัณยนิตย์. 2538. การถ่ายเทความร้อน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หน้า 34-36

สุเมธ รุจินินนาท. 2544. การอบผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี หน้า 1-2

เสกสรรค์ สุทธิสงค์. 2549. การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 129-150

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2552). ที่มา:www.oie.go.th/industrystatus1/r_s45_46/s45_46_9_4.doc

อติพงศ์ นันทพันธุ์, สมศักดิ์ ปกแก้ว, ประหยัด ยศน้อย, ศรีธร อุปคำ, ธีรศักดิ์ นาคงและชาญณรงค์ ชมพู. 2546. การวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของเตานึ่งก้อนเชื้อเห็ด. การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนครั้งที่ 2. ศูนย์ฝึกอบรมไทยพาณิชย์ อำเภอหางดง เชียงใหม่.

Achariyaviriya, A. 2001. Simulation and optimization of the drying strategy of longan drying. Doctor of engineering thesis, Energy Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, pp.30

Adams, R.L. and Thompson, J.F. 1985. Improving drying uniformity in concurrent flow tunnel dehydrators. Tran. ASAE, Vol.28, No3, pp. 890-892.

Balla, B.K. 1997. Drying and Storage of Cereal Grains. Science Publishers, lnc., USA, pp.54

Campbell, G.S. 1977. An Introduction to Environmental Biophysics. Springer-Verlag, New York, NY, USA, pp.67

Kanma, K. 2002. A mathematical for predicting energy consumption in fixed-bed longan drying. M.S. Thesis, Energy Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University, Thailand, pp.108

Moore, Fuller. 1993. Environmental Control Systems: Heating Cooling, Lighting. McGraw-Hill, New York, pp.429

Yunus A. Cengel. 2004. Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition. McGraw-Hill, New York, pp.908

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ตาราง ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2552

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
15:15 น.	35.8	40.8	43.7	41.8	44.5	42.0	41.2	42.4	40.0	43.9
15:30 น.	35.6	42.4	45.3	43.9	46.1	44.0	43.7	45.3	42.0	46.2
15:45 น.	35.2	44.3	46.9	45.2	47.7	45.8	45.3	47.2	43.2	47.6
16:00 น.	35.2	45.8	48.6	46.7	49.5	47.6	46.7	48.9	44.6	48.9
16:15 น.	35.0	46.2	48.9	47.0	49.4	48.0	47.2	48.7	45.5	48.9
16:30 น.	34.6	46.6	48.2	47.1	48.6	47.8	47.1	48.3	45.6	48.6
16:45 น.	34.9	46.7	48.3	47.3	48.7	48.2	47.6	48.9	46.5	48.9
17:00 น.	34.6	47.6	48.6	47.5	49.0	48.4	47.9	48.9	46.5	49.1
17:15 น.	34.4	48.3	49.0	48.6	49.3	48.8	48.6	49.4	47.4	49.8
17:30 น.	32.7	48.2	49.2	48.6	49.6	48.9	49.0	49.5	47.7	49.9
17:45 น.	32.0	47.5	48.5	48.0	48.8	48.3	48.3	49.2	47.9	49.5
18:00 น.	31.6	47.2	48.2	47.6	48.6	48.2	47.9	49.0	47.9	49.2
18:15 น.	31.2	47.0	48.0	47.3	48.3	48.2	47.7	48.5	48.0	48.9
18:30 น.	30.7	46.8	47.7	46.8	48.0	47.5	47.2	48.3	47.5	48.8
18:45 น.	30.4	47.0	48.0	47.3	48.4	48.3	47.7	48.9	47.8	49.2
19:00 น.	30.2	47.2	48.0	47.9	48.5	48.3	48.5	49.0	50.2	49.2
19:15 น.	30.1	47.6	48.0	48.0	48.4	48.5	48.5	48.9	51.6	49.3
19:30 น.	29.9	47.9	48.5	48.3	49.0	49.1	49.1	49.8	52.8	50.0
19:45 น.	29.8	48.2	48.8	48.6	49.2	49.7	50.3	50.2	53.5	51.0
20:00 น.	30.0	48.6	49.4	49.2	49.5	50.4	50.7	50.7	53.7	51.4
20:15 น.	29.8	48.5	49.2	48.7	49.5	49.9	51.3	50.8	53.1	51.1
20:30 น.	29.3	49.2	49.6	49.5	49.8	50.1	51.6	51.1	54.2	51.6
20:45 น.	29.2	49.0	49.8	49.5	50.0	50.7	51.4	50.7	54.0	51.7
21:00 น.	29.7	50.1	50.4	50.4	51.1	52.4	52.8	51.9	55.5	53.4
21:15 น.	28.7	50.9	51.0	51.0	52.3	52.8	53.8	52.6	56.6	54.4
21:30 น.	28.7	51.2	51.5	51.6	52.3	53.3	54.1	53.3	58.0	54.8
21:45 น.	28.1	51.9	52.1	52.7	54.0	54.4	55.5	55.1	57.4	54.7
22:00 น.	27.8	52.6	53.2	53.4	54.5	55.2	56.3	55.9	58.8	55.9
22:15 น.	27.1	54.0	54.6	54.3	56.1	56.4	57.4	56.5	59.1	56.5
22:30 น.	26.7	55.0	55.6	54.9	56.4	57.5	58.3	58.5	61.4	58.3
22:45 น.	26.3	55.3	56.3	55.9	57.4	57.9	59.1	58.7	61.6	58.7
23:00 น.	26.6	56.3	57.3	57.1	58.4	59.3	59.2	60.4	62.8	60.4
23:15 น.	27.1	57.0	58.2	57.4	58.9	60.3	60.2	60.8	65.2	60.5

ตาราง ก.1 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
23:30 น.	26.2	57.2	58.7	57.6	59.0	60.5	60.3	60.9	63.7	61.3
23:45 น.	25.5	57.4	58.3	57.1	58.9	60.1	60.3	60.8	64.3	61.6

ตาราง ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2552

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
00:00 น.	26.5	57.7	58.7	57.8	59.3	61.0	60.5	61.6	64.0	60.9
00:15 น.	25.3	58.0	59.2	59.2	59.8	61.1	61.2	61.4	64.0	61.9
00:30 น.	25.5	58.2	58.7	58.9	59.7	61.2	60.8	61.7	62.9	61.3
00:45 น.	25.2	58.5	59.7	59.2	60.1	62.1	61.3	62.7	63.2	60.0
01:00 น.	25.0	58.5	60.0	59.4	60.4	61.9	61.7	62.5	64.2	62.3
01:15 น.	24.8	58.3	60.0	60.0	60.5	62.0	61.9	62.9	63.4	62.5
01:30 น.	25.1	58.4	59.8	59.4	59.8	62.3	61.6	62.6	63.3	61.4
01:45 น.	24.4	58.3	59.8	59.0	59.9	61.9	61.2	62.4	62.8	61.8
02:00 น.	24.4	58.9	59.9	59.4	60.0	62.2	62.6	63.4	62.6	60.1
02:15 น.	23.7	58.9	59.9	59.4	60.1	62.0	62.6	62.9	62.8	59.3
02:30 น.	23.9	59.5	60.1	59.8	60.5	62.2	63.1	63.3	62.8	61.3
02:45 น.	23.2	59.8	60.6	60.6	60.9	62.4	62.4	62.6	62.5	59.2
03:00 น.	23.5	59.5	60.4	59.9	60.8	62.3	61.6	60.4	62.0	58.2
03:15 น.	23.5	59.5	60.1	59.3	60.3	63.0	60.8	59.2	61.0	58.2
03:30 น.	23.5	58.9	59.7	59.2	60.1	62.6	60.3	59.9	60.8	57.8
03:45 น.	23.6	59.2	60.4	60.4	60.6	63.6	61.0	59.7	60.8	58.2
04:00 น.	22.6	58.7	59.6	59.4	60.1	62.7	59.8	58.7	60.1	57.6
04:15 น.	23.0	58.3	59.1	58.7	59.5	63.5	58.9	58.4	59.5	57.1
04:30 น.	22.9	58.5	59.5	59.5	60.1	63.3	58.9	58.9	59.6	57.2
04:45 น.	22.3	58.5	58.8	58.7	59.3	63.8	58.6	58.7	59.2	56.8
05:00 น.	22.4	58.7	59.2	59.5	59.8	65.0	58.9	58.7	58.9	56.8
05:15 น.	22.2	58.3	58.3	58.3	59.1	64.9	58.0	57.7	58.6	56.1
05:30 น.	22.4	58.3	58.9	59.0	59.5	65.1	57.9	57.8	58.5	56.3
05:45 น.	22.6	58.2	58.6	58.9	59.1	65.2	57.6	57.6	58.2	55.9
06:00 น.	22.5	58.7	58.4	58.5	58.8	64.4	57.1	57.6	57.5	55.6
06:15 น.	22.0	58.0	58.4	58.6	58.8	64.0	57.1	57.5	57.4	55.6
06:30 น.	22.1	58.7	58.5	58.9	59.2	63.0	57.1	57.7	57.5	55.5

ตาราง ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
06:45 น.	22.2	58.5	58.7	59.2	59.1	61.9	57.4	57.7	57.4	55.3
07:00 น.	22.6	59.4	58.8	59.0	58.5	61.3	57.0	57.1	57.4	55.3
07:15 น.	22.8	60.3	58.9	59.2	59.0	61.7	56.6	57.1	57.4	55.0
07:30 น.	23.5	59.1	59.2	59.1	58.5	60.6	57.0	57.2	57.4	55.1
07:45 น.	24.2	59.5	59.5	59.9	59.2	61.7	57.1	57.7	57.6	55.6
08:00 น.	25.0	59.1	60.0	60.4	59.3	62.3	57.5	58.4	57.2	55.8
08:15 น.	25.1	60.4	60.9	60.5	60.1	61.3	57.6	58.4	57.9	56.5
08:30 น.	26.5	61.1	61.3	60.6	60.6	63.6	57.7	59.5	58.0	56.2
08:45 น.	27.3	59.8	60.4	60.4	60.5	65.3	58.6	59.3	58.4	56.6
09:00 น.	24.8	48.1	48.8	48.2	46.7	50.6	50.0	49.2	50.7	49.4
09:15 น.	25.0	47.8	48.6	48.5	47.6	50.1	50.4	49.2	51.2	49.6
09:30 น.	25.6	49.0	50.1	49.1	47.2	52.0	51.0	50.0	51.0	50.0
09:45 น.	26.0	48.9	49.9	48.8	47.6	51.7	50.9	50.4	50.9	49.8
10.00 น.	26.6	48.2	49.8	48.9	47.3	52.2	50.9	50.1	50.7	50.0
10.15 น.	27.2	48.6	49.9	48.9	47.3	52.2	50.6	50.3	50.5	50.0
10.30 น.	27.1	48.8	49.9	49.2	47.6	52.4	50.8	50.3	51.2	50.5
10.45 น.	28.4	49.2	50.3	49.6	48.0	53.2	50.6	50.7	51.2	50.7
11.00 น.	28.1	48.9	50.1	49.5	48.9	52.2	51.0	50.5	51.2	50.7
11.15 น.	29.5	48.8	50.0	49.2	48.3	52.0	50.7	50.4	50.4	50.7
11.30 น.	29.6	48.9	50.1	49.2	48.3	51.8	50.6	50.5	50.7	50.4
11.45 น.	29.3	48.7	49.9	49.2	48.0	51.2	50.0	50.2	50.5	50.1
12.00 น.	31.1	48.8	49.9	49.5	48.8	51.3	50.1	50.3	50.8	50.6
12.15 น.	31.0	48.8	50.1	49.2	48.4	51.2	50.1	50.6	50.7	50.7
12.30 น.	31.3	49.5	50.2	49.2	48.6	51.3	50.0	50.5	50.5	50.2
12.45 น.	32.9	49.3	50.5	49.8	49.3	51.3	50.0	50.6	50.4	50.5
13.00 น.	33.2	49.4	50.4	49.5	49.1	51.7	50.1	50.7	50.1	50.6
13.15 น.	32.9	49.0	50.3	49.4	49.3	51.4	49.6	50.5	50.0	50.2
13.30 น.	34.9	50.0	51.3	50.5	50.6	51.5	50.7	51.1	50.1	50.9
13.45 น.	33.7	49.7	50.6	49.7	50.2	50.8	50.0	50.7	49.8	50.1
14.00 น.	33.9	49.2	50.4	49.4	50.1	50.4	49.5	50.4	49.7	50.1
14.15 น.	35.5	46.4	47.6	45.5	46.4	46.4	45.0	46.1	45.4	45.9
14.30 น.	34.8	39.3	43.8	39.4	43.3	41.6	39.2	43.5	39.9	43.1
14.45 น.	35.9	39.6	42.4	38.9	41.8	40.8	38.6	42.8	39.5	42.1

ตาราง ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
15.00 น.	35.2	38.3	41.8	37.9	41.3	40.6	38.6	41.8	39.4	41.5
15.15 น.	36.0	37.4	42.1	38.0	41.4	39.5	37.8	42.1	38.8	41.1
15.30 น.	35.7	41.7	45.8	42.9	45.7	44.3	42.1	47.2	42.0	47.0
16.00 น.	35.2	43.2	47.1	44.8	46.4	46.2	43.6	48.4	43.6	48.5
17:00 น.	33.2	46.2	48.2	46.5	47.4	48.7	45.6	49.0	45.5	49.2
17:15 น.	33.2	46.2	48.6	47.0	48.0	49.1	46.3	49.5	46.1	49.5
17:30 น.	32.3	46.9	48.9	47.6	48.1	49.3	46.8	49.7	46.7	49.8
17:45 น.	31.5	47.6	49.4	48.3	48.6	50.3	47.5	49.9	47.3	50.4
18:00 น.	30.9	47.6	48.9	47.9	48.5	50.5	47.3	49.5	47.2	50.0
18:15 น.	30.3	48.6	49.7	48.8	49.2	51.5	48.3	50.1	47.9	50.2
18:30 น.	29.2	50.1	51.6	50.6	50.7	54.0	50.0	52.1	49.2	52.5
18:45 น.	28.8	49.8	51.2	49.8	50.2	53.6	49.5	51.7	48.6	51.9
19:00 น.	28.6	50.2	51.7	50.5	50.5	54.7	50.1	52.1	49.2	52.3
19:15 น.	28.6	51.0	52.2	50.9	50.8	55.4	50.9	52.7	49.7	52.7
19:30 น.	27.4	51.7	53.1	52.1	51.7	56.7	51.8	53.4	50.3	53.6
19:45 น.	27.1	51.8	53.4	52.3	51.7	56.7	52.1	53.6	50.4	53.6
20:00 น.	26.7	51.4	53.0	51.9	51.2	56.3	51.6	53.2	50.2	53.1
20:15 น.	26.3	51.1	52.6	51.7	51.0	57.1	51.8	52.6	50.1	52.9
20:30 น.	26.8	51.1	52.6	51.7	50.7	56.5	51.6	52.6	50.1	52.9
20:45 น.	25.8	51.2	52.2	51.4	50.4	55.7	51.2	52.4	49.8	52.6
21:00 น.	25.4	51.1	52.2	51.3	50.5	55.7	51.6	52.6	49.7	52.6
21:15 น.	25.5	51.7	52.5	51.8	51.0	55.8	51.8	52.9	49.7	52.9
21:30 น.	25.8	51.9	52.8	52.0	50.7	56.3	52.0	52.7	50.0	53.3
21:45 น.	25.2	51.8	52.5	52.2	50.7	55.7	51.9	52.6	50.0	52.9
22:00 น.	25.2	52.1	52.9	52.6	51.1	55.6	52.3	53.5	50.3	52.9
22:15 น.	25.8	53.5	56.1	55.1	53.3	57.5	53.7	56.4	51.3	55.6
22:30 น.	26.2	52.4	53.9	53.4	51.6	55.9	52.9	54.2	50.7	53.7
22:45 น.	25.5	53.0	54.2	54.0	51.8	56.4	52.9	54.6	51.0	53.8
23:00 น.	24.8	52.8	54.2	53.7	51.7	56.2	53.1	54.7	50.9	53.9
23:15 น.	24.6	53.1	54.1	53.7	51.9	56.5	53.0	54.7	50.8	54.0

ตาราง ก.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
23.30 น.	24.3	53.4	54.4	54.0	51.8	56.1	53.1	54.2	51.2	54.0
23.45 น.	24.1	53.4	54.4	53.9	51.9	56.2	52.7	54.2	51.0	53.9

ตาราง ก.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2552

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
00:00 น.	23.9	53.2	54.4	53.9	51.8	55.9	52.9	54.0	50.7	54.0
00:15 น.	23.7	53.3	54.2	54.2	52.1	56.2	53.0	54.2	50.8	53.6
00:30 น.	23.7	53.3	54.0	53.4	51.7	55.5	52.6	53.4	50.5	53.4
00:45 น.	23.2	53.3	54.2	53.7	51.5	55.7	52.3	54.0	50.6	53.6
01:00 น.	23.5	53.7	54.0	54.0	51.8	55.7	52.7	54.2	50.9	53.7
01:15 น.	23.0	53.8	54.2	54.5	52.2	55.8	52.9	54.5	50.5	54.0
01:30 น.	23.2	54.3	54.4	54.0	52.1	55.7	53.0	54.1	50.9	53.4
01:45 น.	23.3	53.4	54.3	53.7	51.9	55.6	52.6	53.7	50.7	53.4
02:00 น.	23.6	54.0	54.4	54.0	52.1	55.5	53.0	53.7	50.7	53.5
02:15 น.	22.9	53.7	54.0	53.7	51.9	55.3	52.8	53.7	50.5	53.3
02:30 น.	22.5	53.7	54.2	54.0	52.1	55.6	53.2	54.0	50.9	54.0
02:45 น.	22.9	53.6	54.1	53.9	51.6	55.7	53.3	54.2	51.0	53.6
03:00 น.	22.2	53.6	54.0	54.4	51.7	55.3	53.2	54.3	51.3	53.4
03:15 น.	22.1	53.5	54.0	54.6	51.8	55.7	53.7	54.4	51.8	53.2
03:30 น.	22.3	53.9	54.4	54.4	52.2	56.5	53.9	54.3	51.6	53.6
03:45 น.	22.4	54.3	54.4	54.8	51.9	56.1	53.7	54.6	51.6	54.0
04:00 น.	22.2	53.7	54.2	54.6	51.9	55.9	53.7	54.3	51.8	53.4
04:15 น.	21.8	53.7	54.1	54.4	51.9	55.6	53.7	54.2	51.7	53.4
04:30 น.	21.7	54.4	54.2	54.7	52.0	55.9	53.9	54.2	52.3	54.0
04:45 น.	22.2	54.6	54.6	55.3	52.6	56.0	54.2	54.7	52.6	54.1
05:00 น.	21.5	54.2	55.1	55.6	52.5	56.2	54.7	55.1	52.9	54.2
05:15 น.	21.4	55.0	55.3	54.7	52.8	56.6	54.7	55.0	52.6	54.4
05:30 น.	21.7	54.4	55.1	55.3	52.8	56.4	54.4	55.2	52.8	54.2
05:45 น.	21.1	54.7	54.8	54.6	52.5	56.1	54.2	54.5	53.0	53.9
06:00 น.	21.5	54.6	54.7	54.8	52.2	56.0	54.2	54.6	52.9	54.2
06:15 น.	21.1	55.0	55.3	55.4	52.8	56.5	54.7	55.0	53.0	54.4
06:30 น.	21.2	55.4	55.4	55.5	52.6	56.2	54.7	55.1	53.7	54.4

ตาราง ก.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
06:45 น.	21.2	56.1	56.0	55.4	52.7	56.1	54.7	55.1	53.4	54.4
07:00 น.	21.3	55.9	55.9	55.1	52.7	56.1	54.4	55.0	53.4	54.5
07:15 น.	22.4	55.8	56.1	56.0	53.3	56.6	54.7	55.3	53.5	54.4
07:30 น.	22.5	56.2	56.5	55.9	53.2	56.4	55.0	55.0	53.9	55.1
07:45 น.	23.1	56.3	56.3	56.7	53.4	56.5	55.2	56.0	54.0	55.0
08:00 น.	23.8	56.4	56.1	56.1	53.8	56.6	55.2	56.0	55.0	55.2
08:15 น.	23.8	56.5	56.5	57.2	54.3	57.2	56.3	57.2	56.5	56.0
08:30 น.	23.9	56.9	57.0	57.4	54.4	57.6	56.3	56.5	56.1	56.0
08:45 น.	24.5	56.3	56.9	57.4	54.3	57.9	56.4	57.4	56.6	56.4
09:00 น.	25.1	56.1	57.0	57.4	54.0	58.8	57.1	58.3	57.5	56.9
09:15 น.	26.0	55.4	57.1	56.8	54.7	59.4	57.9	58.1	57.9	58.0
09:30 น.	26.6	55.8	57.2	57.3	54.3	58.9	57.8	58.3	57.4	57.1
09:45 น.	27.2	55.6	57.4	57.3	54.7	58.7	58.1	58.5	60.1	56.4
10.00 น.	27.8	56.0	57.6	57.3	55.2	59.4	58.1	58.9	59.8	56.9
10.15 น.	28.2	56.5	57.9	57.4	55.1	59.0	58.3	59.2	59.0	57.7
10.30 น.	29.3	57.4	58.5	58.7	55.9	59.8	58.7	59.8	60.1	58.1
10.45 น.	29.8	57.7	58.3	58.5	57.1	60.7	58.4	59.2	60.0	59.1
11.00 น.	30.3	57.3	58.1	58.4	57.2	60.7	58.5	59.8	59.8	59.5
11.15 น.	31.3	58.4	58.8	58.8	57.8	61.7	58.7	60.6	61.1	60.8
11.30 น.	31.3	59.1	58.9	58.5	58.4	62.2	58.6	61.1	61.2	59.8
11.45 น.	31.0	59.2	59.5	58.7	58.5	62.7	59.5	61.6	62.2	61.1
12.00 น.	31.6	59.4	60.0	59.8	58.6	63.0	60.1	62.5	62.7	61.6
12.15 น.	32.3	60.2	60.5	60.5	59.7	63.3	59.9	62.3	62.6	62.5
12.30 น.	32.9	60.2	60.6	59.9	59.7	64.1	60.5	62.6	62.9	62.2
12.45 น.	33.1	60.4	61.0	60.3	60.2	63.4	59.5	61.9	62.2	62.2
13.00 น.	33.3	60.1	60.8	60.1	59.8	63.2	60.7	62.9	63.0	62.3
13.15 น.	33.2	60.4	61.2	60.2	60.0	63.6	61.3	63.2	62.9	62.3
13.30 น.	34.1	60.7	62.0	61.3	61.0	64.7	61.9	62.5	63.4	63.2
13.45 น.	34.5	61.7	61.9	61.3	60.8	64.0	60.8	63.2	63.2	62.8
14.00 น.	33.8	61.3	62.0	61.1	61.0	63.9	60.7	63.2	63.5	63.1
14.15 น.	34.9	59.4	60.4	59.3	59.2	61.6	60.1	61.0	62.6	60.8
14.30 น.	34.2	60.8	61.7	60.9	59.8	62.4	60.8	62.7	64.0	62.5
14.45 น.	35.2	61.3	61.9	61.5	60.4	63.2	61.0	63.2	63.7	63.2

ตาราง ก.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
15.00 น.	35.6	61.3	62.1	61.6	60.9	63.1	62.2	62.7	62.9	63.2
15.15 น.	35.3	60.9	62.3	62.1	60.9	63.2	62.4	63.2	62.8	63.3
15.30 น.	34.6	60.2	62.6	62.2	60.7	62.4	62.2	62.7	62.5	62.2
16.00 น.	35.3	61.2	61.9	61.5	60.9	62.8	61.3	62.9	62.5	63.2
16.15 น.	36.5	53.6	57.4	52.2	55.3	55.7	51.4	55.7	54.8	51.9
16:30 น.	35.2	63.4	66.7	65.8	63.7	66.9	67.6	66.1	66.1	66.8
16:45 น.	34.1	61.4	63.7	63.6	62.2	65.0	63.7	64.2	64.6	64.5
17:00 น.	33.4	61.6	62.8	62.9	61.7	64.3	63.0	63.4	64.1	63.8
17:15 น.	33.3	61.6	62.2	61.9	60.9	64.1	62.5	62.8	62.9	63.4
17:30 น.	32.4	61.3	61.9	62.1	61.2	64.0	61.9	62.8	63.3	63.4
17:45 น.	31.9	61.2	61.2	61.2	60.4	63.0	61.2	62.2	62.6	62.6
18:00 น.	30.4	60.8	60.4	61.0	60.2	62.3	61.5	61.8	63.1	61.9
18:15 น.	30.2	60.1	59.5	60.2	59.2	61.6	60.9	60.9	63.0	60.8
18:30 น.	29.1	59.4	59.4	59.8	59.1	60.9	60.5	60.3	62.9	60.5
18:45 น.	28.5	59.2	58.9	59.1	58.4	60.4	60.7	59.5	61.7	60.1
19:00 น.	28.1	58.5	58.1	58.6	57.6	60.0	59.5	59.4	61.0	59.4
19:15 น.	27.5	57.4	57.4	57.6	57.1	59.5	59.2	58.6	60.5	58.9
19:30 น.	27.5	56.9	56.5	57.1	56.2	58.7	58.8	58.3	60.1	58.6
19:45 น.	27.6	56.5	55.9	56.5	55.7	57.8	58.3	57.3	59.0	58.0
20:00 น.	26.3	55.3	55.5	56.1	55.1	57.3	57.7	56.7	58.9	56.9
20:15 น.	26.2	54.7	54.6	55.0	54.1	56.3	56.8	55.4	58.0	56.0
20:30 น.	26.0	54.2	53.7	54.2	53.2	55.7	55.7	54.7	56.8	55.3
20:45 น.	25.2	53.1	53.0	53.3	52.3	54.5	55.0	53.8	56.3	54.7
21:00 น.	25.1	53.0	52.9	53.5	52.3	54.0	54.9	53.8	56.2	53.7
21:15 น.	25.2	52.3	51.7	52.3	51.6	53.5	53.7	52.7	54.4	53.2
21:30 น.	24.2	51.3	50.8	51.5	50.5	52.4	52.9	51.9	53.6	52.4
21:45 น.	24.8	51.2	50.4	50.9	50.1	52.2	52.1	51.3	53.2	52.2
22:00 น.	25.0	50.1	50.2	51.3	50.0	51.5	52.2	51.0	53.4	51.6
22:15 น.	25.0	50.4	50.0	51.3	49.8	51.0	52.3	50.5	52.9	51.1
22:30 น.	24.3	49.2	48.9	49.8	48.9	50.1	50.9	49.8	51.8	50.4
22:45 น.	24.5	48.6	48.0	48.8	47.8	49.7	49.8	48.7	51.3	50.0
23:00 น.	24.2	47.6	47.4	48.0	47.2	48.8	49.4	48.2	49.9	49.1
23:15 น.	24.6	47.4	46.7	47.5	46.7	48.4	48.6	47.5	49.5	48.6

ตาราง ก.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
23.30 น.	23.8	45.8	45.6	46.1	45.4	46.7	47.2	46.4	48.3	47.2
23.45 น.	23.2	45.8	45.3	46.0	45.1	46.7	47.0	46.0	47.6	47.2

ตาราง ก.4 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2552

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
00:00 น.	22.9	45.4	44.9	46.1	45.1	45.9	46.6	45.7	47.4	46.5
00:15 น.	22.9	44.4	43.8	44.6	43.7	45.1	45.6	44.8	46.0	45.6
00:30 น.	22.9	44.3	43.4	44.2	43.3	44.5	44.9	44.3	46.0	45.1
00:45 น.	22.9	43.9	43.0	43.8	43.0	44.2	44.9	44.0	45.6	44.7
01:00 น.	22.5	43.0	42.4	43.0	42.3	44.0	44.0	43.3	44.8	44.5
01:15 น.	22.8	42.3	41.8	42.6	41.8	43.4	43.5	43.0	44.0	43.6
01:30 น.	22.9	42.5	41.5	42.3	41.6	42.7	42.7	42.4	43.7	43.3
01:45 น.	22.1	41.7	41.4	42.1	41.3	42.3	42.6	42.1	43.5	42.7
02:00 น.	22.2	41.3	40.9	41.7	41.1	41.9	42.4	41.7	43.6	42.4
02:15 น.	22.2	41.1	40.4	41.2	40.4	41.3	41.8	41.4	43.0	42.1
02:30 น.	22.5	40.8	39.9	40.8	40.1	40.9	41.4	41.0	42.7	41.8
02:45 น.	22.3	40.4	39.5	40.6	39.7	40.3	40.9	40.5	41.6	41.0
03:00 น.	22.5	40.1	39.6	40.8	39.8	40.3	41.1	40.4	41.7	40.9
03:15 น.	22.0	39.6	38.6	39.4	38.9	39.5	39.9	39.6	40.8	40.4
03:30 น.	21.6	39.3	37.9	38.9	38.2	39.2	39.3	39.1	39.9	39.7
03:45 น.	21.5	38.9	37.5	38.5	37.8	38.6	39.0	38.4	39.5	39.5
04:00 น.	21.7	38.8	37.7	38.6	37.8	38.5	39.1	38.1	39.3	39.0
04:15 น.	21.9	38.9	37.4	38.5	37.6	38.2	38.8	38.2	38.9	38.8
04:30 น.	21.6	38.0	36.8	37.4	37.1	37.8	37.9	37.6	38.6	38.5
04:45 น.	21.8	37.5	36.5	37.3	36.9	37.3	37.7	37.3	38.0	37.8
05:00 น.	21.6	37.5	36.2	37.3	36.7	37.2	37.5	37.0	38.0	37.7
05:15 น.	21.6	37.4	36.1	37.0	36.4	36.9	37.2	36.5	37.5	37.4
05:30 น.	21.5	36.3	35.2	36.0	35.6	36.4	36.5	36.1	37.2	36.8
05:45 น.	21.4	36.5	35.0	36.0	35.4	36.1	36.0	35.7	36.6	36.5
06:00 น.	20.9	35.9	34.6	35.2	34.9	35.7	35.5	35.2	36.1	35.9
06:15 น.	20.9	35.4	34.1	34.6	34.3	35.3	34.9	34.9	35.7	35.6

ตาราง ก.4 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2552 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]
06:30 น.	21.2	35.2	33.9	34.9	34.3	35.1	35.0	34.5	35.5	35.3
06:45 น.	21.2	34.9	33.6	34.3	34.2	34.6	34.5	34.3	35.2	35.1
07:00 น.	21.5	34.9	34.0	34.9	34.5	34.6	35.2	34.6	35.4	35.0
07:15 น.	21.8	34.3	33.3	34.3	33.7	34.2	34.4	34.0	34.9	34.5
07:30 น.	22.6	34.3	33.3	34.2	33.6	34.1	34.5	33.7	34.9	34.5
07:45 น.	23.0	34.0	33.2	33.8	33.3	33.9	34.2	33.5	34.6	34.3
08:00 น.	24.3	34.2	33.1	33.5	33.2	33.8	33.9	33.3	34.6	34.3
08:15 น.	23.9	34.1	33.1	33.4	32.9	33.9	33.8	33.6	34.5	34.3
08:30 น.	24.4	33.9	33.1	33.3	32.9	33.9	33.9	33.6	34.4	34.3
08:45 น.	25.1	34.3	33.6	34.1	33.4	34.2	34.6	34.0	34.9	34.7
09:00 น.	26.6	33.2	33.3	34.0	33.1	33.8	33.1	33.2	34.4	33.8

หมายเหตุ

1 อุณหภูมิบรรยากาศ

2 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-ล่าง)

3 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-บน)

4 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านขวา-ล่าง)

5 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านขวา-บน)

6 อุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณกลางห้องอบแห้ง

7 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-ล่าง)

8 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-บน)

9 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านขวา-ล่าง)

10 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านขวา-บน)

ภาคผนวก ข

ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ตาราง ข.1 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2553

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
14:00 น.	26.0	22.7	24.9	24.1	25.9	24.2	25.3	23.6	27.9	31.5	26.1	29.4	32.6
14:15 น.	26.3	23.8	25.4	24.7	25.9	25.3	25.4	24.8	27.3	33.1	27.3	31.6	32.5
14:30 น.	25.5	23.0	25.0	24.2	25.8	24.3	25.5	24.0	26.9	35.5	29.2	33.3	33.3
14:45 น.	27.7	24.7	27.5	25.9	27.3	26.3	26.8	25.8	28.9	42.0	29.4	35.9	34.4
15:00 น.	30.0	26.2	28.9	27.4	28.7	27.4	28.4	27.1	29.5	49.2	32.9	42.0	33.5
15:15 น.	27.3	26.0	27.0	26.9	27.1	26.7	26.6	26.2	29.5	53.2	33.8	45.8	34.1
15:30 น.	27.8	26.6	27.5	27.4	27.7	27.2	27.3	26.8	29.5	57.0	37.0	48.0	35.4
15:45 น.	29.0	27.7	28.6	28.4	28.7	28.2	28.3	27.8	30.9	62.3	41.8	52.6	34.0
16:00 น.	29.1	27.9	28.7	28.6	28.9	28.5	28.4	28.0	31.0	68.3	45.6	56.0	33.6
16:15 น.	49.3	35.9	44.1	42.1	41.9	38.9	41.0	38.0	49.9	67.2	63.5	58.2	34.8
16:30 น.	52.5	39.9	46.5	46.7	46.1	42.9	45.2	42.0	53.9	69.5	66.0	60.2	34.6
16:45 น.	55.1	40.8	48.2	47.2	47.5	44.0	46.4	42.9	55.3	72.5	68.6	62.6	33.9
17:00 น.	55.1	42.8	50.8	47.3	49.0	45.6	47.2	43.8	54.8	74.7	70.8	63.7	33.6
17:15 น.	57.8	43.6	51.2	50.2	50.6	47.2	49.0	45.6	59.1	77.3	72.3	64.7	32.5
17:30 น.	58.0	44.9	52.7	52.1	51.9	48.6	50.6	47.3	60.7	77.3	72.7	65.0	32.2
17:45 น.	58.9	45.6	55.4	51.9	53.1	49.1	52.1	48.1	61.7	79.2	74.9	66.8	32.3
18:00 น.	45.5	39.8	44.0	43.4	45.2	41.6	44.6	41.0	50.5	84.3	76.1	68.3	32.0
18:15 น.	62.0	47.4	60.1	52.7	55.8	51.3	54.2	49.7	65.2	85.8	81.2	71.5	31.1
18:30 น.	46.6	41.0	45.5	44.0	46.3	42.7	45.5	41.9	51.1	90.4	82.4	73.4	31.3
18:45 น.	56.5	45.4	54.3	48.3	53.5	48.2	52.0	46.7	59.6	91.6	85.6	75.2	30.6
19:00 น.	46.8	41.4	45.4	43.9	46.2	42.7	45.5	42.0	52.8	93.7	83.8	76.3	30.2
19:15 น.	48.9	41.8	47.4	44.8	48.5	44.1	47.6	43.2	53.8	94.1	86.2	75.4	30.6
19:30 น.	63.2	46.3	63.0	49.7	55.2	50.2	53.9	48.9	66.4	94.7	86.0	74.7	30.5
19:45 น.	48.3	41.8	46.7	44.5	47.3	43.5	46.5	42.7	51.2	94.1	85.3	74.4	30.1
20:00 น.	59.7	47.3	57.6	50.8	55.6	50.3	53.8	48.5	60.9	91.6	84.8	73.7	30.0
20:15 น.	47.6	41.7	46.1	44.4	46.8	43.2	46.1	42.5	50.0	91.8	82.1	72.2	29.3
20:30 น.	53.0	44.0	51.3	47.4	51.1	46.5	50.1	45.5	56.2	88.2	81.5	71.1	29.5
20:45 น.	47.3	41.5	46.2	44.2	46.5	43.2	45.7	42.4	53.4	88.0	79.4	70.2	29.7
21:00 น.	51.6	43.1	49.5	46.2	50.2	45.9	49.0	44.7	55.5	85.3	78.9	68.9	29.8
21:15 น.	47.4	41.7	46.0	44.4	46.3	43.2	45.6	42.5	51.2	85.1	76.9	68.1	29.8
21:30 น.	57.0	46.0	54.7	50.5	54.1	49.2	52.6	47.7	58.3	82.6	76.0	66.7	30.4
21:45 น.	48.2	41.9	47.8	44.2	47.2	42.9	46.5	42.2	49.2	89.0	78.0	70.0	30.4

ตาราง ข.1 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2553 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
22:00 น.	63.9	48.3	60.2	52.6	55.3	51.6	54.5	50.8	65.5	88.1	80.0	70.3	30.1
22:15 น.	53.2	44.1	51.1	47.1	51.0	46.4	49.8	45.2	56.0	85.8	78.4	69.2	29.3
22:30 น.	48.0	41.8	47.0	44.4	47.3	43.1	46.6	42.4	50.0	86.1	77.0	68.5	29.0
22:45 น.	55.0	42.6	55.3	45.4	48.4	44.9	47.7	44.2	58.7	85.6	77.3	68.6	28.7
23:00 น.	63.6	48.2	59.1	53.9	55.3	51.9	54.2	50.8	65.1	85.6	78.5	69.2	27.2
23:15 น.	52.4	43.5	50.4	46.1	50.7	45.8	49.7	44.8	55.5	87.3	78.7	69.3	26.8
23:30 น.	49.0	42.4	48.3	44.8	48.6	44.1	47.9	43.4	52.7	88.9	79.9	70.9	25.5
23:45 น.	48.5	42.5	47.8	44.9	48.3	43.8	47.8	43.3	51.3	90.6	80.5	72.6	25.5

ตาราง ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2553

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
00:00 น.	48.8	42.8	47.9	45.1	48.3	44.0	47.7	43.4	51.2	92.3	80.7	73.4	25.5
00:15 น.	48.9	42.6	48.1	44.9	48.3	44.0	47.5	43.2	50.6	92.4	81.7	72.6	25.6
00:30 น.	50.7	43.3	50.3	46.3	50.6	45.6	49.7	44.7	55.6	92.1	83.6	74.4	25.6
00:45 น.	67.8	50.9	64.8	54.8	58.9	55.0	57.2	53.3	69.5	92.6	85.7	76.0	24.8
01:00 น.	51.7	44.6	51.2	47.3	51.5	46.4	50.6	45.5	55.7	92.5	84.9	75.6	24.5
01:15 น.	67.6	51.3	64.8	57.1	59.5	56.0	58.1	54.6	69.4	92.1	84.9	75.2	24.5
01:30 น.	53.8	45.2	52.8	48.0	53.2	47.8	52.2	46.8	58.4	91.4	83.6	74.5	23.9
01:45 น.	58.6	48.0	56.6	51.0	56.0	50.4	54.7	49.1	60.8	91.4	83.2	74.5	22.8
02:00 น.	50.5	44.2	54.2	46.4	49.9	45.7	49.7	45.5	57.8	91.9	80.7	74.7	20.5
02:15 น.	50.2	44.1	49.7	46.3	49.6	45.5	48.8	44.7	51.1	92.4	81.1	74.5	20.8
02:30 น.	50.5	44.1	50.0	46.5	49.7	45.5	48.9	44.7	51.6	91.3	81.2	73.2	20.5
02:45 น.	50.7	44.4	50.4	46.9	50.1	46.0	49.3	45.2	52.5	89.3	80.8	72.5	20.6
03:00 น.	50.6	44.5	50.0	46.9	50.1	45.9	49.4	45.2	52.6	86.6	79.3	71.4	20.9
03:15 น.	50.7	44.8	50.3	47.5	50.4	46.3	49.8	45.7	53.0	84.5	77.5	69.8	21.3
03:30 น.	50.6	44.8	50.2	47.4	50.2	46.2	49.5	45.5	52.8	83.2	76.1	68.6	20.9
03:45 น.	52.4	40.0	46.5	47.3	46.3	43.2	45.2	42.1	54.4	69.6	66.1	60.4	21.1
04:00 น.	54.0	41.1	48.8	47.4	47.8	44.5	46.6	43.3	56.4	72.2	68.7	62.6	22.2
04:15 น.	45.4	37.4	43.2	41.1	44.2	40.0	43.3	39.1	50.1	75.1	70.7	63.5	21.8
04:30 น.	58.9	44.2	52.5	51.6	50.9	47.6	50.1	46.8	59.3	76.9	72.2	64.6	22.3
04:45 น.	59.2	45.0	53.2	52.9	51.9	48.6	50.9	47.6	60.7	76.7	72.6	65.0	22.8
05:00 น.	58.9	46.0	54.9	51.8	53.9	49.9	53.0	49.0	62.1	79.7	75.2	67.1	21.8
05:15 น.	56.2	45.5	53.9	50.1	53.4	48.3	52.2	47.1	57.7	81.9	75.3	65.9	21.9
05:30 น.	47.5	41.1	46.3	44.2	46.3	42.7	45.5	41.9	49.6	84.0	75.6	66.7	22.2
05:45 น.	62.0	47.8	58.1	53.1	55.0	51.6	53.0	49.6	61.9	84.9	77.8	67.5	22.1
06:00 น.	48.0	41.6	46.8	44.9	47.2	43.4	46.4	42.6	51.0	86.5	77.9	67.8	21.4
06:15 น.	64.0	48.2	60.0	53.9	56.1	51.9	54.7	50.5	65.6	88.1	80.2	69.2	21.8
06:30 น.	48.7	41.8	47.1	44.8	47.6	43.8	46.6	42.8	51.2	90.1	80.4	69.4	22.0
06:45 น.	64.1	48.3	61.4	54.4	56.6	51.8	55.6	50.8	64.6	89.8	81.6	70.5	21.1
07:00 น.	48.0	41.6	47.0	44.4	47.3	43.4	46.4	42.5	50.7	89.5	80.6	70.1	21.6
07:15 น.	63.3	46.7	60.8	52.6	54.7	50.2	53.7	49.2	65.4	90.1	80.6	69.7	21.9
07:30 น.	49.0	42.0	47.9	44.9	48.0	44.0	47.1	43.1	51.8	87.9	79.4	68.7	22.7
07:45 น.	60.6	43.6	57.1	49.8	52.0	47.5	51.8	47.3	62.0	86.6	78.2	67.2	22.2

ตาราง ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2553 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
08:00 น.	50.9	42.9	49.1	46.0	49.9	45.2	49.1	44.4	54.1	84.0	76.0	66.1	23.2
08:15 น.	48.1	41.8	47.2	44.7	46.9	43.4	46.1	42.6	49.4	80.9	73.9	64.6	23.4
08:30 น.	49.0	42.2	47.3	45.7	48.2	44.1	47.4	43.3	52.4	79.8	72.5	62.9	23.7
08:45 น.	56.6	42.4	51.8	48.0	48.9	45.4	49.2	45.7	57.6	78.6	71.6	61.7	24.1
09:00 น.	54.3	45.2	52.0	49.2	52.1	47.7	50.8	46.4	55.4	75.7	69.6	60.6	24.1
09:15 น.	47.2	41.4	46.4	45.2	46.5	42.9	45.9	42.3	49.9	73.8	67.9	59.3	25.6
09:30 น.	57.8	45.5	51.3	54.2	51.6	48.7	50.9	48.0	60.0	71.5	66.2	57.7	24.3
09:45 น.	57.7	46.0	50.3	53.8	51.3	48.9	50.4	48.0	58.7	69.0	63.7	55.8	25.5
10:00 น.	48.8	42.4	47.8	46.1	48.1	44.1	47.4	43.4	52.1	77.4	70.8	61.9	28.1
10:15 น.	57.2	44.3	52.6	53.0	51.3	47.8	51.0	47.5	60.3	75.5	69.7	60.4	28.3
10:30 น.	56.3	46.0	52.7	51.2	52.6	48.8	51.3	47.5	55.5	72.6	67.3	58.6	28.4
10:45 น.	47.2	41.4	45.8	45.4	46.9	42.9	46.4	42.4	50.2	71.3	65.2	57.3	27.9
11:00 น.	48.3	41.7	46.0	46.4	47.3	43.6	46.6	42.9	50.9	67.0	62.6	55.0	29.3
11:15 น.	56.5	45.5	49.9	53.7	50.4	48.7	49.5	47.8	56.2	63.6	59.4	52.6	29.8
11:30 น.	51.9	46.2	48.7	50.9	49.2	47.7	48.2	46.7	52.8	59.4	56.0	49.8	30.1
11:45 น.	49.4	47.7	47.0	48.6	47.3	46.6	45.8	45.1	49.7	56.7	52.9	47.3	30.6
12:00 น.	60.4	46.2	54.8	53.4	52.6	50.0	51.3	48.7	62.1	78.8	72.8	63.3	31.1
12:15 น.	48.1	41.2	46.7	43.6	47.3	42.8	46.6	42.1	52.0	83.3	75.6	65.9	30.4
12:30 น.	53.9	44.0	51.5	46.6	51.4	46.2	50.3	45.1	56.3	85.6	78.8	68.6	30.4
12:45 น.	47.5	41.0	47.2	43.5	46.7	42.1	46.2	41.6	50.2	87.9	78.5	69.3	30.2
13:00 น.	47.0	41.2	46.6	43.5	46.6	42.1	46.0	41.5	48.9	90.1	78.0	70.9	31.3
13:15 น.	63.4	47.5	60.5	53.4	55.4	51.3	53.6	49.5	65.5	88.2	81.1	71.0	32.9
13:30 น.	51.1	42.7	49.5	45.3	49.9	44.8	48.9	43.8	54.7	88.7	80.4	70.5	31.6
13:45 น.	48.9	42.3	48.1	44.8	48.0	43.5	47.4	42.9	51.3	89.4	79.7	70.4	31.5
14:00 น.	47.9	41.9	47.6	44.3	47.4	43.0	46.7	42.3	49.2	88.2	77.9	70.3	32.2
14:15 น.	61.0	44.9	57.1	49.2	52.8	48.1	52.1	47.4	62.9	85.0	77.4	68.1	34.3
14:30 น.	51.0	41.9	43.9	48.1	45.4	43.7	44.6	42.9	50.6	58.9	54.9	48.3	34.2
14:45 น.	53.8	43.3	47.1	50.7	48.4	46.3	47.1	45.0	55.3	64.2	59.6	52.4	33.9
15:00 น.	54.7	48.0	53.8	50.8	54.1	50.0	53.2	49.1	55.1	93.4	83.7	73.7	35.5
15:15 น.	58.7	49.9	57.6	52.8	57.0	52.2	55.9	51.1	60.4	93.8	85.8	75.6	34.1
15:30 น.	53.7	46.0	52.2	48.3	52.5	48.1	52.3	47.9	55.1	94.5	83.0	73.8	33.3
15:45 น.	51.3	44.3	50.8	47.1	50.9	45.8	50.2	45.1	54.4	93.0	83.9	75.5	34.4

ตาราง ข.2 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2553 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
16:00 น.	60.9	49.5	58.9	53.1	58.4	52.4	56.8	50.8	63.2	91.3	84.9	75.3	33.9
16:15 น.	52.1	44.8	51.8	47.7	52.0	46.9	51.0	45.9	56.0	91.5	83.6	74.4	34.0
16:30 น.	53.1	45.2	51.5	47.7	52.3	47.6	51.2	46.5	56.9	91.9	83.1	74.1	33.7
16:45 น.	67.1	49.5	62.0	55.1	57.8	53.5	56.9	52.6	67.7	92.7	83.4	74.6	33.6
17:00 น.	50.3	44.1	52.1	46.4	49.5	45.6	49.3	45.4	57.2	92.1	81.0	74.2	33.5
17:15 น.	50.6	44.4	49.7	46.8	49.9	45.9	49.0	45.0	52.5	91.9	81.1	73.3	33.7
17:30 น.	51.1	44.6	50.8	47.0	50.6	46.0	50.0	45.4	54.0	91.7	83.1	74.5	32.8
17:45 น.	52.8	45.0	51.8	47.4	52.1	47.1	51.4	46.4	56.4	90.8	83.3	74.1	32.1
18:00 น.	56.4	46.9	54.1	49.9	54.1	48.9	53.3	48.1	58.8	89.7	82.1	73.0	32.0
18:15 น.	60.5	49.5	58.0	53.6	56.8	52.3	55.2	50.7	61.9	87.9	81.1	72.1	31.2
18:30 น.	61.6	51.2	59.1	54.2	57.6	53.2	56.1	51.7	62.7	86.3	79.5	71.1	30.7
18:45 น.	64.1	50.8	59.5	57.4	57.4	54.1	56.4	53.1	65.0	84.0	77.8	69.4	29.9
19:00 น.	56.9	45.8	51.0	53.4	51.3	48.6	50.3	47.6	58.9	71.6	65.5	57.5	30.1
19:15 น.	54.0	44.6	51.8	48.6	51.8	47.6	49.9	45.7	55.8	76.8	69.8	61.0	30.1
19:30 น.	46.7	40.7	46.0	43.4	46.2	41.8	45.5	41.1	50.0	80.4	72.7	63.5	30.2
19:45 น.	59.8	43.6	55.4	49.2	50.9	47.0	50.3	46.4	61.3	84.3	76.0	66.2	29.7
20:00 น.	53.9	44.0	51.5	46.6	51.4	46.2	50.3	45.1	56.3	85.6	78.8	68.6	30.0
20:15 น.	47.5	41.0	47.2	43.5	46.7	42.1	46.2	41.6	50.2	87.9	78.5	69.3	29.5
20:30 น.	47.0	41.2	46.6	43.5	46.6	42.1	46.0	41.5	48.9	90.1	78.0	70.9	30.1
20:45 น.	63.4	47.5	60.5	53.4	55.4	51.3	53.6	49.5	65.5	88.2	81.1	71.0	29.9
21:00 น.	61.1	46.5	56.4	53.1	53.8	50.2	52.9	49.3	63.4	82.6	75.7	65.8	29.2
21:15 น.	48.1	41.4	46.3	44.9	47.4	43.4	46.5	42.5	51.5	85.1	76.6	66.9	28.7
21:30 น.	61.8	45.9	58.0	53.5	53.6	49.5	52.9	48.8	63.9	86.2	78.2	67.7	28.5
21:45 น.	50.0	42.4	47.8	45.5	49.0	44.6	48.3	43.9	53.7	87.6	79.0	68.4	27.7
22:00 น.	57.6	42.5	57.6	47.5	51.1	45.9	51.1	45.9	61.9	90.4	79.9	68.7	28.0
22:15 น.	49.7	42.1	47.8	44.9	48.6	44.1	47.9	43.4	53.1	90.9	80.6	70.0	27.2
22:30 น.	65.1	48.0	59.6	53.3	55.9	51.8	54.9	50.8	65.0	90.0	81.6	70.3	26.2
22:45 น.	48.8	41.8	47.5	44.7	47.6	43.5	46.8	42.7	51.1	89.0	80.5	69.8	26.7
23:00 น.	63.0	46.4	60.0	52.2	54.2	50.0	53.8	49.6	65.2	89.4	80.6	69.3	26.5
23:15 น.	49.1	42.1	47.8	45.1	48.3	44.3	47.4	43.4	52.1	86.0	79.0	68.4	26.0
23:30 น.	59.9	43.4	56.3	49.8	51.2	47.3	50.8	46.9	62.3	84.7	77.6	66.8	25.8
23:45 น.	51.6	43.2	49.8	46.8	50.3	45.8	49.4	44.9	54.8	81.5	75.3	65.4	26.2

ตาราง ข.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2553

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
00:00 น.	48.8	40.4	46.4	45.0	47.8	43.4	46.5	42.1	53.8	77.6	73.4	65.7	25.3
00:15 น.	60.6	46.4	57.2	51.8	54.4	50.4	52.8	48.8	63.4	82.0	77.2	68.5	25.4
00:30 น.	47.7	40.8	45.9	44.3	47.3	43.1	46.4	42.2	53.5	87.1	79.4	70.2	25.4
00:45 น.	62.6	46.4	59.7	51.6	54.3	50.1	53.4	49.2	65.3	89.0	83.2	73.1	24.6
01:00 น.	47.7	41.4	46.5	44.5	47.4	43.3	46.6	42.5	52.7	92.1	84.3	74.8	24.3
01:15 น.	64.3	48.3	61.9	50.9	57.5	52.2	55.4	50.1	64.7	93.6	86.3	75.6	24.3
01:30 น.	47.1	41.4	46.0	43.9	46.5	43.1	45.7	42.3	50.2	94.4	84.3	76.3	23.7
01:45 น.	51.2	42.6	50.0	45.6	50.0	45.2	49.1	44.3	55.8	94.0	85.9	74.8	22.6
02:00 น.	55.9	41.8	64.2	45.5	50.4	45.4	50.2	45.2	63.3	94.4	85.6	74.0	20.3
02:15 น.	48.6	42.0	47.3	45.0	48.1	44.1	47.1	43.1	52.7	93.8	84.8	73.8	20.6
02:30 น.	64.4	47.8	61.2	53.3	55.5	51.2	54.5	50.2	65.8	91.6	83.8	72.5	20.3
02:45 น.	47.8	41.8	46.2	44.6	47.1	43.4	46.3	42.6	50.9	89.1	81.3	71.2	20.4
03:00 น.	63.1	48.0	60.2	54.3	55.3	51.6	53.7	50.0	63.9	87.6	80.9	70.4	20.7
03:15 น.	47.0	41.6	45.8	44.6	46.8	43.2	46.1	42.5	50.4	86.9	79.0	69.3	21.1
03:30 น.	62.8	48.3	57.8	54.2	55.2	51.7	53.5	50.0	63.4	83.8	78.3	68.6	20.7
03:45 น.	47.7	41.8	46.9	45.3	47.3	43.8	46.4	42.9	51.7	84.1	76.0	67.0	20.9
04:00 น.	55.7	45.4	53.6	48.2	52.5	47.8	51.1	46.4	57.6	88.4	80.6	70.5	22.0
04:15 น.	49.5	42.6	48.9	45.1	48.8	44.3	47.8	43.3	52.6	88.8	79.9	70.4	21.6
04:30 น.	48.1	41.8	47.5	44.3	47.4	43.1	46.7	42.4	49.9	86.2	77.5	69.3	22.1
04:45 น.	47.8	41.6	47.1	44.0	47.0	42.8	46.2	42.0	50.6	85.8	76.0	68.4	22.6
05:00 น.	57.1	46.8	54.7	50.1	54.0	49.0	52.4	47.4	58.2	85.5	78.6	68.9	21.6
05:15 น.	50.3	42.9	49.5	45.6	49.6	45.0	48.8	44.2	54.0	85.8	78.8	69.6	21.7
05:30 น.	48.3	42.2	47.9	44.8	47.9	43.4	47.4	42.9	51.0	85.4	77.6	68.7	22.0
05:45 น.	47.7	41.8	47.3	44.3	47.4	43.0	46.8	42.4	49.7	87.7	77.2	69.4	21.9
06:00 น.	47.9	42.3	47.1	44.4	47.4	43.3	46.8	42.7	50.9	89.9	78.9	72.7	21.2
06:15 น.	56.9	41.7	54.6	48.9	48.8	45.1	48.9	45.2	59.5	85.2	75.3	65.7	21.6
06:30 น.	50.6	42.5	48.7	45.6	49.5	44.9	48.6	44.0	54.5	84.9	77.1	67.1	21.8
06:45 น.	47.4	41.4	46.1	44.2	46.3	42.8	45.5	42.0	54.9	86.7	76.9	67.7	20.9
07:00 น.	55.1	45.0	53.0	48.3	52.7	47.6	51.6	46.5	57.4	87.1	79.5	68.7	21.4
07:15 น.	47.9	41.6	46.9	44.4	47.0	43.2	46.2	42.4	49.8	90.7	79.3	69.3	21.7
07:30 น.	53.2	44.0	51.3	47.0	51.3	46.3	50.2	45.2	56.4	89.9	81.4	70.5	22.5
07:45 น.	47.6	41.5	46.3	44.1	46.7	43.0	45.8	42.1	49.2	89.9	79.6	70.2	22.0

ตาราง ข.3 ข้อมูลอุณหภูมิโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ วันที่ 29 มีนาคม พ.ศ.2553 (ต่อ)

เวลา	A[1]	B[2]	C[2]	D[4]	E[5]	F[6]	G[7]	H[8]	I[9]	J[10]	K[11]	L[12]	M[13]
08:00 น.	46.6	44.6	42.6	45.2	42.9	42.2	42.3	41.6	50.4	54.3	48.7	44.3	23.0
08:15 น.	43.3	40.6	42.5	42.1	42.4	40.9	41.7	40.2	49.7	55.7	51.0	46.4	23.2
08:30 น.	48.2	40.4	42.8	45.0	41.2	40.6	41.2	40.6	51.6	58.1	51.5	46.4	23.5
08:45 น.	49.7	41.2	44.7	48.1	44.4	42.8	44.4	42.8	50.7	58.9	54.4	48.8	23.9
09:00 น.	51.9	43.4	46.6	49.9	47.3	45.7	46.5	44.9	52.3	59.6	55.0	49.5	23.9
09:15 น.	52.5	44.4	47.7	50.6	48.3	46.8	47.7	46.2	53.9	60.6	56.4	50.9	25.4
09:30 น.	54.2	45.1	49.2	52.3	49.6	48.0	48.9	47.3	55.2	62.5	58.0	52.4	24.1
09:45 น.	49.0	43.2	48.0	46.9	48.2	44.8	47.3	43.9	51.0	65.7	59.8	53.6	25.3
10:00 น.	56.0	46.8	52.0	52.5	52.1	49.9	51.1	48.9	58.4	69.2	63.7	56.8	27.9
10:15 น.	58.4	47.1	53.5	53.1	52.1	50.1	51.6	49.6	59.2	71.4	66.8	59.3	28.1
10:30 น.	58.6	46.9	54.5	52.3	52.8	49.6	52.9	49.7	60.3	76.2	68.5	61.1	28.2
10:45 น.	56.7	44.5	55.6	48.7	50.1	47.2	50.2	47.3	58.8	80.3	70.3	62.8	27.7
11:00 น.	49.1	43.7	48.9	46.0	48.7	45.1	47.9	44.3	49.9	80.1	70.2	63.8	29.1
11:15 น.	49.7	44.0	49.5	46.4	49.3	45.6	48.3	44.6	50.5	81.0	72.2	64.5	29.6
11:30 น.	50.1	44.1	49.5	46.7	49.4	45.7	48.6	44.9	51.3	81.3	72.8	65.5	29.9
11:45 น.	50.8	44.6	50.1	47.2	50.3	46.4	49.4	45.5	52.8	82.6	75.0	67.1	30.4
12:00 น.	51.1	44.9	50.6	47.5	50.4	46.6	49.5	45.7	52.0	86.4	76.0	68.7	31.9
12:15 น.	52.6	45.6	52.0	48.5	51.7	47.6	50.9	46.8	54.1	88.2	79.1	69.6	31.2
12:30 น.	55.1	46.8	53.9	49.7	53.6	49.0	52.5	47.9	57.2	90.1	82.1	72.5	31.2
12:45 น.	64.2	49.8	67.1	53.6	57.8	53.3	57.9	53.4	66.9	92.7	82.3	73.0	31.0
13:00 น.	51.7	45.9	50.9	48.4	51.4	47.6	50.4	46.6	51.8	94.1	80.7	76.1	32.1
13:15 น.	52.3	45.9	51.5	48.7	51.8	47.8	50.9	46.9	52.4	93.7	82.3	75.4	33.7
13:30 น.	55.2	47.0	54.4	50.1	54.1	49.3	53.2	48.4	57.5	93.0	84.8	75.1	32.4
13:45 น.	57.6	47.0	64.2	49.8	53.0	49.7	52.8	49.5	63.3	94.0	82.3	74.2	32.3
14:00 น.	53.0	47.0	52.1	49.7	52.5	48.8	51.6	47.9	53.1	93.3	82.1	73.9	34.5
14:15 น.	54.0	47.0	53.2	49.8	53.2	49.0	52.2	48.0	55.1	93.2	84.2	74.5	35.1
14:30 น.	62.9	52.2	62.5	54.4	59.9	54.7	58.4	53.2	64.9	92.7	84.4	74.6	35.9
14:45 น.	52.9	47.0	52.0	49.5	52.2	48.8	51.2	47.8	52.8	92.7	80.9	74.6	37.0

<u>หมายเหตุ</u> 1 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-บน)

2 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-ล่าง)

3 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านขวา-บน)

4 อุณหภูมิบริเวณหลังห้องอบแห้ง (ด้านขวา-ล่าง)

5 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-บน)

6 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านซ้าย-ล่าง)

7 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านขวา-บน)

8 อุณหภูมิบริเวณหน้าห้องอบแห้ง (ด้านขวา-บน)

9 อุณหภูมิบริเวณกลางห้องอบแห้ง

10 อุณหภูมิน้ำร้อน

11 อุณหภูมิน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

12 อุณหภูมิน้ำออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

13 อุณหภูมิบรรยากาศ

ภาคผนวก ค

ข้อมูลส่วนประกอบก๊าซไอเสียจากปล่องควันของ
โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมและแบบใหม่

ตาราง ค.1 ปริมาณก๊าซที่เกิดจากตรวจวัดของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ชั่วโมง	ค่าต่าง ๆ ของควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง				
	Ambient Temp(°C)	Fuel Temp(°C)	O_2 (%)	CO (ppm)	Ex Air (%)
14.00 น.	36.60	43.50	18.80	5063	600.20
15.00 น.	36.70	44.30	18.10	5864	642.10
16.00 น.	35.20	46.10	18.10	5516	712.30
17.00 น.	35.40	47.10	18.20	5421	758.80
18.00 น.	34.50	50.10	17.90	5295	793.80
19.00 น.	32.70	51.10	17.80	5392	815.30
20.00 น.	30.60	55.90	17.80	4751	885.30
21.00 น.	28.70	59.50	17.90	4749	956.90
22.00 น.	27.80	63.20	17.90	4580	1019.10
23.00 น.	27.20	67.10	18.00	4657	1121.30
24.00 น.	25.90	68.30	17.90	4934	1145.40
1.00 น.	24.20	69.90	17.70	4082	1202.40
2.00 น.	22.70	69.10	17.60	4339	1245.90
3.00 น.	22.20	66.30	17.80	4247	1400.30
4.00 น.	22.90	63.20	17.90	4508	1527.90
5.00 น.	24.20	61.40	18.00	4713	1653.10
6.00 น.	25.00	58.70	18.10	4992	1832.40
7.00 น.	25.90	55.90	18.00	4339	1901.20
8.00 น.	26.80	54.40	18.10	4533	1978.90
9.00 น.	27.90	52.40	18.00	4303	2055.90
10.00 น.	28.00	52.00	17.90	4649	2098.50
11.00 น.	28.50	51.70	18.00	4538	2105.00
12.00 น.	30.00	50.00	17.80	4743	2109.60
13.00 น.	30.90	49.70	17.90	4611	2111.00
Average	**28.77**	**56.29**	**17.97**	**4784**	**1361.36**

ตาราง ค.2 ปริมาณก๊าซที่เกิดจากตรวจวัดของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ชั่วโมง	ค่าต่าง ๆ ของควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง				
	Ambient Temp(°C)	Fuel Temp(°C)	O_2 (%)	CO (ppm)	Ex Air (%)
14.00 น.	36.60	39.70	20.20	13.00	-
15.00 น.	36.70	40.50	20.40	13.00	-
16.00 น.	35.20	42.30	20.10	12.00	-
17.00 น.	35.40	43.30	20.60	12.00	-
18.00 น.	34.50	44.20	20.40	10.00	-
19.00 น.	32.70	43.60	20.10	10.00	-
20.00 น.	30.60	38.80	20.00	11.00	-
21.00 น.	28.70	36.60	19.90	12.00	-
22.00 น.	27.80	35.50	19.90	11.00	-
23.00 น.	27.20	34.90	19.80	10.00	-
24.00 น.	25.90	33.60	19.90	9.00	-
1.00 น.	24.20	32.20	20.00	9.00	-
2.00 น.	22.70	30.70	20.00	9.00	-
3.00 น.	22.20	30.20	19.90	9.00	-
4.00 น.	22.90	30.90	19.90	8.00	-
5.00 น.	24.20	32.20	20.10	9.00	-
6.00 น.	25.00	33.00	20.30	7.00	-
7.00 น.	25.90	33.90	20.50	8.00	-
8.00 น.	26.80	34.80	20.50	7.00	-
9.00 น.	27.90	35.90	20.60	7.00	-
10.00 น.	28.00	35.60	20.60	8.00	-
11.00 น.	28.50	36.10	20.40	7.00	-
12.00 น.	30.00	37.60	20.50	7.00	-
13.00 น.	30.90	38.50	20.50	7.00	-
Average	**28.77**	**36.44**	**20.21**	**9.38**	-

ภาคผนวก ง

ข้อมูลปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมและแบบใหม่

ตาราง ง.1 ปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

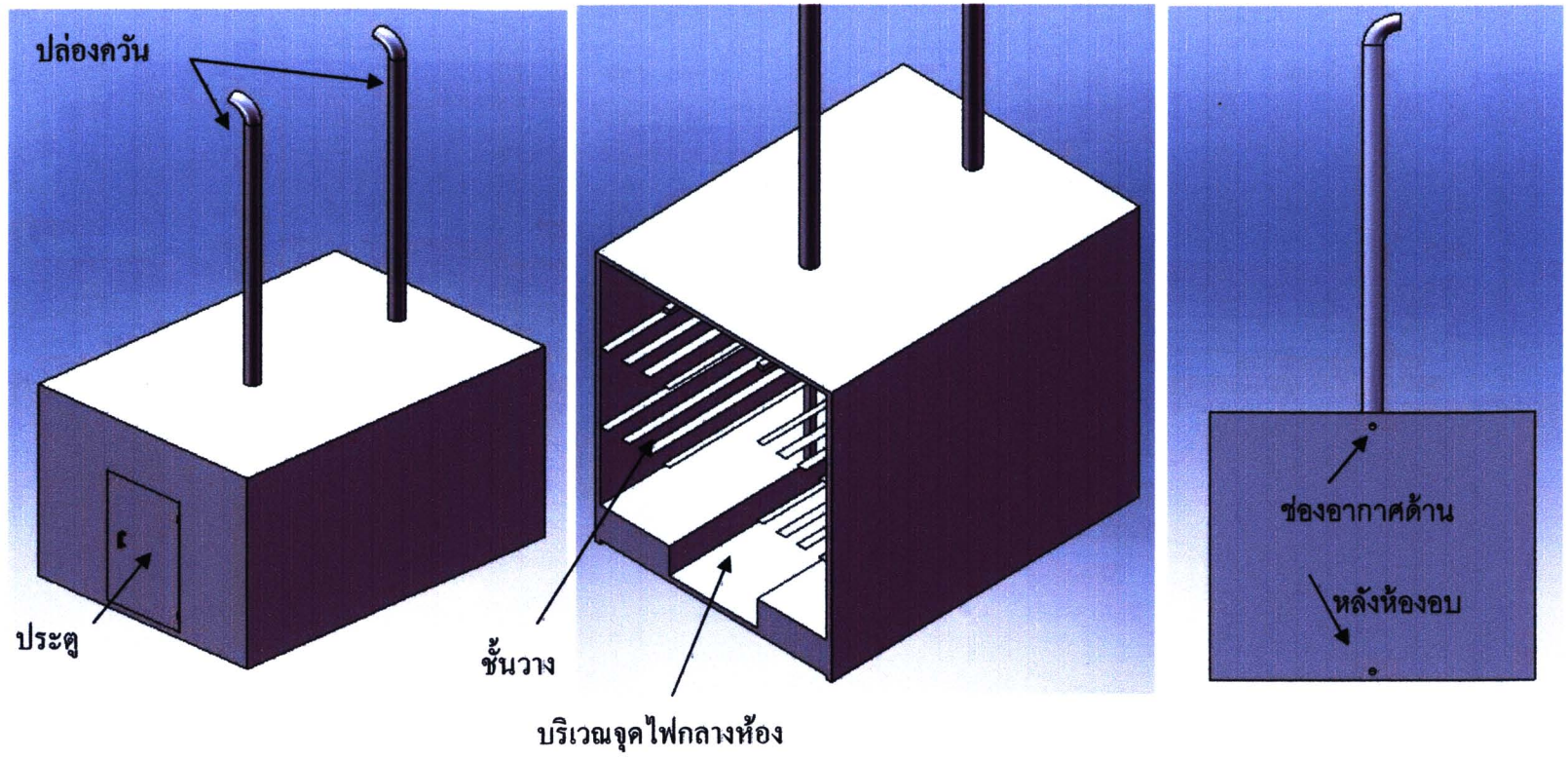
ชั่วโมงที่	ปริมาณฝุ่น (mg/m^3)			
	เหนือ	ใต้	ตะวันออก	ตะวันตก
14.00 น.	1,915	2,102	1,155	989
15.00 น.	2,187	2,103	1,119	1,008
16.00 น.	2,211	2,117	1,249	1,091
17.00 น.	2,120	1,899	1,489	1,067
18.00 น.	2,093	1,977	1,423	998
19.00 น.	1,812	2,078	1,782	921
20.00 น.	1,685	1,955	1,570	986
21.00 น.	1,780	1,980	1,641	855
22.00 น.	1,678	2,210	1,391	865
23.00 น.	1,756	2,133	1,563	711
24.00 น.	1,899	2,100	1,839	998
1.00 น.	1,805	2,048	1,447	721
2.00 น.	1,815	1,954	1,246	865
3.00 น.	1,830	1,998	1,438	832
4.00 น.	1,633	2,147	1,498	770
5.00 น.	1,736	2,276	1,616	899
6.00 น.	1,727	2,111	1,526	727
7.00 น.	1,563	2,103	1,423	756
8.00 น.	1,717	2,266	1,295	805
9.00 น.	1,709	2,153	1,344	938
10.00 น.	1,824	2,189	1,275	981
11.00 น.	1,807	1,951	1,117	851
12.00 น.	1,799	2,244	1,092	839
13.00 น.	1,712	2,227	1,375	898
Average	**1,826**	**2,097**	**1,413**	**890**

ตาราง ง.2 ปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

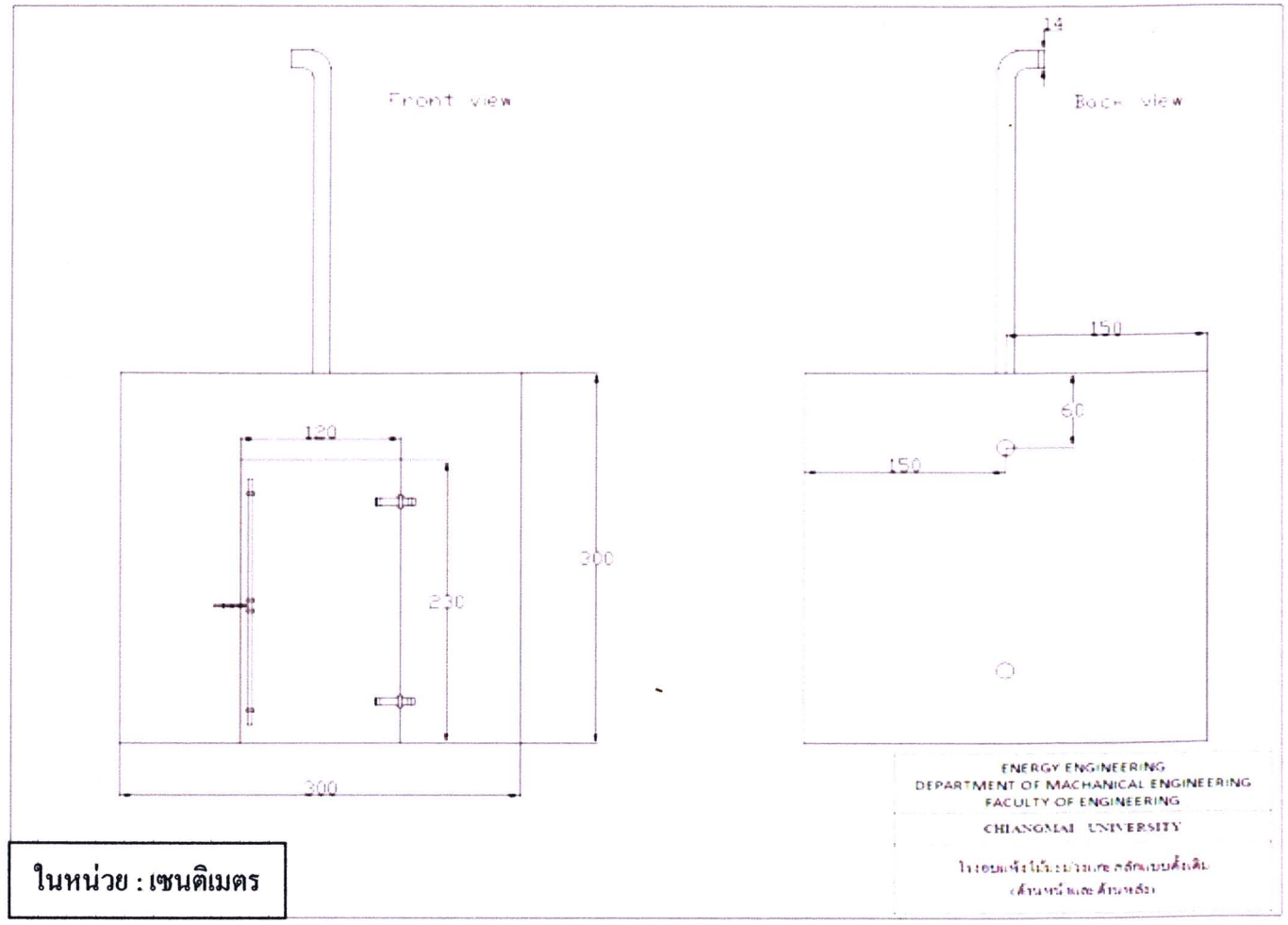
ชั่วโมงที่ / สถานะ	ปริมาณฝุ่น (mg/m^3)	
	ก่อนเปิดระบบเครื่องดักฝุ่น	หลังเปิดระบบเครื่องดักฝุ่น
14.00 น.	127	9
15.00 น.	132	10
16.00 น	199	11
17.00 น.	165	9
18.00 น.	170	9
19.00 น.	120	9
20.00 น.	111	8
21.00 น.	121	9
22.00 น.	139	7
23.00 น.	189	9
24.00 น.	155	8
01.00 น.	178	6
02.00 น.	166	6
03.00 น.	103	5
04.00 น.	119	7
05.00 น.	157	5
06.00 น.	123	6
07.00 น.	145	8
08.00 น.	130	7
09.00 น.	182	7
10.00 น.	118	5
11.00 น.	162	6
12.00 น.	159	5
13.00 น.	147	5
Average	**147**	**7**

ภาคผนวก จ

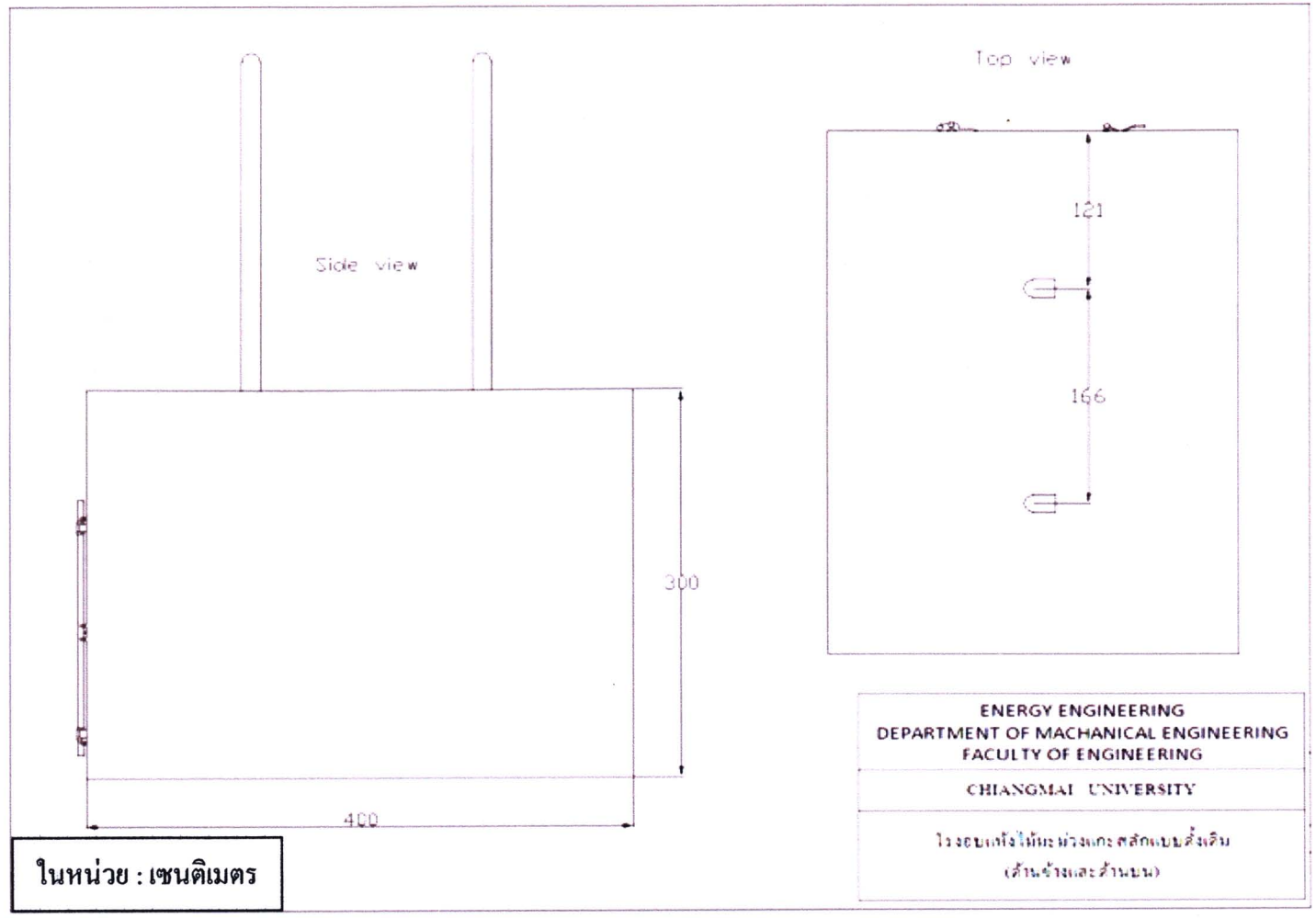
รายละเอียดแบบของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมและแบบใหม่



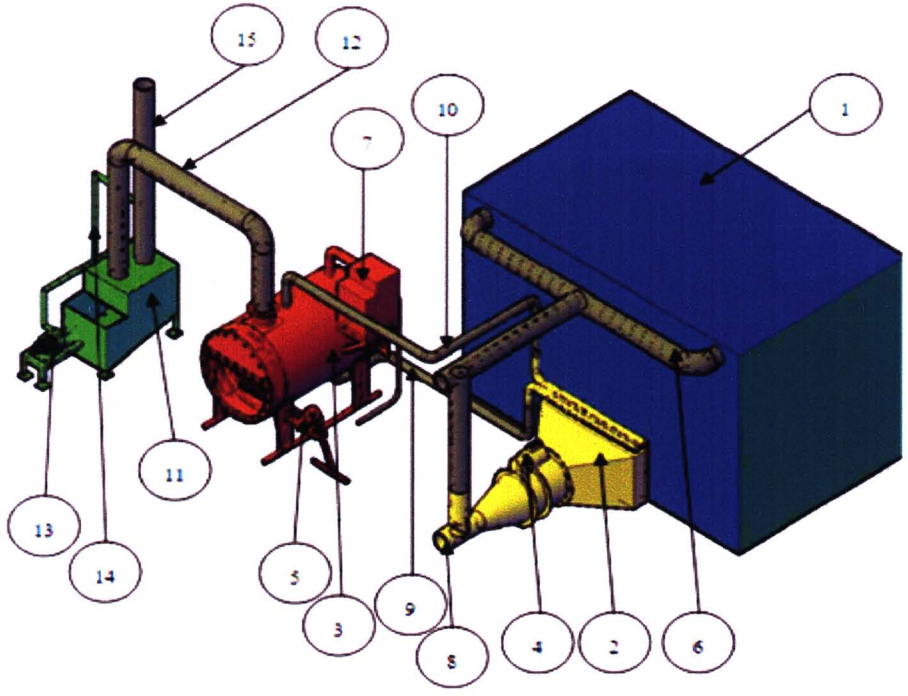
รูปที่ จ.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม



รูปที่ จ.2 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม (ด้านหน้าและด้านหลัง)



รูปที่ จ.3 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม (ด้านข้างและด้านบน)

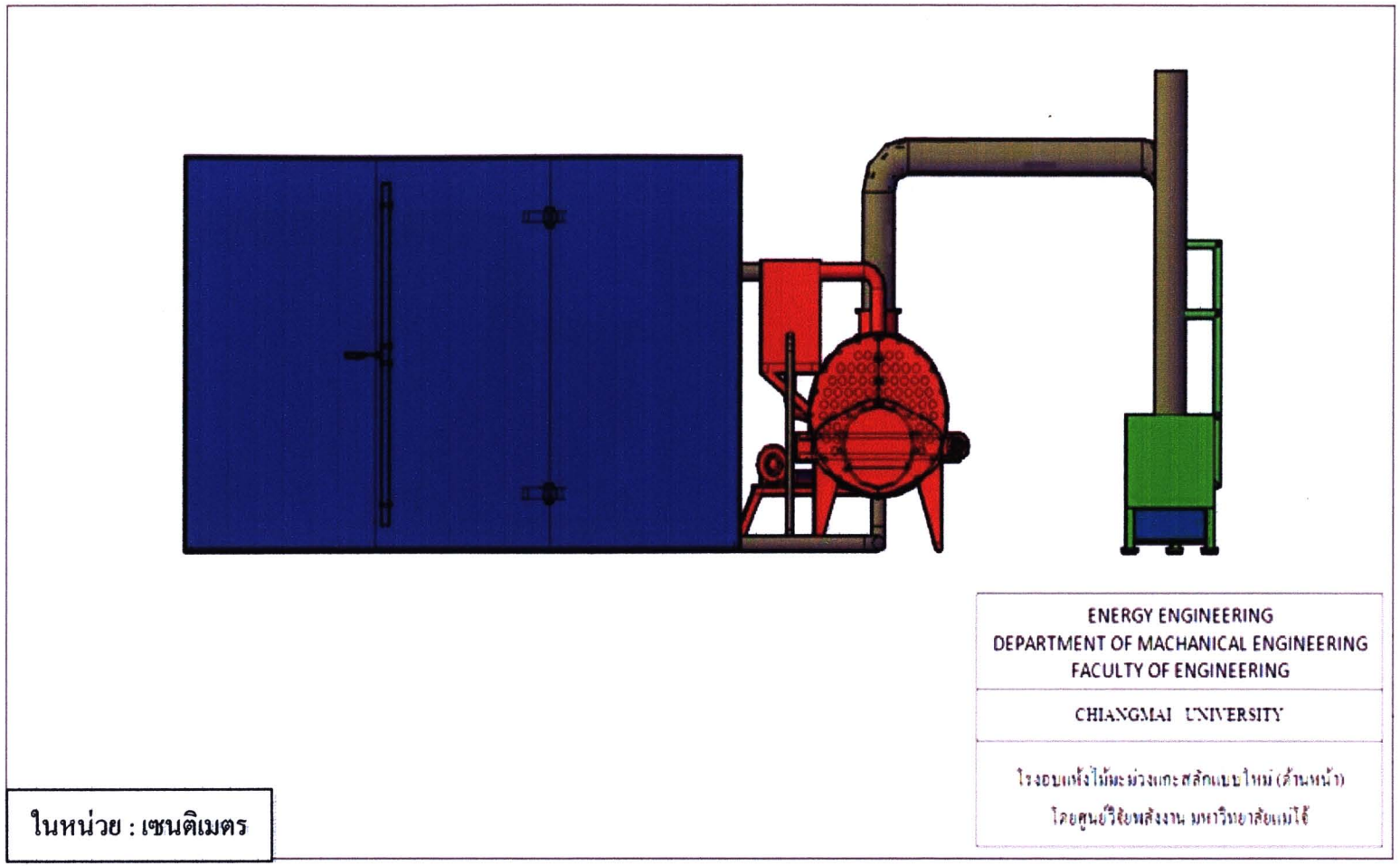


หมายเลข	รายการ
1	ห้องอบแห้ง
2	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3	หม้อต้มน้ำ โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล
4	Boiler 1 แรงม้า
5	Boiler 0.5 แรงม้า
6	ท่อดูดอากาศกลับมาใช้ใหม่ในห้องอบแห้ง
7	ชุดควบแน่นน้ำที่ระเหยกลับมาใช้ใหม่
8	อากาศเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
9	ท่อน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำ
10	ท่อน้ำร้อนกลับเข้าหม้อต้มน้ำ
11	ถังเก็บน้ำ
12	ท่อควันจากการเผาไหม้
13	ปั๊มน้ำ 1 แรงม้า
14	ระบบสเปรย์น้ำ
15	ท่อควันสะอาดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

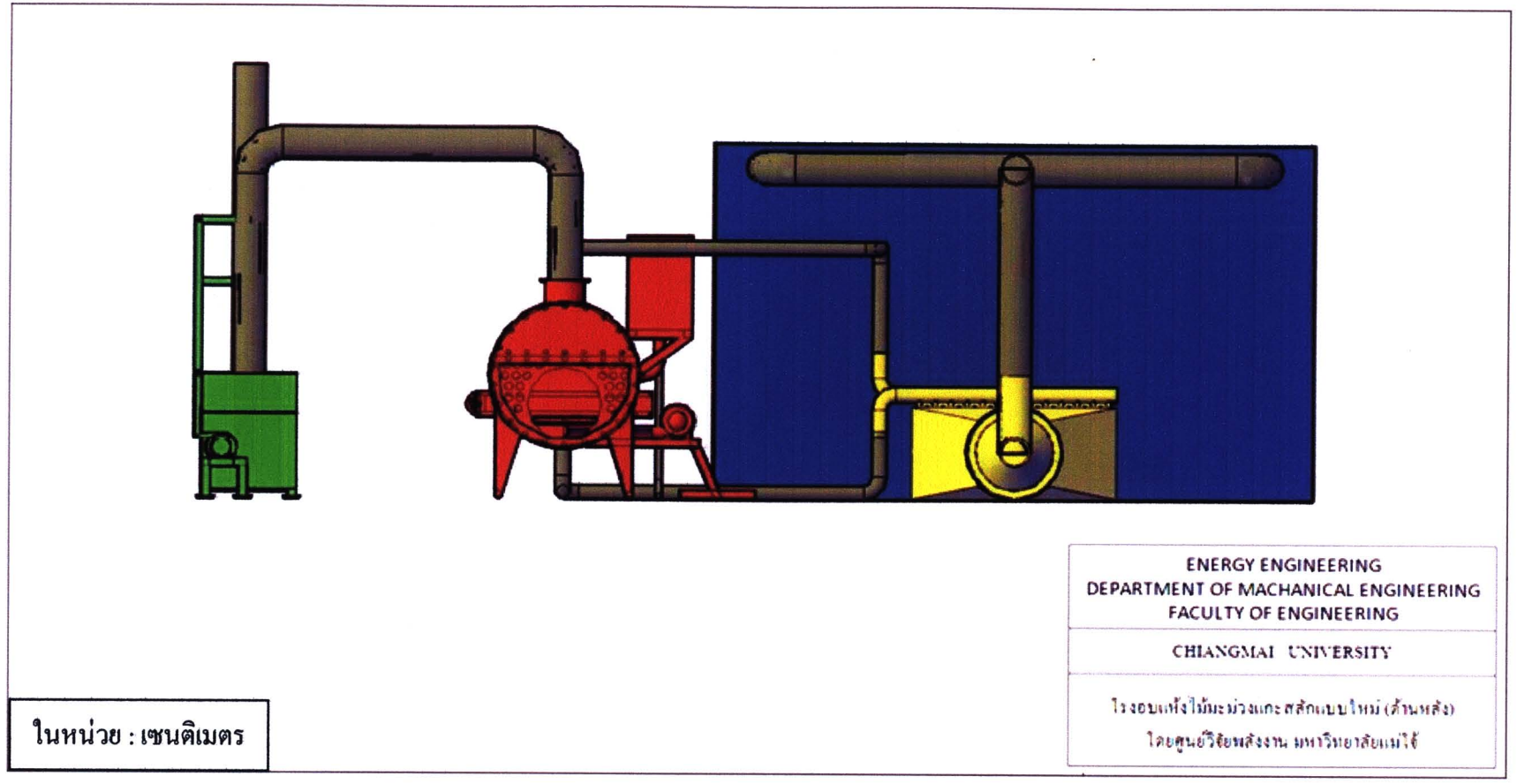
ENERGY ENGINEERING
DEPARTMENT OF MACHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
CHIANG MAI UNIVERSITY

โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่
โดย ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้

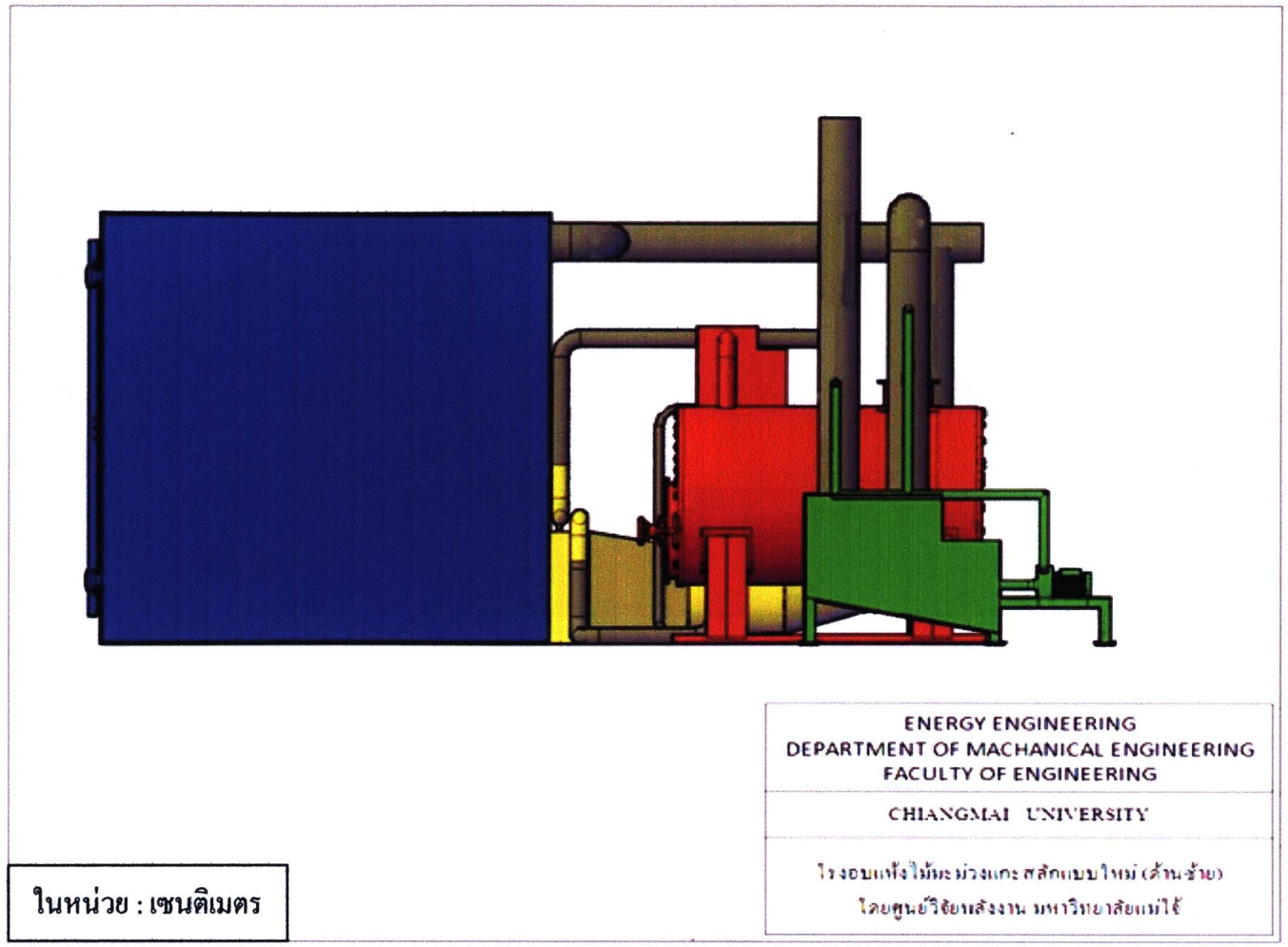
รูปที่ จ.4 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่



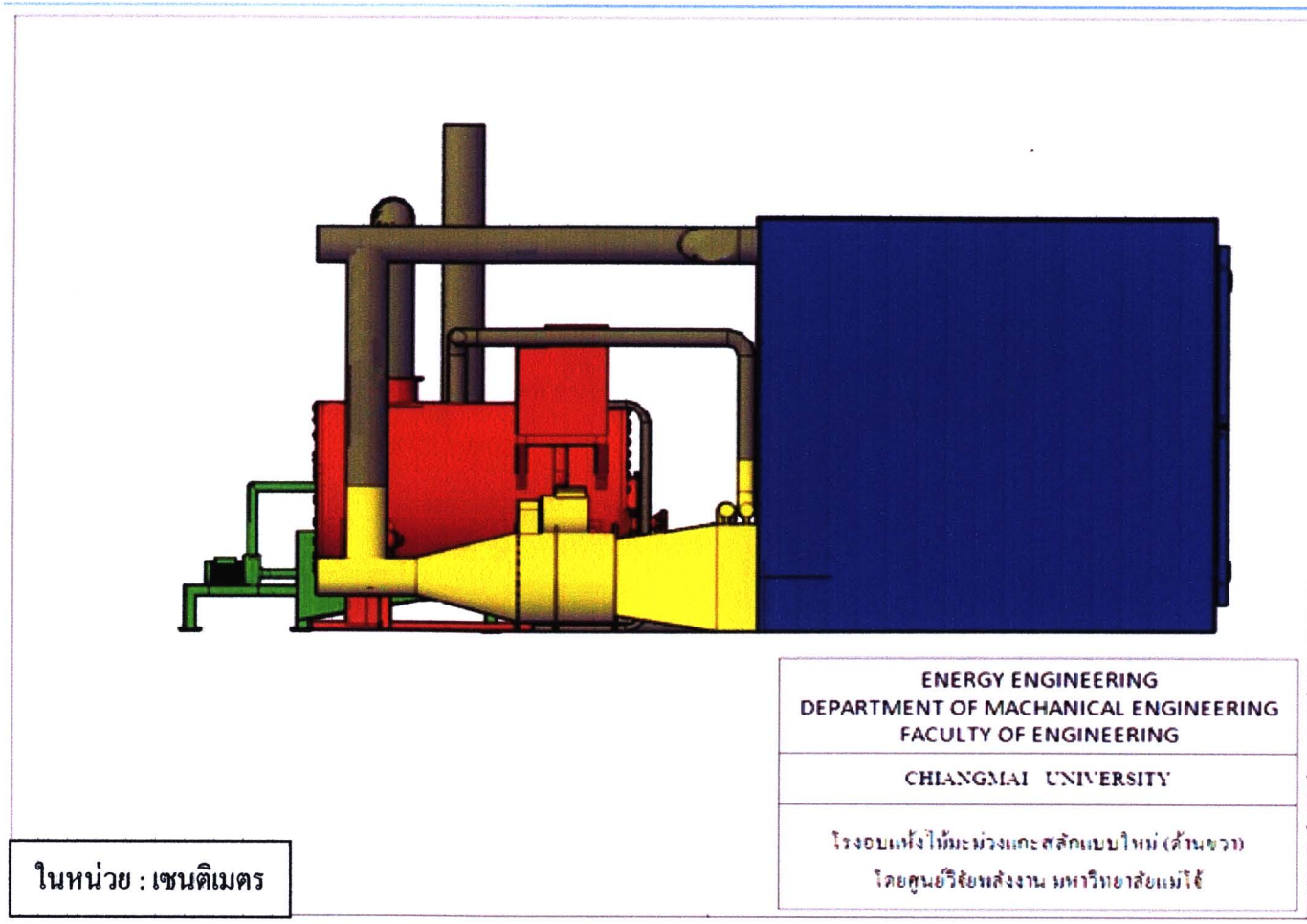
รูปที่ จ.5 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านหน้า)



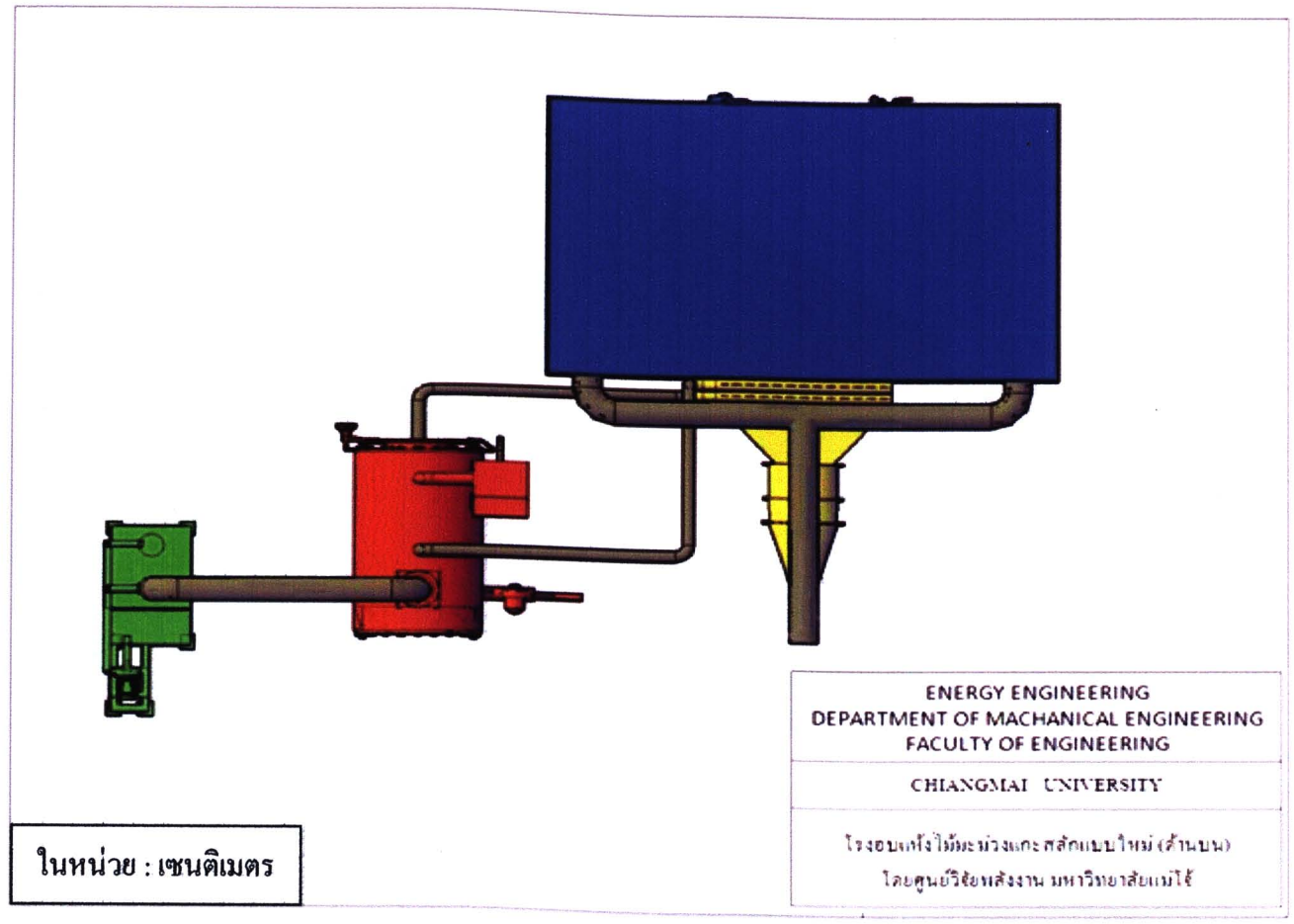
รูปที่ จ.6 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านหลัง)



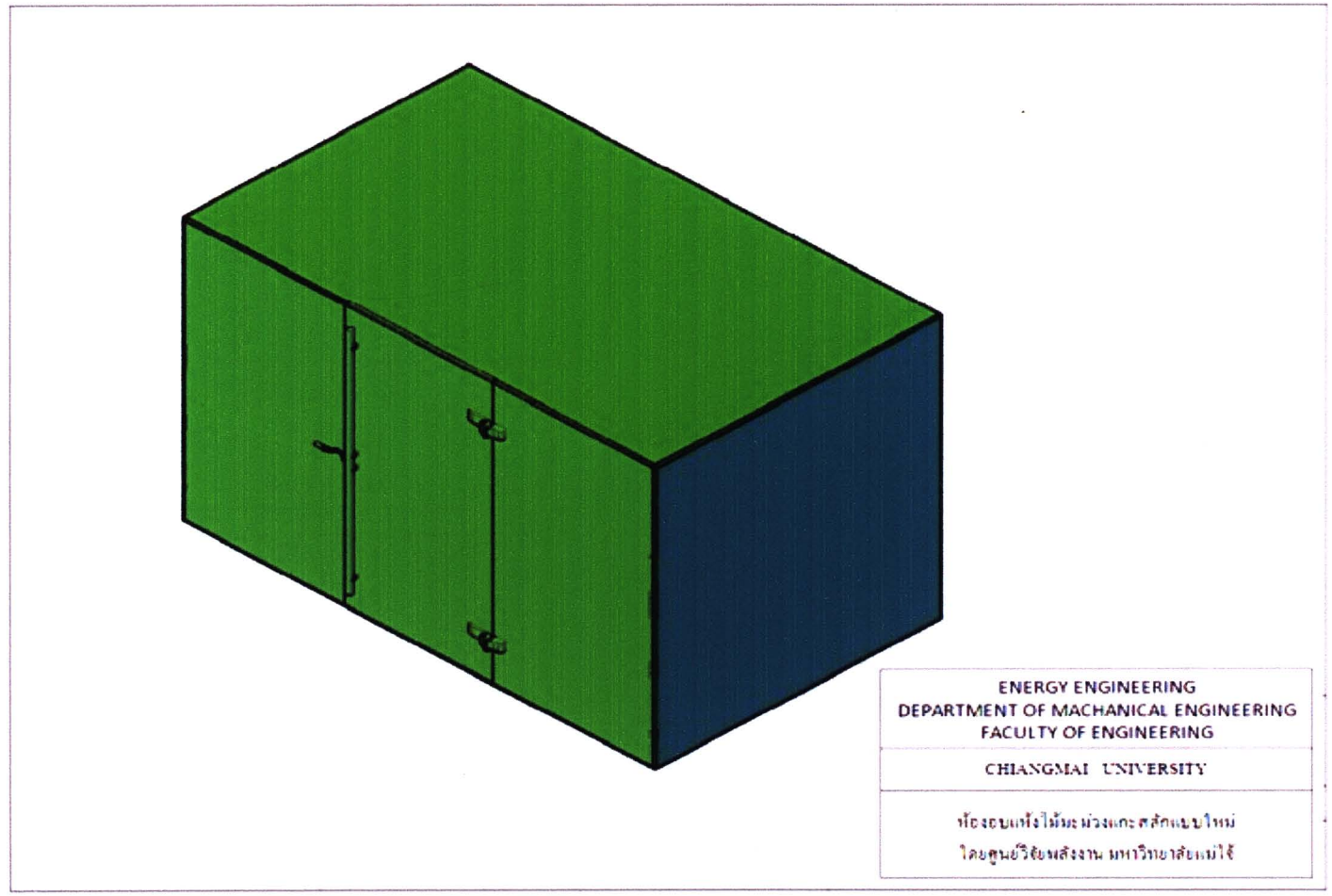
รูปที่ จ.7 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านซ้าย)



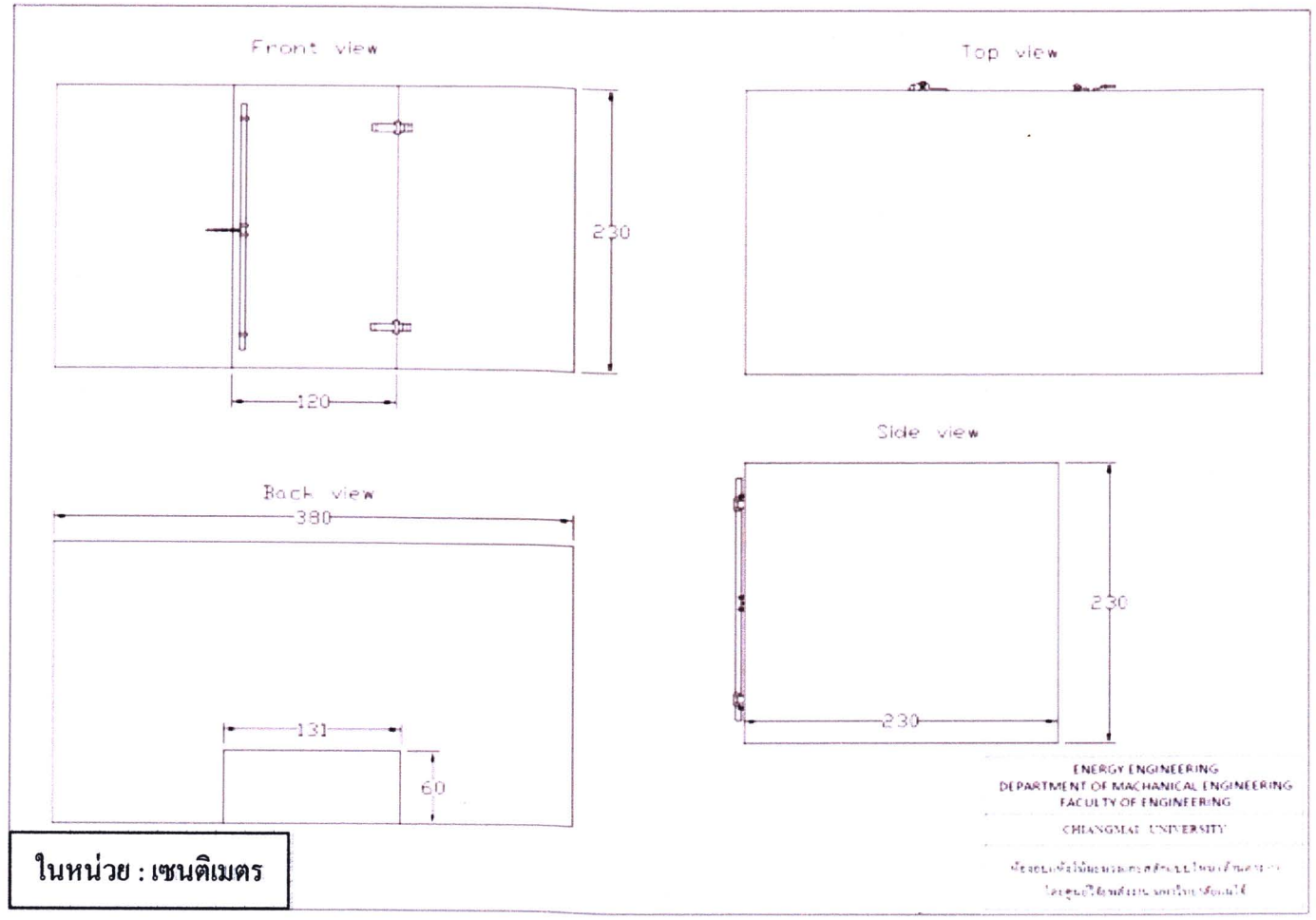
รูปที่ จ.8 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านขวา)



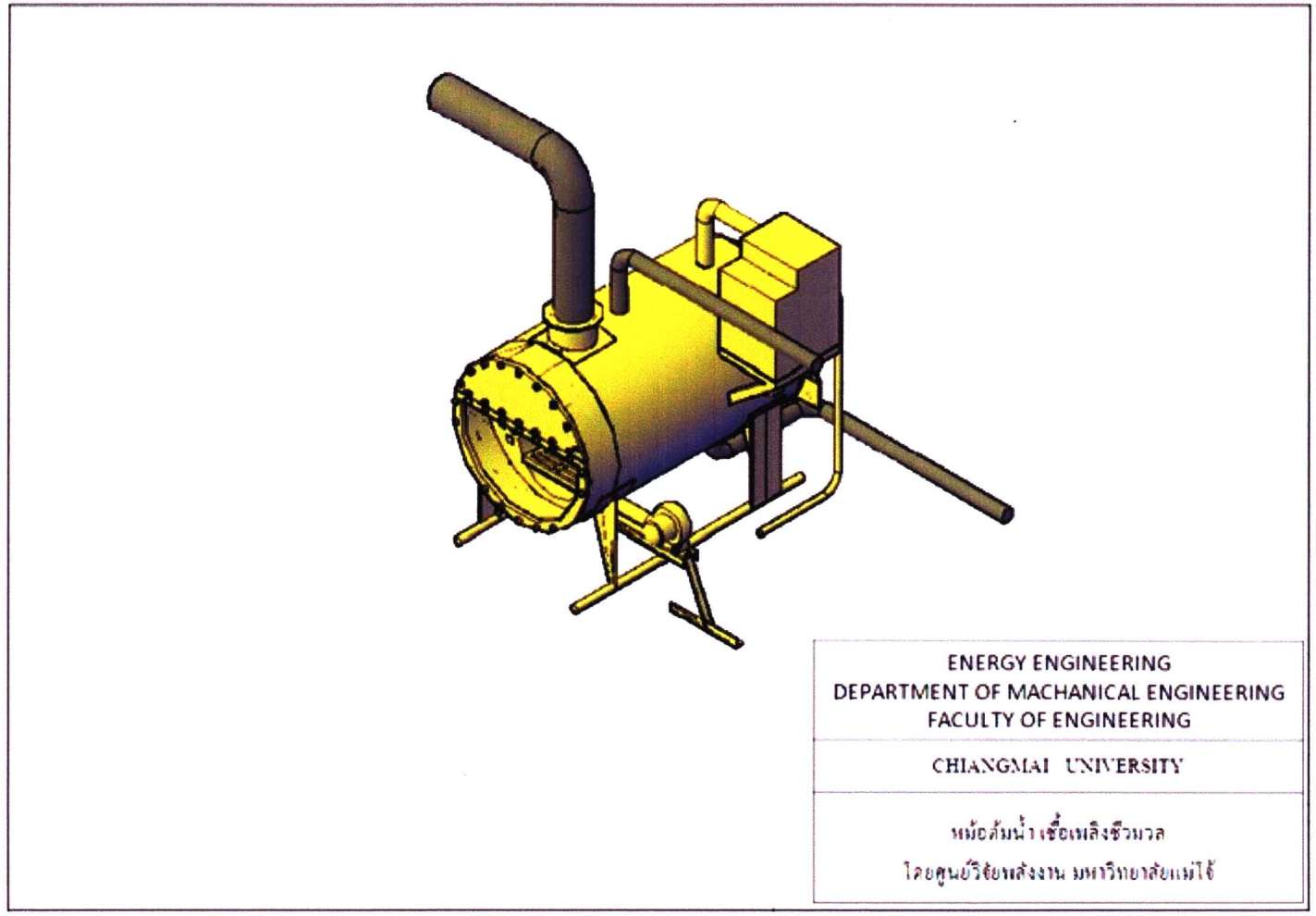
รูปที่ จ.9 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านบน)



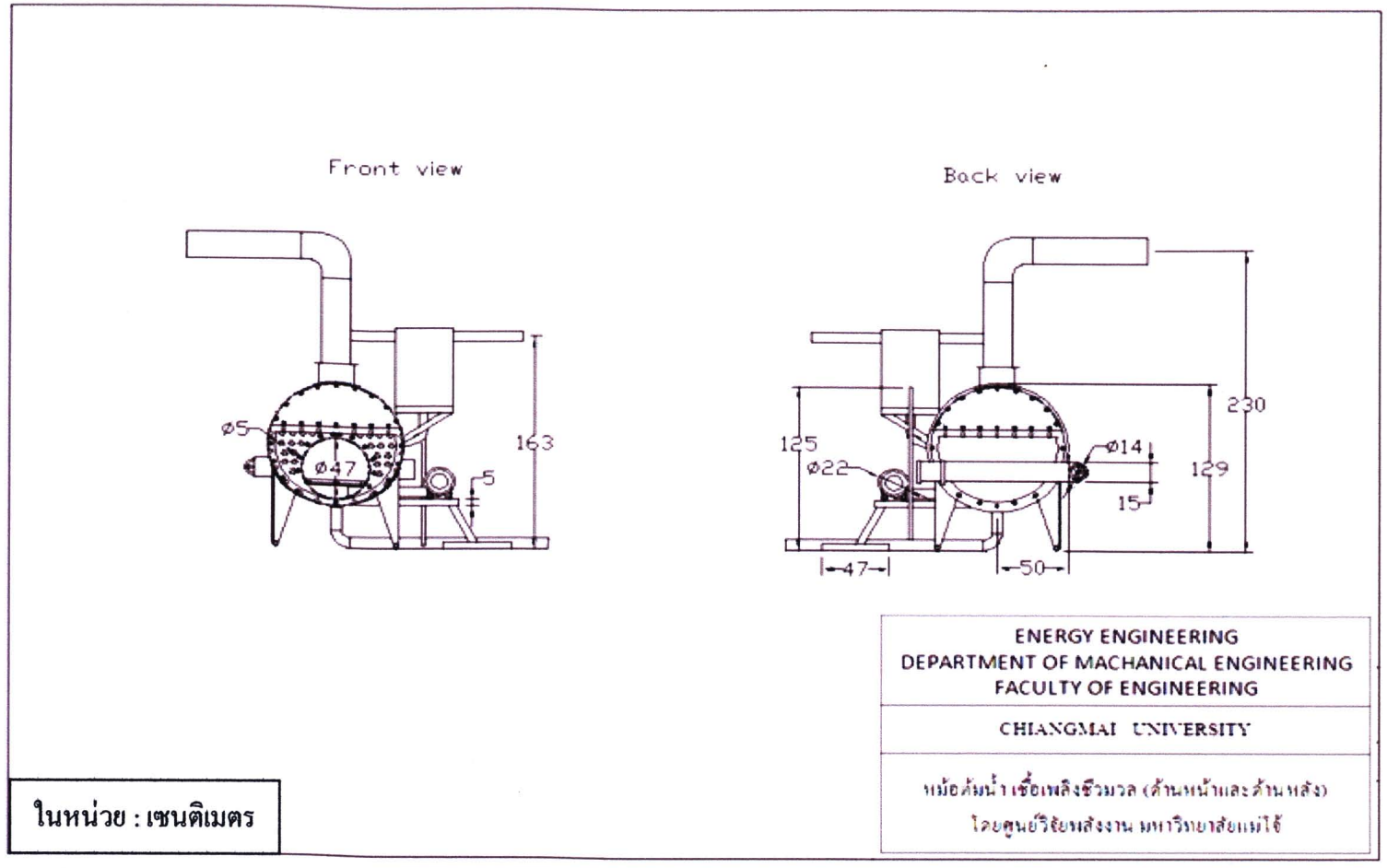
รูปที่ จ.10 ห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่



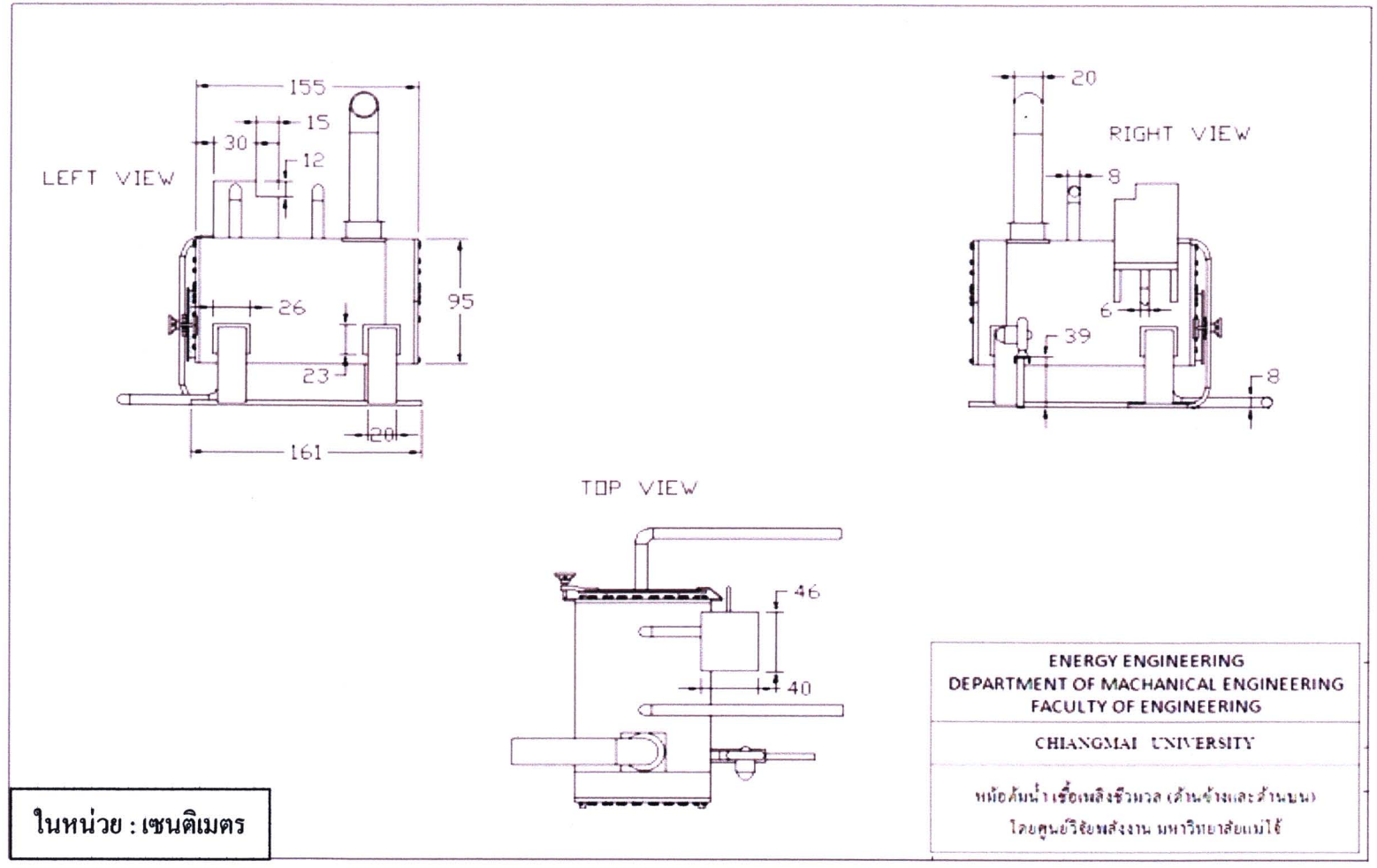
รูปที่ จ.11 ห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ (ด้านต่าง ๆ)



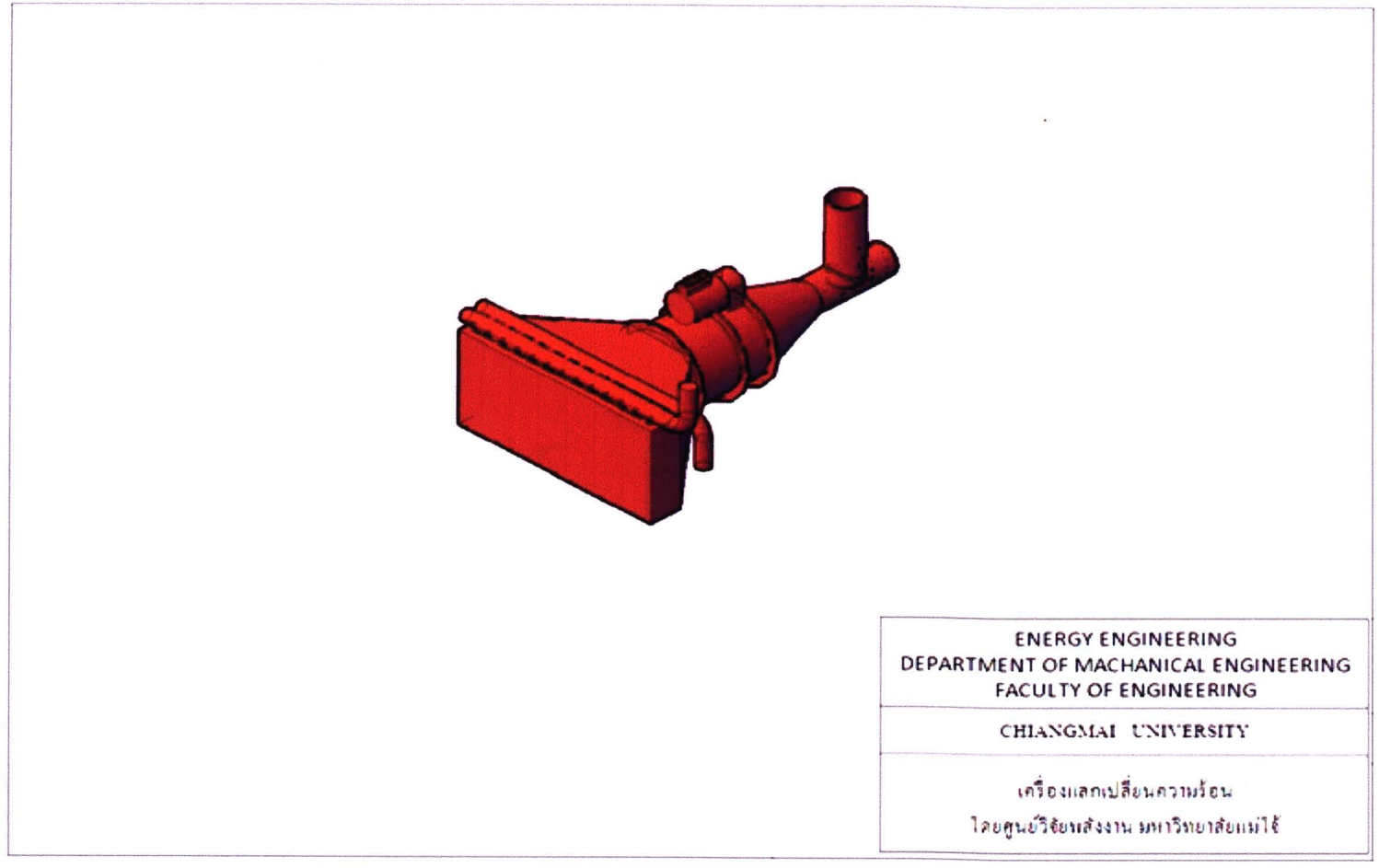
รูปที่ จ.12 หม้อต้มน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล



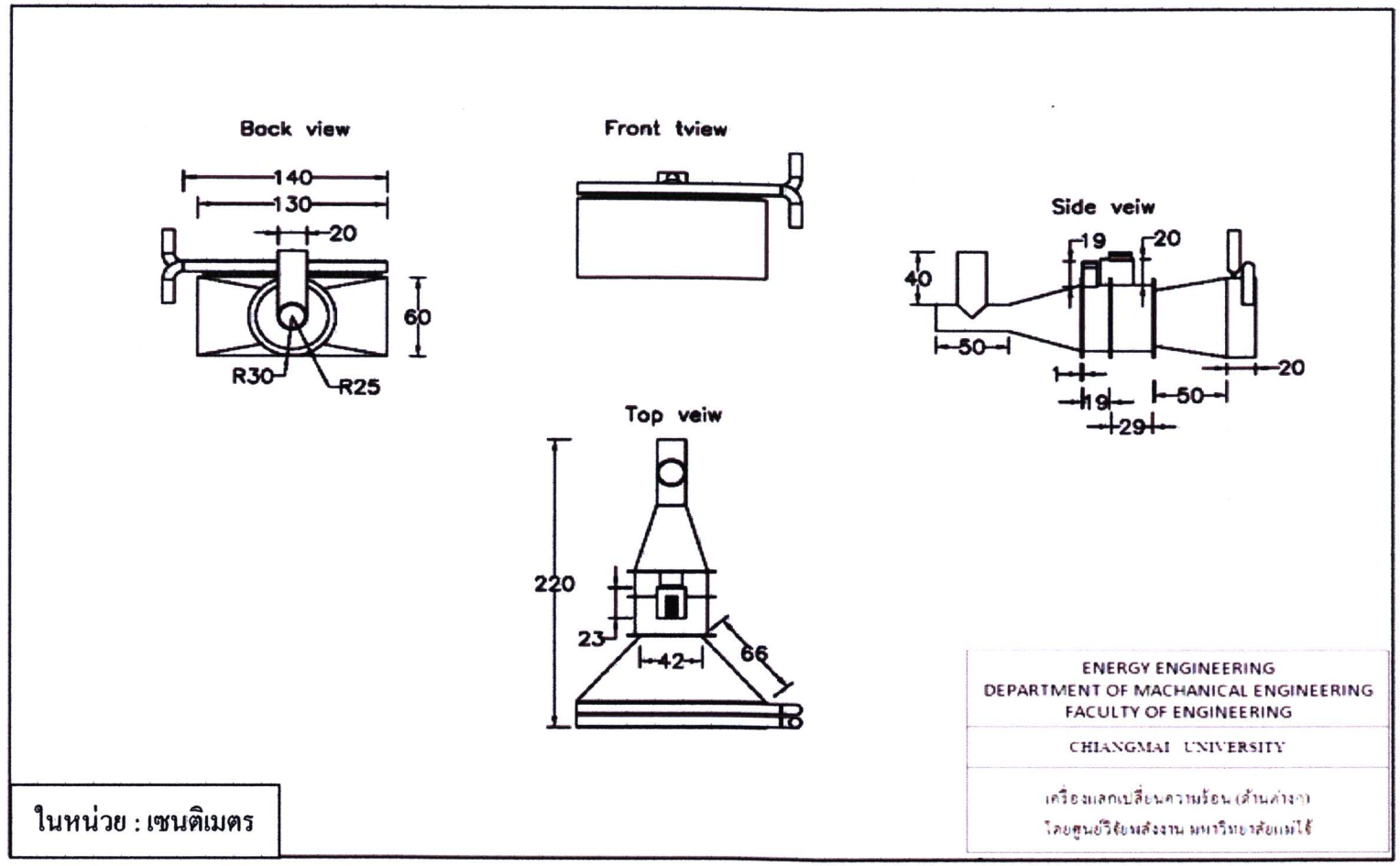
รูปที่ จ.13 หม้อต้มน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล (ด้านหน้าและด้านหลัง)



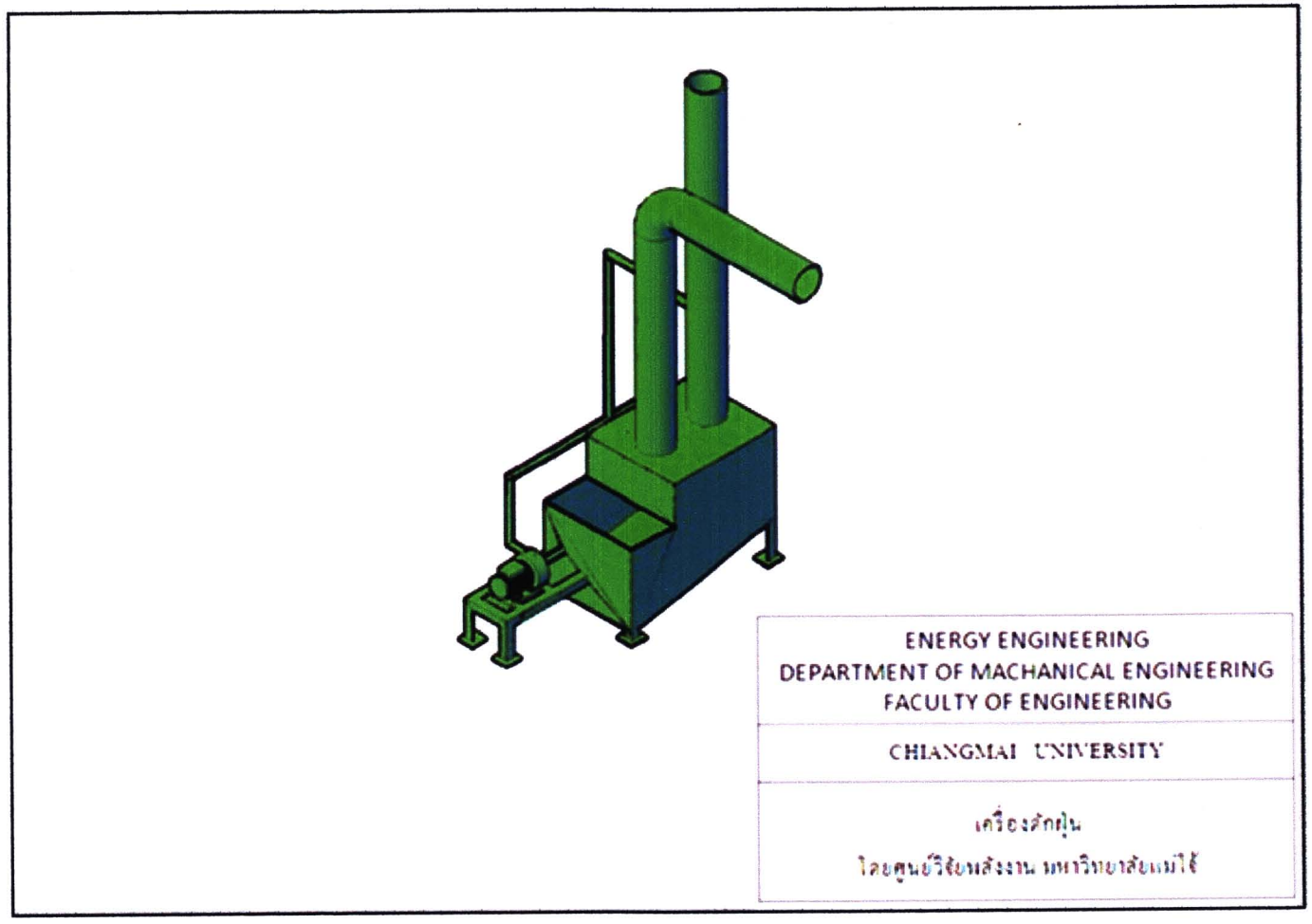
รูปที่ จ.14 หม้อต้มน้ำเชื้อเพลิงชีวมวล (ด้านข้างและด้านบน)



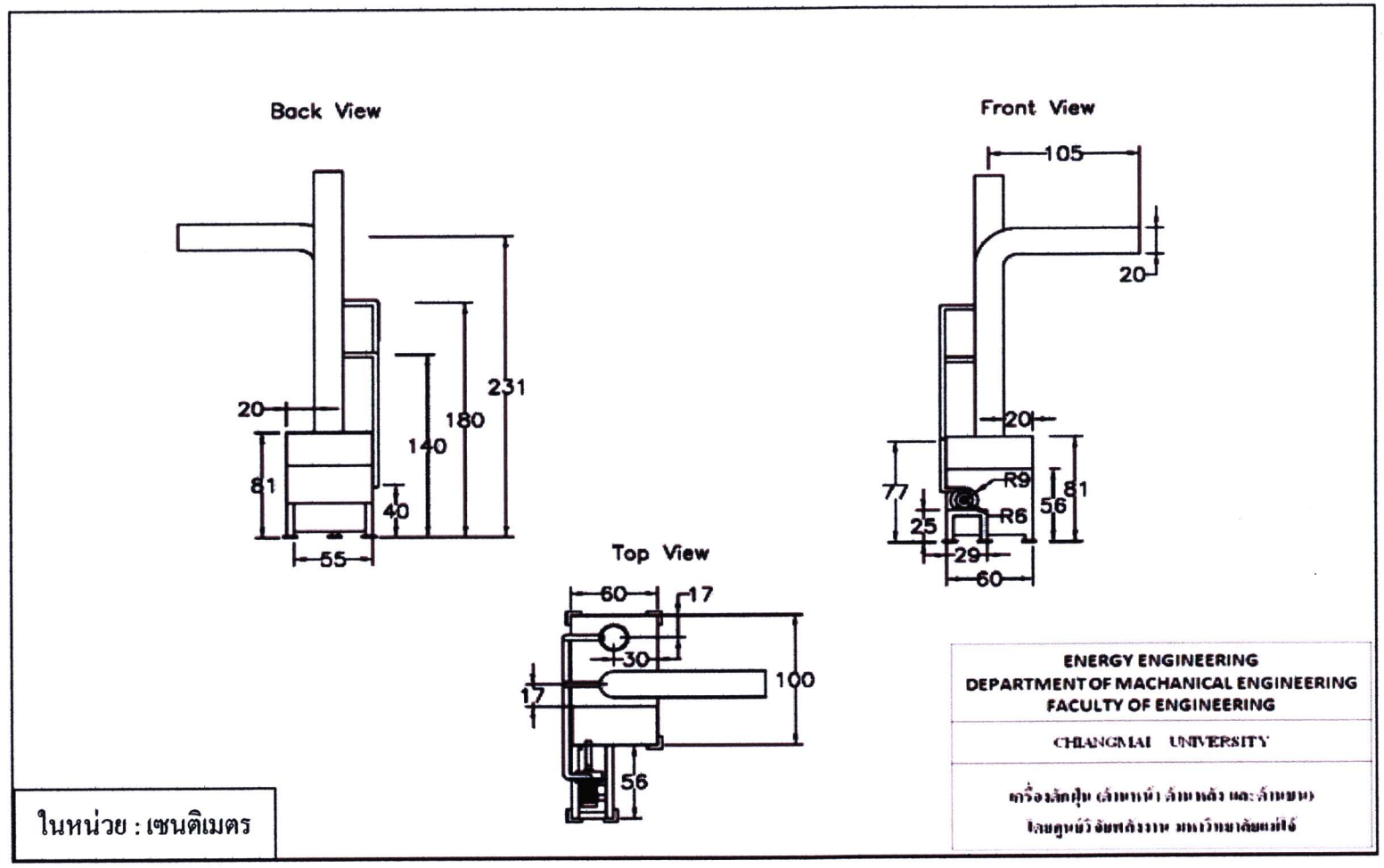
รูปที่ จ.15 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



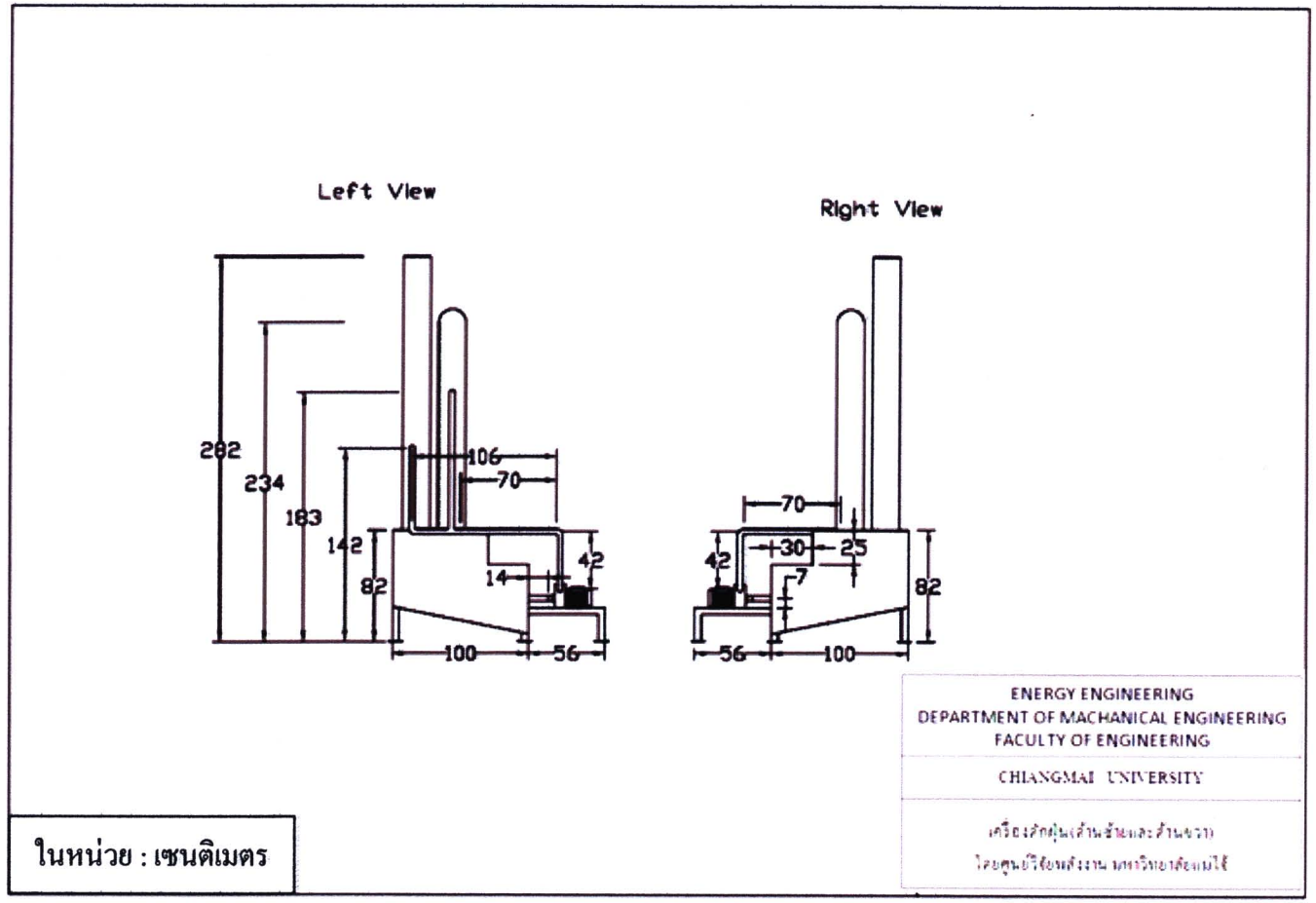
รูปที่ จ.16 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ด้านต่างๆ)



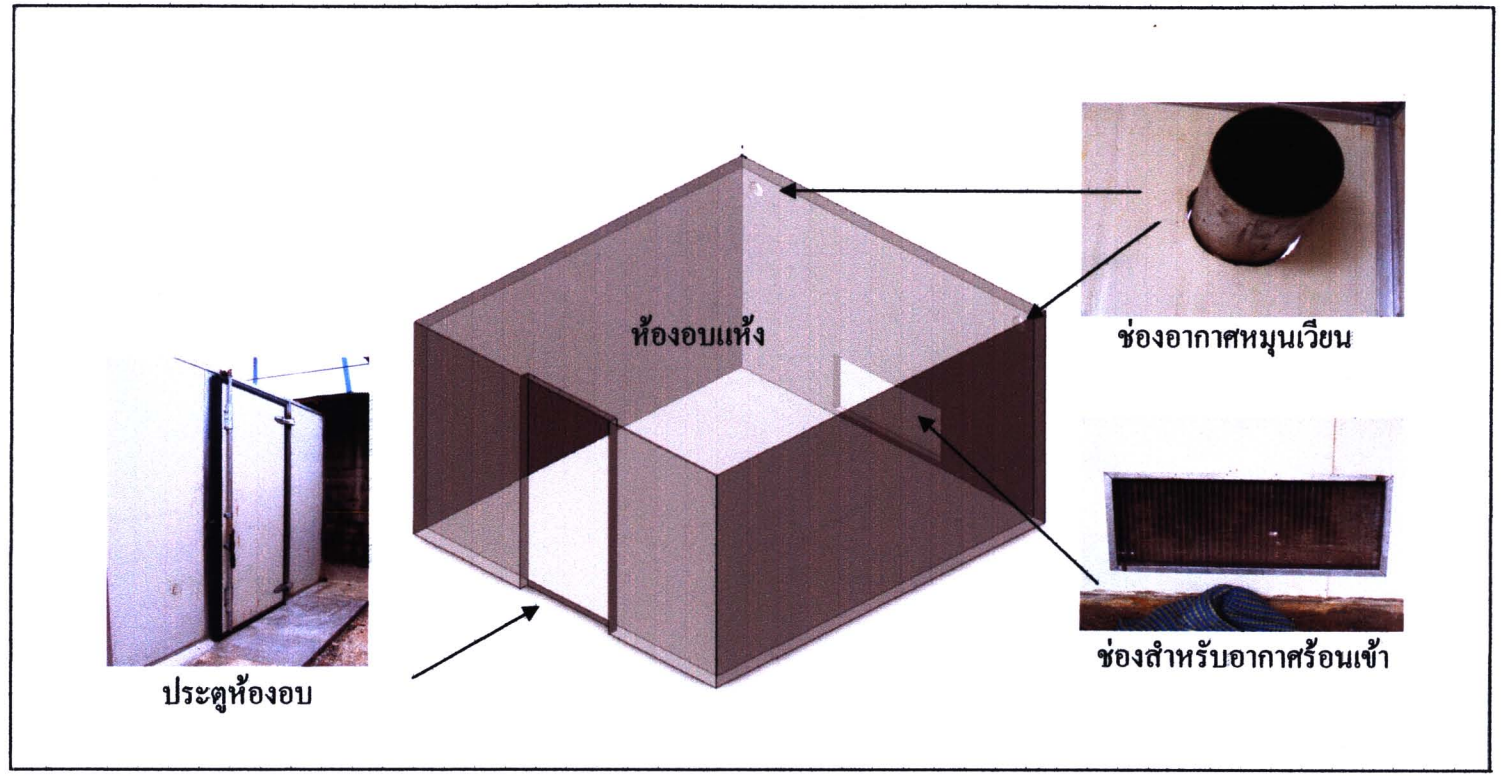
รูปที่ จ.17 เครื่องดักฝุ่น



รูปที่ จ.18 เครื่องดักฝุ่น (ด้านหน้า ด้านหลังและด้านบน)

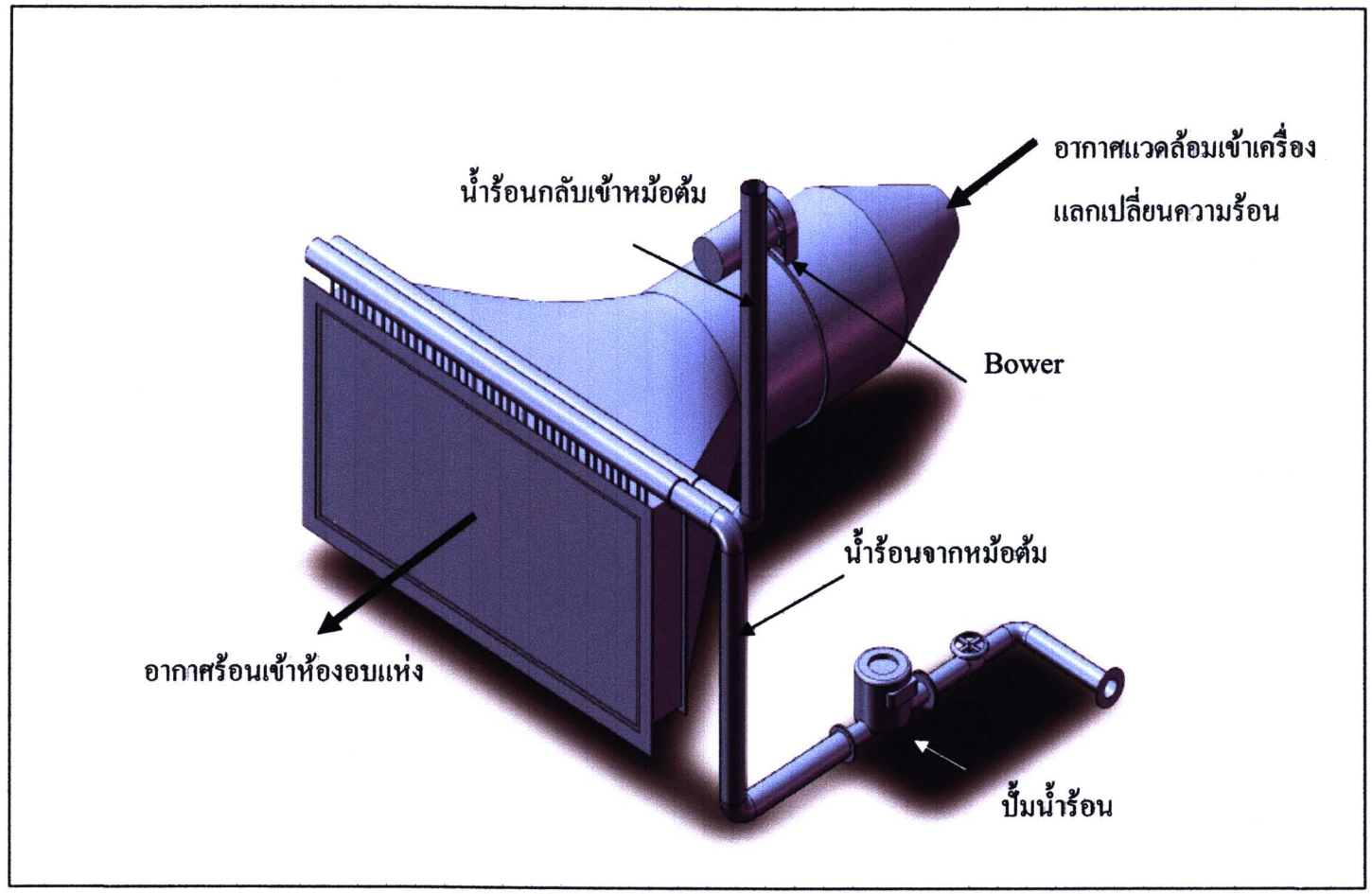


รูปที่ จ.19 เครื่องดักฝุ่น (ด้านซ้ายและด้านขวา)

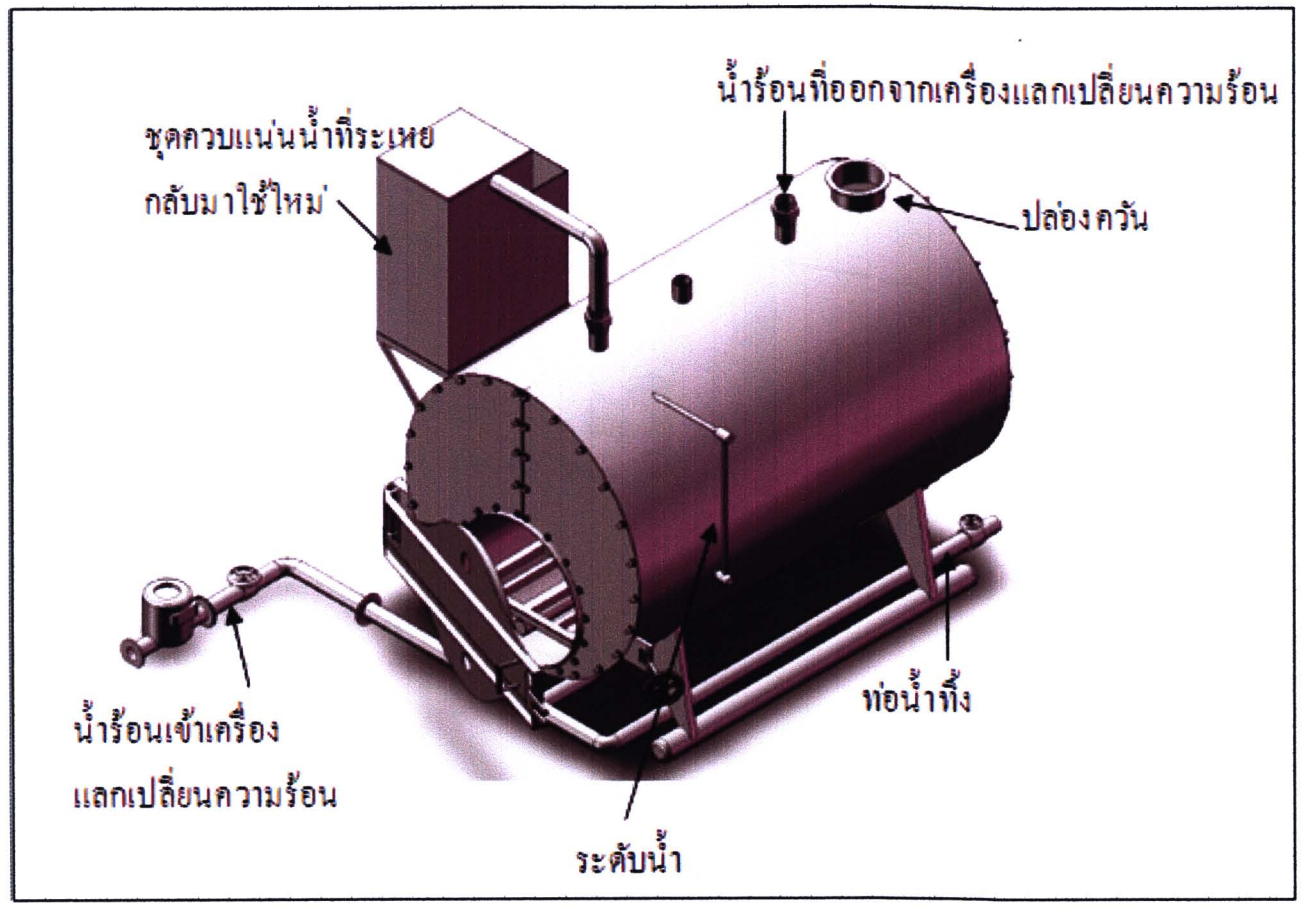


รูปที่ จ.20 แสดงรายละเอียดของห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

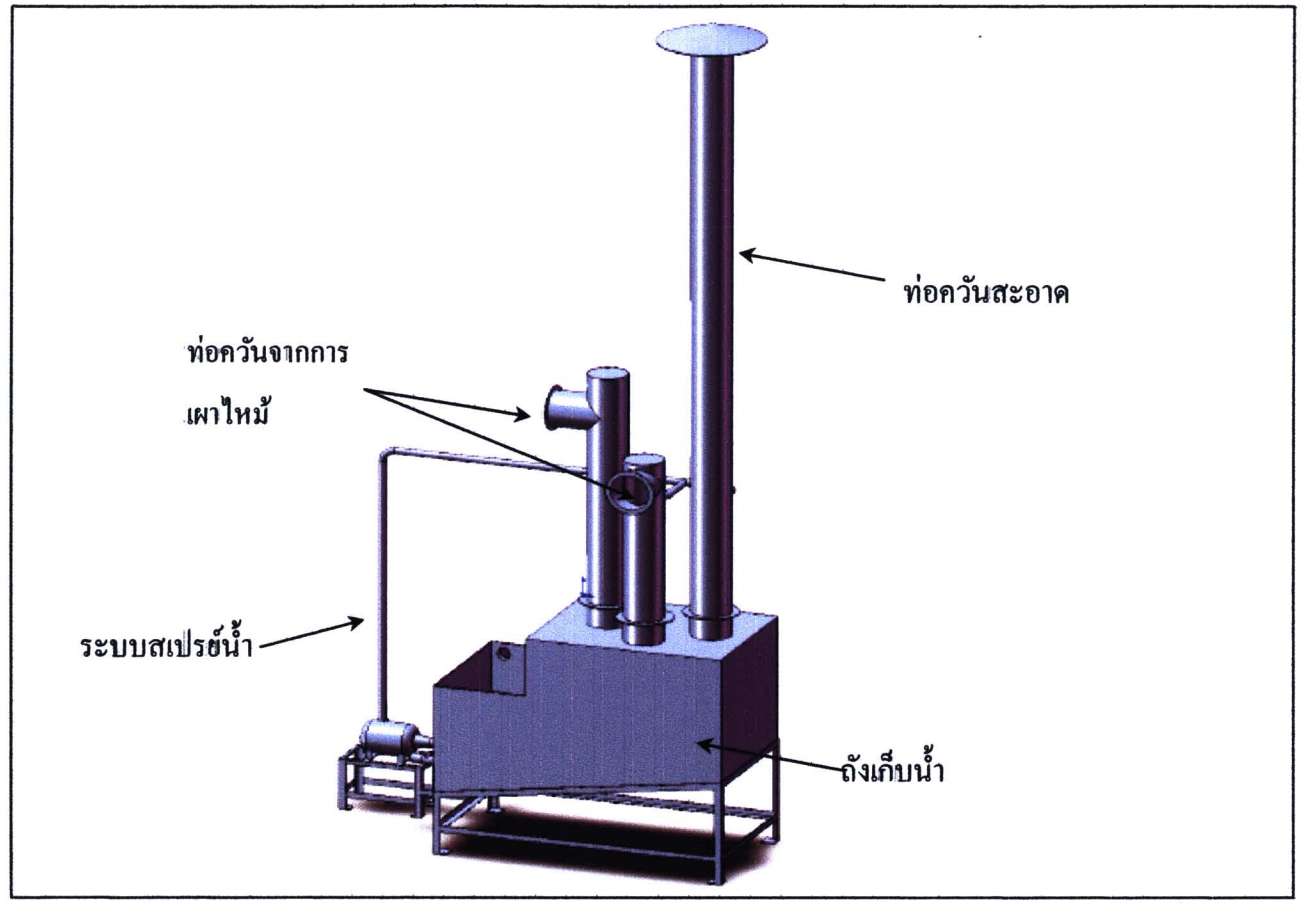
(กว้าง 3.4 เมตร ยาว 3.6 เมตร และสูง 3.3 เมตร)



รูปที่ จ.21 แสดงรายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ จ.22 แสดงรายละเอียดของหม้อต้มน้ำ แบบใช้เชื้อเพลิงชีวมวล



รูปที่ จ.23 แสดงรายละเอียดของเครื่องดักฝุ่น

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ฉ.1 การคำนวณค่าความร้อนจากขี้เลื่อยของไม้มะม่วง

การคำนวณหาค่าความร้อนจากขี้เลื่อยของไม้มะม่วงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้น หาได้โดยการนำปริมาณ ขี้เลื่อยของไม้มะม่วงทั้งหมดที่ทำการเผาไหม้มาคูณกับค่าความร้อนต่ำของขี้เลื่อยของไม้มะม่วง ดังนี้

$$Q_{\text{ขี้เลื่อย}} = m \times LHV$$

$$= 601.75 \text{ kg} \times 15{,}620 \text{ kJ/kg}$$

$$= 9{,}399{,}335 \text{ kJ}$$

ฉ.2 ความร้อนสูญเสียจากผนังทั้ง 4 ด้าน

การคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียจากผนัง หาได้จากการนำค่าต่างๆ แทนในสมการและคำนวณโดยโปรแกรมExcelโดยใช้สูตรดังนี้

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(39.5+273.15)+(35.8+273.15)]}{2}$$

$$= 310.80\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\upsilon^2}$$

เมื่อ Gr = คือค่ากราสฮอฟนัมเบอร์เป็นค่าไม่มีหน่วย

g = คือความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

β = คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวของของไหล มีหน่วยเป็น 1 / k

ΔT = คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น K

L = คือมิติเชิงเส้น (Length) มีหน่วยเป็น m

υ = คือค่าความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

ซึ่งเมื่อแทนค่าจะได้ว่า $Gr_L = 2.037 \times 10^7$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 1.413 \times 10^7$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387Ra_L{}^{1/6}}{\left[1+(0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right]^2$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าจะได้ว่า $Nu_m = 34.341$

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 2.053 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{\text{conv}} = \text{A}h_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ A = 9.00 m^2

จะได้ $Q_{conv} = 68.361$ W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

$$(68.361\text{W} \times 15\text{min} \times 60\text{s}) / 1000 = 61.525 \text{ kJ}$$

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 1 คือ 50,258.717 kJ

คำนวณโดยวิธีเช่นเดียวกัน จะได้

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 2 คือ 43,999.097 kJ

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 3 คือ 63,710.554 kJ

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 4 คือ 71,074.375 kJ

รวมพลังงานความร้อนสูญเสียจากผนังทั้ง 4 ด้าน คือ 229,042.743 kJ

ฉ.3 พลังงานความร้อนสูญเสียจากผนังด้านหลังคา

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากผนังด้านหลังคา สามารถใช้โปรแกรม Excel คำนวณ ซึ่งจะได้ค่าดังนี้

ผนังด้านหลังคา อุณหภูมิผนังด้านหลังคา 49.8 °C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 35.8 °C

$$T_f = \frac{T_w+T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(49.8+273.15)+(35.8+273.15)]}{2}$$

$$= 315.95\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w-T_\infty)L^3}{v^2}$$

$$= 7.360 \times 10^7$$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 5.105 \times 10^7$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L{}^{1/6}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right]^2$$

$$= 49.879$$

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 3.002\ W/m^2.K$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{convection} = Ah_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ $A = 9.0\ m^2$

จะได้ $Q_{convection}$ =378.311 W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

(378.311 W × 15min × 60s) / 1000 = 340.480 kJ

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียของหลังคา คือ 61,430.966 kJ

ฉ.4 พลังงานความร้อนสูญเสียจากด้านพื้นดิน

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากด้านพื้นดิน สามารถใช้โปรแกรม Excel คำนวณ ซึ่งจะได้ค่าดังนี้

ผนังด้านหลังคา อุณหภูมิทางด้านพื้นดิน 36.7 °C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 35.8 °C

$$T_f = \frac{T_w+T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(36.7+273.15)+(35.8+273.15)]}{2}$$

$$= 309.40\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w-T_\infty)L^3}{v^2}$$

$$= 5.017 \times 10^7$$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 3.480 \times 10^7$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L{}^{1/6}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right]^2$$

$$= 23.151$$

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 1.381 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{\text{convection}} = Ah_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ A = 9.0 m^2

จะได้ $Q_{convection}$ =11.189 W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

(11.189 W × 15min × 60s) / 1000 = 10.070 kJ

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียของพื้นดิน คือ 2,645.882 kJ

ฉ.5 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง หาได้จากสมการ

$$Q = m_w \times L_w$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณของน้ำที่ระเหย

L_w คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (2,256 kJ/kg)

จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม ตลอดทั้ง 4 วันคือได้เท่ากับ 304,717.92 kJ

ฉ.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จากสมการ

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{wall loss}} + Q_{\text{roof}} + Q_{\text{Ground}} + Q_{\text{drying}}}{Q_{fuel}} \times 100$$

$$= \frac{(229{,}042.743\ \text{kJ} + 61{,}430.966\ \text{kJ} + 2{,}645.882\ \text{kJ} + 304{,}717.92\ \text{kJ})}{9{,}399{,}335\ \text{kJ}} \times 100$$

$$= \frac{598{,}197.511\ \text{kJ}}{9{,}399{,}335\ \text{kJ}} \times 100$$

$$= 6.36\%$$

รายละเอียดดังแสดงในตารางการคำนวณ ฉ.1

ตาราง ฉ.1 แสดงรายละเอียดการคำนวณ

Temperature 03/04/52

Time	Tamb	Tw1	Tw2	Tw3	Tw4	Troof	Tground
15:15:00	35.8	39.5	38.9	41.6	42.5	49.8	36.7
15:30:00	35.6	39.5	37.8	40.5	41.4	48.9	36.5
15:45:00	35.2	39.4	37.7	40.4	41.3	48.1	36.1
16:00:00	35.2	39.2	37.2	39.9	40.8	45.1	36.1
16:15:00	35.0	39.3	37.1	39.8	40.7	44.8	35.9
16:30:00	34.6	39.2	36.7	39.4	40.3	43.7	35.5
16:45:00	34.9	39.2	36.8	39.5	40.4	42.8	35.8
17:00:00	34.6	39.2	35.9	38.6	39.5	41.1	35.5
17:15:00	34.4	38.9	35.9	38.6	39.5	40.1	35.3
17:30:00	32.7	38.9	35.8	38.5	39.4	39.1	33.6
17:45:00	32.0	37.4	34.8	37.5	38.4	37.4	32.9
18:00:00	31.6	36.8	34.6	37.3	38.2	37.1	32.5
18:15:00	31.2	35.6	34.5	37.2	38.1	36.8	32.1
18:30:00	30.7	35.4	34.5	37.2	38.1	36.8	31.6
18:45:00	30.4	34.9	34.2	36.9	37.8	35.2	31.3
19:00:00	30.2	34.6	34.0	36.7	37.6	34.5	31.1
19:15:00	30.1	34.3	33.9	36.6	37.5	34.6	31.0
19:30:00	29.9	34.0	33.5	36.2	37.1	33.7	30.8
19:45:00	29.8	34.2	33.4	36.1	37.0	33.6	30.7
20:00:00	30.0	34.2	33.2	35.9	36.8	33.3	30.9
20:15:00	29.8	34.2	33.2	35.9	36.8	32.9	30.7
20:30:00	29.3	34.2	32.8	35.5	36.4	31.8	30.2
20:45:00	29.2	33.6	32.5	35.2	36.1	31.7	30.1
21:00:00	29.7	33.8	32.7	35.4	36.3	32.0	30.6
21:15:00	28.7	34.1	31.8	34.5	35.4	31.0	29.6
21:30:00	28.7	33.6	33.0	35.7	36.6	32.1	29.6
21:45:00	28.1	33.9	32.8	35.5	36.4	32.1	29.0
22:00:00	27.8	34.2	32.8	35.5	36.4	31.9	28.7
22:15:00	27.1	33.9	32.7	35.4	36.3	31.5	28.0
22:30:00	26.7	34.3	32.6	35.3	36.2	31.3	27.6
22:45:00	26.3	34.5	32.7	35.4	36.3	31.3	27.2
23:00:00	26.6	34.5	32.7	35.4	36.3	32.0	27.5
23:15:00	27.1	34.5	32.6	35.3	36.2	31.6	28.0
23:30:00	26.2	34.7	32.5	35.2	36.1	31.4	27.1
23:45:00	25.5	34.4	32.6	35.3	36.2	31.4	26.4

Convection loss at wall1 (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
310.80	2.037E+07	1.413E+07	34.341	2.053	68.361	61.525
310.70	2.149E+07	1.490E+07	34.872	2.084	73.161	65.845
310.45	2.319E+07	1.608E+07	35.645	2.130	80.507	72.456
310.35	2.211E+07	1.533E+07	35.158	2.100	75.616	68.055
310.30	2.378E+07	1.649E+07	35.901	2.145	82.999	74.699
310.05	2.549E+07	1.768E+07	36.628	2.187	90.557	81.501
310.20	2.380E+07	1.651E+07	35.910	2.145	83.009	74.708
310.05	2.549E+07	1.768E+07	36.628	2.187	90.557	81.501
309.80	2.500E+07	1.734E+07	36.420	2.174	88.057	79.251
308.95	3.470E+07	2.407E+07	40.041	2.388	133.230	119.907
307.85	3.053E+07	2.117E+07	38.582	2.297	111.645	100.481
307.35	2.953E+07	2.048E+07	38.214	2.274	106.411	95.770
306.55	2.517E+07	1.746E+07	36.493	2.169	85.893	77.303
306.20	2.697E+07	1.871E+07	37.227	2.212	93.550	84.195
305.80	2.592E+07	1.798E+07	36.802	2.185	88.499	79.649
305.55	2.540E+07	1.762E+07	36.589	2.172	86.001	77.401
305.35	2.429E+07	1.685E+07	36.122	2.143	81.021	72.919
305.10	2.377E+07	1.648E+07	35.896	2.129	78.571	70.714
305.15	2.549E+07	1.768E+07	36.628	2.173	86.045	77.440
305.25	2.431E+07	1.686E+07	36.131	2.144	81.031	72.928
305.15	2.549E+07	1.768E+07	36.628	2.173	86.045	77.440
304.90	2.846E+07	1.973E+07	37.807	2.242	98.874	88.986
304.55	2.563E+07	1.778E+07	36.686	2.175	86.111	77.499
304.90	2.381E+07	1.651E+07	35.915	2.130	78.591	70.732
304.55	3.146E+07	2.182E+07	38.919	2.307	112.115	100.904
304.30	2.861E+07	1.984E+07	37.867	2.244	98.950	89.055
304.15	3.391E+07	2.352E+07	39.775	2.356	123.001	110.701
304.15	3.742E+07	2.595E+07	40.927	2.425	139.656	125.690
303.65	3.995E+07	2.770E+07	41.710	2.469	151.119	136.008
303.65	4.464E+07	3.096E+07	43.082	2.551	174.456	157.011
303.55	4.821E+07	3.344E+07	44.059	2.608	192.473	173.225
303.70	4.639E+07	3.217E+07	43.565	2.579	183.389	165.050
303.95	4.335E+07	3.006E+07	42.714	2.530	168.484	151.636
303.60	4.995E+07	3.464E+07	44.518	2.635	201.605	181.445
303.10	5.255E+07	3.644E+07	45.181	2.673	214.090	192.681
					Total Wall1	**3,486.311**

Convection loss at wall2 (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
310.50	1.711E+07	1.187E+07	32.673	1.952	54.471	49.024
309.85	1.221E+07	8.471E+06	29.690	1.773	35.096	31.587
309.60	1.391E+07	9.648E+06	30.804	1.838	41.366	37.229
309.35	1.115E+07	7.736E+06	28.938	1.726	31.077	27.969
309.20	1.173E+07	8.134E+06	29.350	1.751	33.089	29.780
308.80	1.177E+07	8.163E+06	29.380	1.752	33.105	29.794
309.00	1.063E+07	7.372E+06	28.547	1.702	29.111	26.200
308.40	7.313E+06	5.072E+06	25.704	1.532	17.919	16.128
308.30	8.445E+06	5.857E+06	26.760	1.594	21.523	19.371
307.40	1.760E+07	1.220E+07	32.935	1.960	54.678	49.210
306.55	1.602E+07	1.111E+07	32.064	1.906	48.024	43.222
306.25	1.721E+07	1.193E+07	32.726	1.944	52.496	47.246
306.00	1.897E+07	1.316E+07	33.651	1.999	59.357	53.422
305.75	2.190E+07	1.519E+07	35.061	2.082	71.192	64.072
305.45	2.196E+07	1.523E+07	35.089	2.082	71.218	64.097
305.25	2.200E+07	1.526E+07	35.107	2.083	71.236	64.113
305.15	2.202E+07	1.527E+07	35.116	2.083	71.245	64.121
304.85	2.092E+07	1.451E+07	34.603	2.052	66.482	59.834
304.75	2.094E+07	1.452E+07	34.612	2.052	66.491	59.842
304.75	1.861E+07	1.291E+07	33.465	1.984	57.144	51.429
304.65	1.979E+07	1.372E+07	34.059	2.019	61.785	55.606
304.20	2.046E+07	1.419E+07	34.384	2.037	64.169	57.752
304.00	1.932E+07	1.340E+07	33.827	2.004	59.506	53.556
304.35	1.751E+07	1.214E+07	32.888	1.949	52.620	47.358
303.40	1.825E+07	1.266E+07	33.280	1.970	54.951	49.456
304.00	2.518E+07	1.746E+07	36.496	2.162	83.657	75.291
303.60	2.762E+07	1.916E+07	37.483	2.219	93.861	84.475
303.45	2.943E+07	2.041E+07	38.174	2.259	101.671	91.504
303.05	3.308E+07	2.294E+07	39.488	2.336	117.726	105.953
302.80	3.493E+07	2.422E+07	40.116	2.372	125.963	113.367
302.65	3.794E+07	2.631E+07	41.091	2.429	139.929	125.936
302.80	3.611E+07	2.505E+07	40.506	2.395	131.498	118.349
303.00	3.250E+07	2.254E+07	39.288	2.324	115.029	103.526
302.50	3.740E+07	2.594E+07	40.920	2.419	137.141	123.427
302.20	4.227E+07	2.931E+07	42.401	2.505	160.085	144.076
					Total Wall2	**2,237.321**

Convection loss at wall3 (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
311.85	3.163E+07	2.194E+07	38.979	2.333	121.807	109.627
311.20	2.688E+07	1.864E+07	37.189	2.224	98.094	88.285
310.95	2.859E+07	1.983E+07	37.857	2.264	105.933	95.339
310.70	2.590E+07	1.796E+07	36.793	2.199	93.025	83.723
310.55	2.648E+07	1.837E+07	37.031	2.213	95.600	86.040
310.15	2.658E+07	1.843E+07	37.070	2.214	95.647	86.083
310.35	2.542E+07	1.763E+07	36.599	2.187	90.523	81.471
309.75	2.223E+07	1.542E+07	35.213	2.102	75.672	68.105
309.65	2.336E+07	1.620E+07	35.719	2.132	80.587	72.528
308.75	3.252E+07	2.256E+07	39.295	2.343	122.281	110.052
307.90	3.108E+07	2.155E+07	38.782	2.309	114.310	102.879
307.60	3.230E+07	2.240E+07	39.216	2.334	119.743	107.769
307.35	3.407E+07	2.363E+07	39.829	2.370	127.972	115.175
307.10	3.700E+07	2.566E+07	40.791	2.426	141.937	127.744
306.80	3.710E+07	2.573E+07	40.824	2.427	141.992	127.793
306.60	3.717E+07	2.578E+07	40.845	2.428	142.028	127.826
306.50	3.720E+07	2.580E+07	40.856	2.428	142.047	127.842
306.20	3.615E+07	2.507E+07	40.519	2.407	136.485	122.837
306.10	3.619E+07	2.510E+07	40.530	2.407	136.503	122.853
306.10	3.389E+07	2.350E+07	39.766	2.362	125.428	112.885
306.00	3.507E+07	2.432E+07	40.163	2.385	130.955	117.860
305.55	3.579E+07	2.482E+07	40.401	2.398	133.809	120.428
305.35	3.470E+07	2.407E+07	40.040	2.376	128.300	115.470
305.70	3.286E+07	2.279E+07	39.413	2.340	120.033	108.030
304.75	3.373E+07	2.339E+07	39.711	2.355	122.905	110.615
305.35	4.048E+07	2.808E+07	41.873	2.485	156.535	140.881
304.95	4.295E+07	2.979E+07	42.601	2.526	168.265	151.438
304.80	4.476E+07	3.104E+07	43.114	2.556	177.160	159.444
304.40	4.842E+07	3.358E+07	44.115	2.614	195.292	175.763
304.15	5.029E+07	3.488E+07	44.605	2.642	204.527	184.075
304.00	5.328E+07	3.695E+07	45.366	2.687	220.067	198.060
304.15	5.146E+07	3.569E+07	44.905	2.660	210.695	189.625
304.35	4.786E+07	3.319E+07	43.965	2.605	192.271	173.043
303.85	5.277E+07	3.660E+07	45.238	2.679	216.989	195.290
303.55	5.762E+07	3.996E+07	46.417	2.748	242.337	218.103
					Total Wall3	**4,434.978**

Convection loss at wall4 (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
312.30	3.639E+07	2.524E+07	40.596	2.432	146.632	131.968
311.65	3.168E+07	2.197E+07	39.000	2.334	121.838	109.654
311.40	3.340E+07	2.316E+07	39.599	2.369	130.064	117.058
311.15	3.073E+07	2.131E+07	38.656	2.312	116.521	104.869
311.00	3.132E+07	2.172E+07	38.869	2.324	119.232	107.309
310.60	3.143E+07	2.180E+07	38.910	2.325	119.292	107.363
310.80	3.028E+07	2.100E+07	38.490	2.301	113.895	102.506
310.20	2.712E+07	1.881E+07	37.286	2.227	98.216	88.394
310.10	2.825E+07	1.959E+07	37.728	2.253	103.424	93.082
309.20	3.742E+07	2.595E+07	40.925	2.441	147.204	132.483
308.35	3.602E+07	2.498E+07	40.475	2.412	138.905	125.015
308.05	3.724E+07	2.583E+07	40.870	2.434	144.586	130.127
307.80	3.903E+07	2.707E+07	41.429	2.467	153.171	137.854
307.55	4.195E+07	2.909E+07	42.308	2.518	167.701	150.931
307.25	4.206E+07	2.917E+07	42.341	2.519	167.765	150.989
307.05	4.214E+07	2.922E+07	42.364	2.520	167.808	151.028
306.95	4.218E+07	2.925E+07	42.375	2.520	167.830	151.047
306.65	4.115E+07	2.854E+07	42.072	2.501	162.060	145.854
306.55	4.119E+07	2.856E+07	42.083	2.501	162.081	145.873
306.55	3.890E+07	2.698E+07	41.389	2.460	150.553	135.498
306.45	4.008E+07	2.780E+07	41.751	2.481	156.313	140.681
306.00	4.082E+07	2.831E+07	41.973	2.493	159.294	143.364
305.80	3.974E+07	2.756E+07	41.648	2.473	153.565	138.209
306.15	3.789E+07	2.628E+07	41.075	2.440	144.938	130.444
305.20	3.880E+07	2.691E+07	41.359	2.454	147.959	133.163
305.80	4.550E+07	3.156E+07	43.322	2.572	182.887	164.598
305.40	4.798E+07	3.328E+07	43.997	2.611	195.037	175.533
305.25	4.978E+07	3.453E+07	44.474	2.639	204.233	183.809
304.85	5.345E+07	3.707E+07	45.408	2.693	222.948	200.653
304.60	5.532E+07	3.837E+07	45.867	2.719	232.466	209.220
304.45	5.831E+07	4.044E+07	46.580	2.761	248.455	223.609
304.60	5.649E+07	3.917E+07	46.147	2.736	238.813	214.932
304.80	5.290E+07	3.668E+07	45.269	2.684	219.835	197.852
304.30	5.781E+07	4.009E+07	46.461	2.753	245.295	220.766
304.00	6.265E+07	4.345E+07	47.571	2.818	271.335	244.202
					Total Wall4	**5,239.936**

Convection loss at roof (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
315.95	7.360E+07	5.105E+07	49.879	3.002	378.311	340.480
315.40	7.027E+07	4.873E+07	49.202	2.960	354.257	318.832
314.80	6.852E+07	4.752E+07	48.838	2.935	340.790	306.711
313.30	5.329E+07	3.696E+07	45.368	2.721	242.463	218.216
313.05	5.287E+07	3.667E+07	45.263	2.714	239.377	215.440
312.30	4.942E+07	3.428E+07	44.380	2.658	217.723	195.950
312.00	4.302E+07	2.984E+07	42.620	2.552	181.444	163.300
311.00	3.572E+07	2.477E+07	40.377	2.414	141.239	127.115
310.40	3.149E+07	2.184E+07	38.930	2.326	119.322	107.389
309.05	3.579E+07	2.482E+07	40.401	2.409	138.782	124.904
307.85	3.053E+07	2.117E+07	38.582	2.297	111.645	100.481
307.50	3.119E+07	2.163E+07	38.823	2.310	114.368	102.931
307.15	3.186E+07	2.210E+07	39.062	2.324	117.108	105.397
306.90	3.478E+07	2.412E+07	40.068	2.383	130.805	117.724
305.95	2.761E+07	1.915E+07	37.479	2.226	96.153	86.537
305.50	2.483E+07	1.722E+07	36.353	2.158	83.498	75.148
305.50	2.599E+07	1.802E+07	36.831	2.186	88.532	79.679
304.95	2.206E+07	1.530E+07	35.135	2.084	71.263	64.137
304.85	2.208E+07	1.531E+07	35.144	2.084	71.272	64.145
304.80	1.918E+07	1.330E+07	33.756	2.002	59.447	53.502
304.50	1.807E+07	1.253E+07	33.185	1.967	54.875	49.388
303.70	1.468E+07	1.018E+07	31.277	1.852	41.665	37.499
303.60	1.469E+07	1.019E+07	31.285	1.852	41.671	37.503
304.00	1.347E+07	9.340E+06	30.522	1.808	37.422	33.679
303.00	1.359E+07	9.426E+06	30.601	1.810	37.468	33.721
303.55	1.999E+07	1.386E+07	34.158	2.022	61.871	55.684
303.25	2.358E+07	1.636E+07	35.816	2.119	76.292	68.662
303.00	2.423E+07	1.680E+07	36.095	2.135	78.781	70.903
302.45	2.613E+07	1.812E+07	36.890	2.180	86.342	77.708
302.15	2.740E+07	1.900E+07	37.395	2.209	91.466	82.320
301.95	2.984E+07	2.069E+07	38.327	2.264	101.868	91.681
302.45	3.207E+07	2.224E+07	39.137	2.313	112.420	101.178
302.50	2.672E+07	1.853E+07	37.125	2.194	88.873	79.985
301.95	3.103E+07	2.152E+07	38.764	2.290	107.151	96.436
301.60	3.532E+07	2.449E+07	40.245	2.376	126.161	113.545
					Total Roof	**3,997.910**

Convection loss at ground (03/04/52)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
309.40	5.017E+06	3.480E+06	23.151	1.381	11.189	10.070
309.20	5.026E+06	3.486E+06	23.163	1.382	11.191	10.072
308.80	5.044E+06	3.498E+06	23.186	1.382	11.196	10.077
308.80	5.044E+06	3.498E+06	23.186	1.382	11.196	10.077
308.60	5.054E+06	3.505E+06	23.197	1.383	11.199	10.079
308.20	5.072E+06	3.517E+06	23.220	1.383	11.204	10.084
308.50	5.058E+06	3.508E+06	23.203	1.383	11.200	10.080
308.20	5.072E+06	3.517E+06	23.220	1.383	11.204	10.084
308.00	5.081E+06	3.524E+06	23.232	1.384	11.207	10.086
306.30	5.160E+06	3.579E+06	23.331	1.386	11.229	10.106
305.60	5.193E+06	3.602E+06	23.373	1.387	11.238	10.114
305.20	5.212E+06	3.615E+06	23.396	1.388	11.243	10.119
304.80	5.231E+06	3.628E+06	23.420	1.389	11.248	10.123
304.30	5.255E+06	3.645E+06	23.450	1.389	11.255	10.129
304.00	5.270E+06	3.655E+06	23.467	1.390	11.259	10.133
303.80	5.280E+06	3.661E+06	23.479	1.390	11.261	10.135
303.70	5.284E+06	3.665E+06	23.485	1.390	11.263	10.136
303.50	5.294E+06	3.672E+06	23.497	1.391	11.265	10.139
303.40	5.299E+06	3.675E+06	23.503	1.391	11.267	10.140
303.60	5.289E+06	3.668E+06	23.491	1.391	11.264	10.138
303.40	5.299E+06	3.675E+06	23.503	1.391	11.267	10.140
302.90	5.323E+06	3.692E+06	23.533	1.392	11.273	10.146
302.80	5.328E+06	3.695E+06	23.539	1.392	11.275	10.147
303.30	5.304E+06	3.678E+06	23.509	1.391	11.268	10.141
302.30	5.353E+06	3.712E+06	23.569	1.393	11.281	10.153
302.30	5.353E+06	3.712E+06	23.569	1.393	11.281	10.153
301.70	5.383E+06	3.733E+06	23.605	1.394	11.289	10.160
301.40	5.398E+06	3.743E+06	23.623	1.394	11.293	10.164
300.70	5.433E+06	3.768E+06	23.666	1.395	11.303	10.173
300.30	5.453E+06	3.782E+06	23.690	1.396	11.308	10.177
299.90	5.473E+06	3.796E+06	23.714	1.397	11.314	10.182
300.20	5.458E+06	3.785E+06	23.696	1.396	11.310	10.179
300.70	5.433E+06	3.768E+06	23.666	1.395	11.303	10.173
299.80	5.478E+06	3.799E+06	23.721	1.397	11.315	10.184
299.10	5.514E+06	3.824E+06	23.763	1.398	11.325	10.192
					Total Ground	**354.585**

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ช.1 การคำนวณค่าความร้อนจากฟืน

การคำนวณหาค่าความร้อนจากหัวไม้มะม่วงที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้น หาได้โดยการนำปริมาณหัวไม้มะม่วงทั้งหมดที่ทำการเผาไหม้มาคูณกับค่าความร้อนต่ำของฟืน ดังนี้

$$Q_{ฟืน} = m \times LHV$$

$$= 449.65 \text{ kg} \times 18{,}960 \text{ kJ/kg}$$

$$= 8{,}525{,}364 \text{ kJ}$$

ช.2 ความร้อนสูญเสียจากผนังทั้ง 4 ด้าน

การคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียจากผนัง หาได้จากการนำค่าต่างๆ แทนในสมการและคำนวณโดยโปรแกรมExcelโดยใช้สูตรดังนี้

$$T_f = \frac{T_w + T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(34.0+273.15)+(32.6+273.15)]}{2}$$

$$= 306.45\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)L^3}{\upsilon^2}$$

เมื่อ Gr = คือค่ากราสฮอฟนัมเบอร์เป็นค่าไม่มีหน่วย

g = คือความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

β = คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวของของไหล มีหน่วยเป็น 1 / k

ΔT = คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น K

L = คือมิติเชิงเส้น (Length) มีหน่วยเป็น m

υ = คือค่าความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity)

ซึ่งเมื่อแทนค่าจะได้ว่า $Gr_L = 1.114 \times 10^7$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 7.727 \times 10^7$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left[1+(0.492/Pr)^{9/16}\right]^{8/27}}\right]^2$$

ซึ่งเมื่อแทนค่าจะได้ว่า Nu_m = 28..928

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 1.540 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{\text{conv}} = \text{A}h_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ A = 11.22 m^2

จะได้ Q_{conv} =24.197 W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

$$(24.197\text{W} \times 15\text{min} \times 60\text{s}) / 1000 = 21.778 \text{ kJ}$$

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 1 คือ 21,991.839 kJ

คำนวณโดยวิธีเช่นเดียวกัน จะได้

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 2 คือ 26,029.535 kJ

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 3 คือ 23,602.577 kJ

พลังงานความร้อนสูญเสียผนังด้านที่ 4 คือ 21,994.703 kJ

รวมพลังงานความร้อนสูญเสียจากผนังทั้ง 4 ด้าน คือ 93,618.654 kJ

ช.3 พลังงานความร้อนสูญเสียจากผนังด้านหลังคา

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากผนังด้านหลังคา สามารถใช้โปรแกรม Excel คำนวณ ซึ่งจะได้ค่าดังนี้

ผนังด้านหลังคา อุณหภูมิผนังด้านหลังคา 33.9 °C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 32.6 °C

$$T_f = \frac{T_w+T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(33.9+273.15)+(32.6+273.15)]}{2}$$

$$= 306.40\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_w-T_\infty)L^3}{v^2}$$

$$= 1.178 \times 10^7$$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 8.173 \times 10^6$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L{}^{1/6}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right]^2$$

$$= 29.390$$

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 1.499\ W/m^2.K$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{convection} = Ah_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ A = 12.24 m^2

จะได้ $Q_{convection} = 23.847$ W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

$$(23.847\ W \times 15min \times 60s) / 1000 = 21.463\ kJ$$

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียของหลังคา คือ 19,079.600 kJ

ช.4 พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากพื้นห้องอบแห้ง

พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากพื้นห้องอบแห้ง สามารถใช้โปรแกรม Excel คำนวณ ซึ่งจะได้ค่าดังนี้

ผนังด้านหลังคา อุณหภูมิผนังด้านหลังคา 35.6 °C และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 32.6 °C

$$T_f = \frac{T_W + T_\infty}{2}$$

$$= \frac{[(35.6+273.15)+(32.6+273.15)]}{2}$$

$$= 307.25\ K$$

จากนั้นหาค่า *Grashof Number* จาก

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_W - T_\infty)L^3}{v^2}$$

$$= 2.699 \times 10^7$$

หาค่า *Rayleigh Number* จาก

$$Ra_L = Gr_L P_r$$

$$= 1.872 \times 10^7$$

หาค่า *Nusselt Number* จาก

$$Nu_m = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L{}^{1/6}}{[1+(0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\right]^2$$

$$= 37.233$$

แล้วหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$h_m = \frac{kNu_m}{L}$$

$$= 1.901 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนได้จาก

$$Q_{\text{convection}} = Ah_m(T_s - T_\infty)$$

เมื่อ A = 12.24 m^2

จะได้ $Q_{convection} = 69.798$ W

พลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยคำนวณทุก ๆ 15 นาที จะได้

$$(69.798 \text{ W} \times 15\text{min} \times 60\text{s}) / 1000 = 62.818 \text{ kJ}$$

พลังงานความร้อนที่สูญเสียตลอดการอบแห้งทั้งหมด หาได้จากการคำนวณแต่ละช่วงเวลา แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละค่ามารวมกัน จะได้พลังงานความร้อนสูญเสียจากพื้นห้องอบแห้ง คือ 8,833.546 kJ

ช.5 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง หาได้จากสมการ

$$Q = m_w \times L_w$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณของน้ำที่ระเหย และปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการอบแห้ง

L_w คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (2,256 kJ/kg)

จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักในโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม ตลอดทั้ง 3 วันคือได้เท่ากับ 743,627.232 kJ

ช.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จากสมการ

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{wall loss}}+Q_{\text{roof}}+Q_{\text{Ground}}+\text{Qdrying}}{Q_{fuel}} \times 100$$

$$= \frac{(93{,}618.654\ \text{kJ} + 19{,}079.600\ \text{kJ} + 8{,}833.546\ \text{kJ} + 743{,}627.232\ \text{kJ})}{8{,}525{,}364\ \text{kJ}} \times 100$$

$$= \frac{865{,}131.800\ \text{kJ}}{8{,}525{,}364\ \text{kJ}} \times 100$$

$$= 10.15\%$$

รายละเอียดดังแสดงในตารางการคำนวณ ช.1

ตาราง ฉ.1 แสดงรายละเอียดการคำนวณ

Temperature 27/03/53

Time	Tamb	Tw1	Tw2	Tw3	Tw4	Troof	Tground
14:00:00	32.6	34.0	34.3	34.5	34.2	33.9	35.6
14:15:00	32.5	33.9	34.2	34.4	34.1	33.8	35.0
14:30:00	33.3	34.7	35.0	35.2	34.9	34.6	34.9
14:45:00	34.4	36.4	36.7	36.9	36.6	36.2	34.7
15:00:00	33.5	35.3	35.6	35.8	35.5	35.2	34.7
15:15:00	34.1	35.9	36.2	36.4	36.1	35.8	34.7
15:30:00	33.7	37.0	37.3	37.4	37.1	36.9	34.7
15:45:00	34.0	35.6	35.9	36.0	35.7	35.5	35.0
16:00:00	33.6	35.8	36.1	36.2	35.9	35.6	35.0
16:15:00	33.7	37.0	37.3	37.4	37.1	36.8	33.8
16:30:00	33.6	36.8	37.1	37.2	36.9	36.6	33.8
16:45:00	33.4	36.1	36.4	36.5	36.4	35.9	33.7
17:00:00	33.6	34.9	35.3	35.3	35.2	34.9	33.7
17:15:00	32.5	34.1	34.5	34.5	34.4	34.0	33.7
17:30:00	32.2	33.8	34.2	34.2	34.1	33.7	33.7
17:45:00	32.3	34.2	34.6	34.6	34.5	34.1	33.6
18:00:00	32.0	33.9	34.3	34.3	34.2	33.8	33.7
18:15:00	31.1	33.0	33.4	33.4	33.3	32.9	33.8
18:30:00	31.3	32.8	33.2	33.2	33.1	32.8	33.0
18:45:00	30.6	33.1	33.5	33.5	33.4	32.9	32.8
19:00:00	30.2	32.7	33.1	33.1	33.0	32.5	33.2
19:15:00	30.6	32.6	33.0	33.0	32.9	32.5	33.3
19:30:00	30.5	32.2	32.6	32.6	32.5	32.1	32.6
19:45:00	30.1	32.0	32.4	32.4	32.3	31.9	33.0
20:00:00	30.0	32.3	32.7	32.7	32.6	32.1	32.8
20:15:00	29.3	32.3	32.7	32.7	32.6	32.0	32.9
20:30:00	29.5	32.4	32.8	32.8	32.7	32.1	33.0
20:45:00	29.7	32.6	33.0	33.0	32.9	32.3	33.3
21:00:00	29.8	31.6	32.0	32.0	31.9	31.5	33.2
21:15:00	29.8	32.5	32.9	32.9	32.8	32.2	32.3

Temperature 27/03/53(ต่อ)

Time	Tamb	Tw1	Tw2	Tw3	Tw4	Troof	Tground
22:00:00	29.7	32.8	33.2	33.2	32.9	32.5	29.9
22:15:00	28.6	32.0	32.4	32.4	32.1	31.7	28.7
22:30:00	28.9	32.0	32.4	32.4	32.1	31.6	29.0
22:45:00	27.9	31.7	32.2	32.1	31.8	31.3	28.2
23:00:00	27.0	31.2	31.7	31.6	31.3	30.6	27.4
23:15:00	26.8	31.3	31.8	31.7	31.4	30.6	26.9
23:30:00	25.5	30.0	30.5	30.9	30.3	29.5	26.1
23:45:00	25.5	30.0	30.5	30.9	30.3	29.5	26.4

Convection loss at wall1 (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
306.45	1.114E+07	7.727E+06	28.928	1.540	24.197	21.778
306.35	1.115E+07	7.734E+06	28.936	1.541	24.200	21.780
307.15	1.107E+07	7.678E+06	28.876	1.539	24.177	21.759
308.55	1.562E+07	1.083E+07	31.833	1.700	38.147	34.333
307.55	1.418E+07	9.836E+06	30.973	1.652	33.360	30.024
308.15	1.411E+07	9.783E+06	30.926	1.651	33.336	30.002
309.35	1.240E+07	8.602E+06	29.818	1.594	28.618	25.756
307.95	1.256E+07	8.711E+06	29.925	1.597	28.666	25.799
307.85	1.729E+07	1.199E+07	32.768	1.748	43.154	38.839
309.05	1.710E+07	1.186E+07	32.667	1.746	43.091	38.782
308.85	1.713E+07	1.188E+07	32.684	1.746	43.101	38.791
308.15	1.724E+07	1.196E+07	32.743	1.748	43.138	38.824
307.40	1.026E+07	7.113E+06	28.261	1.507	21.979	19.781
306.45	1.273E+07	8.831E+06	30.041	1.600	28.718	25.846
306.15	1.277E+07	8.855E+06	30.064	1.600	28.728	25.856
306.40	1.513E+07	1.049E+07	31.546	1.680	35.809	32.228
306.10	1.517E+07	1.052E+07	31.571	1.680	35.822	32.240
305.20	1.529E+07	1.061E+07	31.645	1.682	35.862	32.276
305.20	1.207E+07	8.374E+06	29.593	1.573	26.476	23.829
305.00	2.016E+07	1.398E+07	34.241	1.820	51.044	45.940
304.60	2.024E+07	1.403E+07	34.277	1.821	51.070	45.963
304.75	1.617E+07	1.121E+07	32.148	1.708	38.326	34.493
304.50	1.377E+07	9.551E+06	30.716	1.631	31.116	28.004
304.20	1.544E+07	1.070E+07	31.727	1.684	35.907	32.316
304.30	1.867E+07	1.295E+07	33.495	1.778	45.894	41.305
303.95	2.443E+07	1.694E+07	36.180	1.920	64.629	58.166
304.10	2.358E+07	1.635E+07	35.815	1.901	61.857	55.671
304.30	2.354E+07	1.632E+07	35.796	1.901	61.841	55.657
303.85	1.467E+07	1.017E+07	31.272	1.659	33.512	30.161
304.30	2.191E+07	1.520E+07	35.069	1.862	56.407	50.766
304.90	2.179E+07	1.511E+07	35.014	1.861	56.364	50.728
304.90	2.179E+07	1.511E+07	35.014	1.861	56.364	50.728

Convection loss at wall1 (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
304.60	2.185E+07	1.516E+07	35.041	1.861	56.385	50.747
303.80	2.201E+07	1.527E+07	35.115	1.863	56.443	50.798
303.65	2.449E+07	1.699E+07	36.208	1.921	64.654	58.188
303.35	2.456E+07	1.703E+07	36.237	1.922	64.678	58.211
302.35	3.305E+07	2.292E+07	39.479	2.091	93.825	84.442
302.20	3.724E+07	2.582E+07	40.867	2.164	109.241	98.317
300.90	3.769E+07	2.614E+07	41.010	2.167	109.428	98.485
300.90	3.769E+07	2.614E+07	41.010	2.167	109.428	98.485
					Total	**1,736.094**

Convection loss at wall2 (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
306.60	1.471E+07	1.02E+07	31.294	1.620	32.724	29.452
306.50	1.472E+07	1.02E+07	31.302	1.621	32.728	29.455
307.30	1.461E+07	1.01E+07	31.238	1.619	32.696	29.426
308.70	1.952E+07	1.35E+07	33.927	1.762	48.135	43.321
307.70	1.799E+07	1.25E+07	33.141	1.719	42.874	38.586
308.30	1.789E+07	1.24E+07	33.090	1.717	42.842	38.558
309.50	1.601E+07	1.11E+07	32.060	1.666	37.616	33.855
308.10	1.621E+07	1.12E+07	32.175	1.669	37.680	33.912
308.00	2.135E+07	1.48E+07	34.810	1.806	53.631	48.268
309.20	2.112E+07	1.46E+07	34.702	1.803	53.552	48.197
309.00	2.116E+07	1.47E+07	34.720	1.804	53.565	48.209
308.30	2.130E+07	1.48E+07	34.783	1.805	53.611	48.250
307.60	1.457E+07	1.01E+07	31.214	1.618	32.684	29.416
306.65	1.729E+07	1.20E+07	32.772	1.697	40.320	36.288
306.35	1.734E+07	1.20E+07	32.798	1.698	40.335	36.301
306.60	1.990E+07	1.38E+07	34.112	1.766	48.260	43.434
306.30	1.995E+07	1.38E+07	34.139	1.767	48.278	43.450
305.40	2.012E+07	1.40E+07	34.219	1.769	48.332	43.499
305.40	1.662E+07	1.15E+07	32.401	1.675	37.806	34.025
305.20	2.541E+07	1.76E+07	36.593	1.891	65.151	58.636
304.80	2.550E+07	1.77E+07	36.631	1.892	65.184	58.666
304.95	2.108E+07	1.46E+07	34.680	1.792	51.081	45.973
304.70	1.848E+07	1.28E+07	33.401	1.725	43.034	38.730
304.40	2.030E+07	1.41E+07	34.309	1.771	48.393	43.554
304.50	2.381E+07	1.65E+07	35.915	1.854	59.476	53.529
304.15	3.008E+07	2.09E+07	38.417	1.983	80.077	72.069
304.30	2.915E+07	2.02E+07	38.072	1.965	77.040	69.336
304.50	2.910E+07	2.02E+07	38.052	1.965	77.020	69.318
304.05	1.948E+07	1.35E+07	33.906	1.749	45.724	41.152
304.50	2.734E+07	1.90E+07	37.372	1.929	71.059	63.953
305.10	2.719E+07	1.89E+07	37.313	1.928	71.004	63.904
305.10	2.719E+07	1.89E+07	37.313	1.928	71.004	63.904

Convection loss at wall2 (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
304.80	2.726E+07	1.89E+07	37.342	1.929	71.031	63.928
304.00	2.746E+07	1.90E+07	37.421	1.931	71.104	63.994
303.85	3.016E+07	2.09E+07	38.448	1.983	80.108	72.097
303.60	3.112E+07	2.16E+07	38.797	2.001	83.185	74.866
302.60	4.038E+07	2.80E+07	41.842	2.155	115.188	103.669
302.45	4.493E+07	3.12E+07	43.162	2.222	131.999	118.799
301.15	4.547E+07	3.15E+07	43.314	2.226	132.227	119.004
301.15	4.547E+07	3.15E+07	43.314	2.226	132.227	119.004
					Total	**2,213.988**

Convection loss at wall3 (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
306.70	1.509E+07	1.05E+07	31.522	1.679	35.796	32.216
306.60	1.510E+07	1.05E+07	31.530	1.679	35.800	32.220
307.40	1.499E+07	1.04E+07	31.465	1.678	35.765	32.189
308.80	1.948E+07	1.35E+07	33.904	1.811	50.804	45.723
307.80	1.808E+07	1.25E+07	33.191	1.771	45.695	41.125
308.40	1.798E+07	1.25E+07	33.140	1.769	45.661	41.095
309.55	1.548E+07	1.07E+07	31.751	1.698	38.101	34.291
308.15	1.567E+07	1.09E+07	31.866	1.701	38.166	34.349
308.05	2.039E+07	1.41E+07	34.353	1.833	53.482	48.134
309.25	2.017E+07	1.40E+07	34.247	1.831	53.403	48.062
309.05	2.021E+07	1.40E+07	34.265	1.831	53.416	48.074
308.35	2.034E+07	1.41E+07	34.327	1.833	53.462	48.116
307.60	1.339E+07	9.29E+06	30.471	1.625	30.998	27.898
306.65	1.589E+07	1.10E+07	31.989	1.704	38.236	34.413
306.35	1.593E+07	1.10E+07	32.014	1.705	38.250	34.425
306.60	1.828E+07	1.27E+07	33.295	1.773	45.762	41.186
306.30	1.833E+07	1.27E+07	33.321	1.774	45.779	41.202
305.40	1.848E+07	1.28E+07	33.399	1.776	45.831	41.248
305.40	1.527E+07	1.06E+07	31.628	1.682	35.853	32.268
305.20	2.334E+07	1.62E+07	35.711	1.898	61.771	55.594
304.80	2.343E+07	1.62E+07	35.749	1.899	61.802	55.622
304.95	1.936E+07	1.34E+07	33.848	1.799	48.436	43.593
304.70	1.698E+07	1.18E+07	32.602	1.732	40.808	36.728
304.40	1.865E+07	1.29E+07	33.486	1.778	45.888	41.299
304.50	2.187E+07	1.52E+07	35.050	1.862	56.393	50.753
304.15	2.763E+07	1.92E+07	37.488	1.990	75.915	68.324
304.30	2.678E+07	1.86E+07	37.152	1.973	73.037	65.733
304.50	2.673E+07	1.85E+07	37.132	1.972	73.018	65.717
304.05	1.790E+07	1.24E+07	33.094	1.757	43.358	39.022
304.50	2.511E+07	1.74E+07	36.470	1.937	67.369	60.632
305.10	2.498E+07	1.73E+07	36.412	1.935	67.318	60.586
305.10	2.498E+07	1.73E+07	36.412	1.935	67.318	60.586

Convection loss at wall3 (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
304.80	2.505E+07	1.74E+07	36.441	1.936	67.343	60.609
304.00	2.523E+07	1.75E+07	36.518	1.938	67.412	60.671
303.85	2.771E+07	1.92E+07	37.518	1.991	75.944	68.350
303.55	2.779E+07	1.93E+07	37.548	1.992	75.974	68.376
302.55	3.629E+07	2.52E+07	40.563	2.149	106.070	95.463
302.40	4.047E+07	2.81E+07	41.868	2.217	121.900	109.710
301.35	4.504E+07	3.12E+07	43.191	2.284	138.385	124.546
301.35	4.504E+07	3.12E+07	43.191	2.284	138.385	124.546
					Total	**2,154.693**

Convection loss at wall4 (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
306.55	1.385E+07	9.60E+06	30.764	1.593	30.275	27.248
306.45	1.386E+07	9.61E+06	30.772	1.593	30.279	27.251
307.25	1.376E+07	9.54E+06	30.709	1.591	30.249	27.224
308.65	1.868E+07	1.30E+07	33.502	1.739	45.463	40.917
307.65	1.714E+07	1.19E+07	32.687	1.695	40.270	36.243
308.25	1.704E+07	1.18E+07	32.637	1.694	40.240	36.216
309.40	1.434E+07	9.94E+06	31.070	1.615	32.613	29.351
308.00	1.452E+07	1.01E+07	31.181	1.618	32.668	29.401
307.90	1.966E+07	1.36E+07	33.997	1.763	48.182	43.364
309.10	1.945E+07	1.35E+07	33.892	1.761	48.111	43.300
308.90	1.949E+07	1.35E+07	33.909	1.761	48.123	43.311
308.30	2.130E+07	1.48E+07	34.783	1.805	53.611	48.250
307.55	1.372E+07	9.52E+06	30.685	1.591	30.238	27.214
306.60	1.644E+07	1.14E+07	32.301	1.672	37.750	33.975
306.30	1.648E+07	1.14E+07	32.326	1.673	37.764	33.988
306.55	1.904E+07	1.32E+07	33.685	1.744	45.581	41.023
306.25	1.909E+07	1.32E+07	33.712	1.745	45.598	41.038
305.35	1.925E+07	1.34E+07	33.791	1.747	45.650	41.085
305.35	1.575E+07	1.09E+07	31.910	1.649	35.271	31.744
305.15	2.455E+07	1.70E+07	36.230	1.872	62.276	56.049
304.75	2.464E+07	1.71E+07	36.268	1.873	62.308	56.077
304.90	2.021E+07	1.40E+07	34.264	1.770	48.363	43.527
304.65	1.761E+07	1.22E+07	32.943	1.701	40.420	36.378
304.35	1.943E+07	1.35E+07	33.879	1.749	45.707	41.136
304.45	2.294E+07	1.59E+07	35.532	1.834	56.660	50.994
304.10	2.921E+07	2.03E+07	38.092	1.966	77.060	69.354
304.25	2.828E+07	1.96E+07	37.740	1.948	74.049	66.644
304.45	2.823E+07	1.96E+07	37.721	1.947	74.030	66.627
304.00	1.860E+07	1.29E+07	33.462	1.726	43.072	38.764
304.45	2.647E+07	1.84E+07	37.025	1.911	68.124	61.311
304.95	2.459E+07	1.71E+07	36.249	1.873	62.292	56.063
304.95	2.459E+07	1.71E+07	36.249	1.873	62.292	56.063

Convection loss at wall4 (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
304.65	2.466E+07	1.71E+07	36.278	1.873	62.316	56.084
303.85	2.484E+07	1.72E+07	36.354	1.875	62.379	56.141
303.70	2.754E+07	1.91E+07	37.451	1.931	71.131	64.018
303.40	2.761E+07	1.92E+07	37.481	1.932	71.159	64.043
302.40	3.686E+07	2.56E+07	40.747	2.098	102.175	91.958
302.25	4.141E+07	2.87E+07	42.150	2.169	118.557	106.702
301.05	4.370E+07	3.03E+07	42.813	2.200	125.453	112.908
301.05	4.370E+07	3.03E+07	42.813	2.200	125.453	112.908
					Total	**2,045.893**

Convection loss at roof (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
306.40	1.178E+07	8.173E+06	29.390	1.499	23.847	21.463
306.30	1.180E+07	8.181E+06	29.398	1.499	23.850	21.465
307.10	1.171E+07	8.121E+06	29.337	1.497	23.827	21.444
308.45	1.602E+07	1.111E+07	32.063	1.640	36.123	32.510
307.50	1.526E+07	1.058E+07	31.623	1.615	33.604	30.244
308.10	1.517E+07	1.052E+07	31.574	1.614	33.580	30.222
308.45	2.847E+07	1.975E+07	37.814	1.934	75.736	68.162
307.90	1.341E+07	9.303E+06	30.487	1.558	28.602	25.741
307.75	1.791E+07	1.242E+07	33.101	1.691	41.396	37.256
308.40	2.760E+07	1.914E+07	37.474	1.916	72.704	65.434
308.25	2.674E+07	1.855E+07	37.136	1.898	69.710	62.739
307.80	2.238E+07	1.552E+07	35.280	1.802	55.155	49.639
307.40	1.168E+07	8.099E+06	29.315	1.497	23.818	21.437
306.40	1.360E+07	9.430E+06	30.605	1.561	28.654	25.788
306.10	1.364E+07	9.456E+06	30.629	1.561	28.664	25.798
306.35	1.632E+07	1.132E+07	32.238	1.644	36.216	32.594
306.05	1.637E+07	1.135E+07	32.263	1.644	36.229	32.606
305.15	1.650E+07	1.145E+07	32.338	1.646	36.270	32.643
305.20	1.375E+07	9.534E+06	30.701	1.563	28.696	25.826
304.90	2.114E+07	1.466E+07	34.708	1.766	49.724	44.751
304.50	2.122E+07	1.471E+07	34.744	1.767	49.749	44.774
304.70	1.749E+07	1.213E+07	32.879	1.673	38.901	35.011
304.45	1.477E+07	1.024E+07	31.329	1.593	31.204	28.084
304.15	1.666E+07	1.155E+07	32.423	1.648	36.315	32.683
304.20	1.942E+07	1.347E+07	33.878	1.722	44.271	39.844
303.80	2.507E+07	1.738E+07	36.449	1.852	61.207	55.087
303.95	2.410E+07	1.672E+07	36.041	1.832	58.293	52.464
304.15	2.406E+07	1.669E+07	36.022	1.831	58.278	52.450
303.80	1.578E+07	1.094E+07	31.928	1.622	33.758	30.382
304.15	2.221E+07	1.540E+07	35.204	1.790	52.572	47.315
304.75	2.209E+07	1.532E+07	35.148	1.788	52.533	47.279
304.75	2.209E+07	1.532E+07	35.148	1.788	52.533	47.279

Convection loss at roof (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
304.25	2.589E+07	1.795E+07	36.789	1.870	64.106	57.695
303.30	2.891E+07	2.005E+07	37.980	1.929	73.177	65.859
303.40	2.516E+07	1.745E+07	36.488	1.853	61.239	55.115
302.75	3.187E+07	2.210E+07	39.065	1.982	82.489	74.240
301.95	3.399E+07	2.358E+07	39.802	2.017	88.891	80.002
301.85	3.592E+07	2.491E+07	40.441	2.049	95.325	85.792
300.65	3.823E+07	2.651E+07	41.180	2.083	102.008	91.807
300.65	3.823E+07	2.651E+07	41.180	2.083	102.008	91.807
					Total	**1,822.735**

Convection loss at ground (27/03/53)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q (W)	W(kJ)
307.25	2.699E+07	1.872E+07	37.233	1.901	69.798	62.818
306.90	2.256E+07	1.565E+07	35.363	1.804	55.217	49.695
307.25	1.439E+07	9.982E+06	31.103	1.588	31.097	27.987
307.70	2.688E+06	1.864E+06	19.516	0.997	3.661	3.295
307.25	1.079E+07	7.486E+06	28.671	1.464	21.499	19.349
307.55	5.383E+06	3.733E+06	23.605	1.206	8.854	7.968
307.35	8.987E+06	6.233E+06	27.231	1.390	17.018	15.316
307.65	8.963E+06	6.216E+06	27.210	1.390	17.012	15.311
307.45	1.257E+07	8.718E+06	29.932	1.528	26.192	23.573
306.90	9.024E+05	6.258E+05	14.594	0.745	0.911	0.820
306.85	1.806E+06	1.252E+06	17.533	0.895	2.190	1.971
306.70	2.712E+06	1.881E+06	19.564	0.998	3.665	3.298
306.80	9.032E+05	6.264E+05	14.597	0.745	0.912	0.820
306.25	1.089E+07	7.555E+06	28.745	1.465	21.525	19.372
306.10	1.364E+07	9.456E+06	30.629	1.561	28.664	25.798
306.10	1.182E+07	8.195E+06	29.413	1.499	23.856	21.470
306.00	1.547E+07	1.073E+07	31.746	1.618	33.666	30.300
305.60	2.466E+07	1.710E+07	36.277	1.848	61.068	54.961
305.30	1.557E+07	1.080E+07	31.804	1.619	33.695	30.326
304.85	2.023E+07	1.403E+07	34.273	1.744	46.963	42.266
304.85	2.758E+07	1.913E+07	37.468	1.907	70.010	63.009
305.10	2.477E+07	1.718E+07	36.324	1.849	61.106	54.996
304.70	1.933E+07	1.341E+07	33.833	1.721	44.243	39.819
304.70	2.670E+07	1.852E+07	37.119	1.888	67.031	60.328
304.55	2.582E+07	1.790E+07	36.760	1.870	64.081	57.673
304.25	3.328E+07	2.308E+07	39.559	2.011	88.626	79.764
304.40	3.231E+07	2.241E+07	39.222	1.995	85.448	76.903
304.65	3.316E+07	2.300E+07	39.517	2.010	88.581	79.723
304.65	3.132E+07	2.172E+07	38.868	1.977	82.287	74.058
304.20	2.312E+07	1.604E+07	35.614	1.811	55.405	49.865
304.25	1.294E+07	8.976E+06	30.180	1.534	26.295	23.665
303.90	6.492E+06	4.503E+06	24.865	1.264	10.827	9.744

Convection loss at ground (27/03/53) (ต่อ)

Tf	Gr	Ra	Nu	h	Q(W)	W(kJ)
302.95	1.871E+06	1.298E+06	17.701	0.898	2.199	1.979
301.80	9.456E+05	6.558E+05	14.773	0.749	0.916	0.825
302.10	9.430E+05	6.540E+05	14.762	0.748	0.916	0.824
301.20	2.853E+06	1.978E+06	19.833	1.004	3.687	3.319
300.35	3.834E+06	2.659E+06	21.499	1.087	5.323	4.791
300.00	9.615E+05	6.668E+05	14.838	0.750	0.918	0.826
298.95	5.826E+06	4.040E+06	24.128	1.218	8.944	8.050
299.10	8.726E+06	6.052E+06	27.006	1.363	15.020	13.518
					Total	**1,160.396**

ภาคผนวก ซ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

ที่ ศธ 6393(14).2/0229

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

1 กุมภาพันธ์ 2553

เรื่อง ตอบรับการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่ 9)

เรียน คุณจักราวุฒิ เตโช

สิ่งที่ส่งมาด้วย สำเนาการขออนุมัติจัดประชุมวิชาการ

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความจำนวน 1 เรื่อง การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อเข้าร่วมการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่ 9) วันที่ 11-12 มีนาคม 2553 ณ โรงแรมปิตตาเวีย รีสอร์ท แอนด์ สปา อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ บัดนี้ทางคณะกรรมการขออินดีแจ้งให้ทราบว่า บทความดังกล่าวได้รับการอนุมัติให้นำเสนอในการประชุมครั้งนี้แล้ว และโปรดส่งบทความฉบับสมบูรณ์ก่อนวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2553 โดยท่านสามารถ Download Format การเขียนบทความและตรวจสอบกำหนดการจัดประชุมได้ที่เวปไซต์ http://webme.eng.cmu.ac.th/thermalsystem/index.html หลังวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2553 เป็นต้นไป

<u>อัตราค่าลงทะเบียน</u>	นักศึกษา คนละ 1,000 บาท
	อาจารย์,นักวิชาการ และบุคคลทั่วไป คนละ 2,500 บาท
<u>อัตราห้องพัก</u>	1,300 บาท/คืน (วันธรรมดา)โรงแรมปิตตาเวีย รีสอร์ท แอนด์ สปา
	1,600 บาท/คืน (วัน ศ, ส, อา)

ในการนี้ ผู้เข้าร่วมประชุมที่มาจากส่วนราชการต่างๆ ที่ได้รับอนุมัติจากผู้บังคับบัญชาแล้ว สามารถเข้าประชุมโดยไม่ถือเป็นวันลา และมีสิทธิ์เบิกค่าใช้จ่ายในการเดินทางได้ตามระเบียบของทางราชการจากต้นสังกัด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม

การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล

DEVELOPMENT OF MANGO WOOD-CARVING DRYING SYSTEM USING HEAT EXCHANGER FROM BIOMASS FUEL

จักราวุฒิ เตโช
สาขาวิศวกรรมพลังงาน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทร : 084-8072025
อีเมล์:chakkrawut_engineering
@hotmail.com

สัมพันธ์ ไชยเทพ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทร : 0-5394-2005
โทรสาร : 0-5394-2062
อีเมล์:svmpvn@gmail.com

ณัฐวุฒิ คุษฎี
ธเนศ ไชยชนะ
ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย
จังหวัดเชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์ (053)875140
โทรสาร (053)878333

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล มีการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน คือ ตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักที่มีการใช้งานของสถานประกอบการแบบดั้งเดิม รวมทั้งออกแบบ สร้างและตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนของ โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ผนังทั้ง 4 ด้าน และหลังคาเป็นแผ่นฉนวนสำเร็จ ซึ่งโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่นี้มีหลักการทำงาน คือ ใช้เทคนิควิธีในการต้มน้ำร้อนโดยนำน้ำร้อนผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นใช้พัดลมเป่าอากาศร้อนมายังห้องอบแห้งแล้วดูดอากาศบางส่วนกลับเข้าห้องอบแห้งอีกทีหนึ่ง ส่วนควันที่เกิดจากการเผาไหม้นั้นได้ผ่านเครื่องดักควันก่อนที่จะปล่อยสู่ธรรมชาติ สามารถอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักได้ประมาณ 1,600 kg. ต่อครั้งจากการตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนและเก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้ระหว่างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเทียบกับแบบใหม่พบว่า โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 4.36% เป็น 9.73% สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจาก 4,282.56 ppm. เหลือเพียง 10 ppm (ลดลง 99.76%).

Abstract

The objective of this research was developing of mango wood-carvings drying system using heat exchanger from biomass fuel. There were 2 processes; i.e., measurement thermal efficiency of the existing dry mango wood-carvings plant, comparison to the performance of the designed and constructed another new thermal dry mango woodcarvings plant. All 4 sides of wall and a roof are insulating sheet. This dry mango wood-carvings plant was used water heat exchanging techniques. Hot air was blown into drying room, and then some portion was be recirculated. The smoke would be trapped before they release to the ambient air. Capacity approximately 1,600 kg. per batch of drying. Measurement of thermal efficiency and exhaust emission 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 4,282.56 ppm. to only 10 ppm (decreased 99.76%).

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนาน โดยเริ่มจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนเพื่อใช้เองและจำหน่ายภายในประเทศ ต่อมาได้มีการผลิตเพื่อส่งออกต่างประเทศและเติบโตขึ้นจนเป็นสินค้าส่งออก 20 อันดับแรกของไทย

และยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อเนื่องโดยได้รับการจัดอยู่ในประเภทสินค้าเป้าหมายการส่งออกด้วย ซึ่งอุตสาหกรรมดังกล่าวสามารถสร้างงานได้ไม่ต่ำกว่า 200,000 คน และสร้างรายได้ให้กับประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 1,000 ล้านเหรียญสหรัฐ

สำหรับตำบลห้วยทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ประชากรมีอาชีพหลักคือรับจ้างทั่วไปในอุตสาหกรรมครัวเรือน เช่น งานหัตถกรรมจากผ้า ไม้ไผ่ เนื้อไม้อ่อน เครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลัก และของที่ระลึกต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนจากอาชีพเกษตรกรรม มาเป็นงานทางด้านหัตถกรรม ส่วนงานทางด้านเกษตรกรรมก็กลายมาเป็นอาชีพรองรองชุมชน อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนของตำบลห้วยทราย ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลัก ซึ่งไม้ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนการนำมาใช้งาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาการเกิดมอดหลังจากนำมาประกอบเป็นเครื่องเรือน เครื่องใช้แล้ว การอบไม้มะม่วงแกะสลัก โดยทั่วไปมักจะใช้เศษไม้ที่เหลือจากการขึ้นรูปไม้ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง ซึ่งทำให้ไปสัมผัสกับตัวผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยวิธีนี้มีข้อดีคือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วไม่เกิดมอด แต่จะมีข้อเสียคือจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคราบดำของเขม่า เกิดปัญหาน้ำมันดินตกใส่ผลิตภัณฑ์ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งให้สม่ำเสมอและไม่คงที่ ทำให้ระยะเวลาการอบไม้ไม่แน่นอน นอกจากนี้ผนังห้องที่ใช้มักเป็นผนังปูน ทำให้มีความร้อนสะสมในผนัง ทำให้อุณหภูมิในห้องขึ้นช้าใช้เวลาอบแห้งนาน ในกระบวนการเช่นนี้ประสิทธิภาพทางความร้อนค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากและยังก่อให้เกิดมลภาวะได้แก่ ควัน ฝุ่น และก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทยขณะนี้นับว่ามีความรุนแรงขึ้นทุกวันซึ่งสาเหตุมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือจากการอุตสาหกรรมและจากยานพาหนะ สำหรับสาเหตุจากการอุตสาหกรรมนั้น จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศในบริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงโดยรอบ ซึ่งถ้าสถานประกอบการมากหรือมีจำนวนการผลิตสูงในแต่ละย่านชุมชนอุตสาหกรรม อาจเกิดปัญหาผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงได้ โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศจากการปล่อยฝุ่น ควัน จากสถานประกอบการซึ่งถ้ามีมากเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบและสร้างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลและเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งของระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis), M_w

$$M_w = \frac{W - d}{W} \tag{1}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis), M_d

$$M_d = \frac{W - d}{d} \tag{2}$$

เมื่อ W คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

M_w คือ ความชื้น มาตรฐานเปียก, เศษส่วน

M_d คือ ความชื้น มาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

ปริมาณความชื้นสามารถทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดยคูณด้วย 100 ดังนั้นความชื้นมาตรฐานเปียกจะมีค่าได้ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์แต่ในขณะเดียวกันในหน่วยมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่ามากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ได้ ในทางการเกษตรนิยมใช้เป็นมาตรฐานเปียกในการพูดถึงความชื้น แต่ในการคำนวณบางครั้งนิยมใช้เป็นมาตรฐานแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้งได้เขียนได้ดังนี้

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d} \tag{3}$$

หรือ

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w} \tag{4}$$

ในการอบแห้งจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากวัสดุ เมื่อทราบมวลและความชื้นของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)} \tag{5}$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักหลังการอบแห้ง, kg

W_i คือ น้ำหนักก่อนอบแห้ง, kg

M_i คือ ความชื้นก่อนอบแห้ง, % wb

M_f คือ ความชื้นหลังอบแห้ง % wb

2.2 ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (Q_{fuel})

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเตา ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ภายในท้องถิ่น โดยพิจารณาจากค่าความร้อน และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ดังสมการ

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times LHV \qquad (6)$$

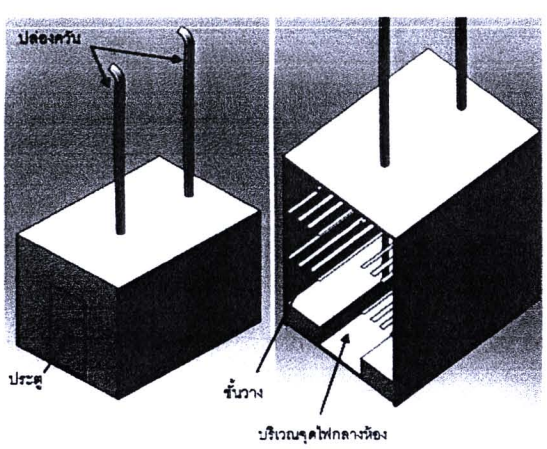
เมื่อ Q_{fuel} คือ ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง kJ

m_{fuel} คือ ปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง kg

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง kJ/kg

3 การตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้งไม้แกะสลักแบบดั้งเดิม

โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม เป็นโรงอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง ซึ่งสามารถเรียกอีกอย่างได้ว่าเป็นการรมควันไม้ ทั้งนี้โรงอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ชุมชนใช้ในการอบไม้แกะสลัก จะสร้างจากอิฐบล็อกหนา 6 เซนติเมตร ขนาดห้องอบแห้งประมาณ กว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 3 เมตร มีชั้นวางไม้ สองข้างของห้องอบแห้งซึ่งแต่ละข้างมีชั้นวางไม้จำนวน 3 ชั้น และบริเวณกลางห้องจะเป็นที่วางและจุดเชื้อเพลิง ด้านหลังส่วนกลางล่าง และ กลางบนมีช่องสำหรับอากาศเข้าห้องอบแห้งและบนหลังคามีปล่องควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 4 เมตร จำนวน 2 ท่อ ดังแสดงในรูปที่ 1

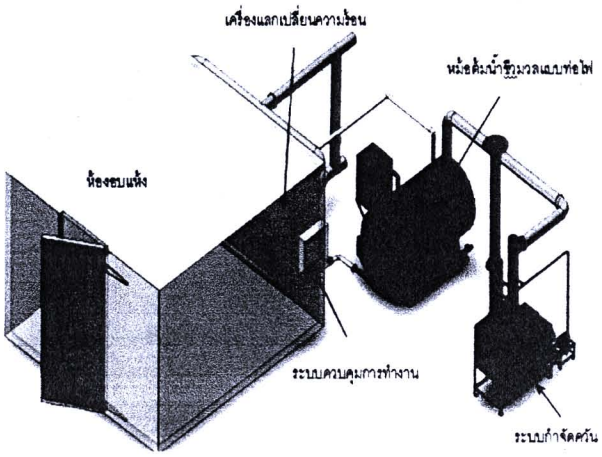


รูปที่ 1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักแบบต่างๆ จำนวน 8 ชนิด รวม 1,356 ชิ้น คิดเป็นน้ำหนักรวม 454.3 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งเป็นเวลารวม 155 ชั่วโมง น้ำหนักของไม้หลังการอบแห้งเท่ากับ 319.3 กิโลกรัม รวมเป็นปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อไม้เท่ากับ 135.07 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 0.87 กิโลกรัม/ชั่วโมง และโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 4.36%

4 ออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ที่ทำการออกแบบได้ใช้เทคนิควิธีในการผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากจากหม้อต้มน้ำแบบท่อไฟจากเชื้อเพลิงชีวมวล และนำน้ำร้อนมาผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นใช้พัดลมเป่าลมร้อนเข้าไปในห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยที่ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของหม้อต้มน้ำแบบท่อไฟนั้นได้ผ่านเครื่องดักควันก่อนจะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งลักษณะของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักชนิดต่างๆ รวมน้ำหนักก่อนการอบแห้งเท่ากับ 1,623.5 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งเป็นเวลารวม 84 ชั่วโมง น้ำหนักของไม้หลังการอบแห้งเท่ากับ 1,370.3 กิโลกรัม รวมเป็นปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อไม้เท่ากับ 253.2 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 3.01 กิโลกรัม/ชั่วโมง และโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 9.73%

5 ระบบกำจัดควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

จากการตรวจวัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ระหว่างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่พบว่าโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม 4,282.56 ppm. ส่วนโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่มีปริมาณ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เพียง 10 ppm. เมื่อเปิดระบบกำจัดควันแบบสเปรย์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

ค่าของก๊าซไอเสีย	โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก	
	แบบดั้งเดิม	แบบใหม่
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	103.36	52.79
ปริมาณ O_2 (%)	18.99	20.70
ปริมาณ CO (ppm)	4,282.56	10.00
อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)	28.500	29.00

6 ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ค่าที่พิจารณา	ปริมาณ
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	155.25
ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)	135.07
อัตราการระเหยน้ำ (kg /hr)	0.87
ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (MJ/kg)	2.26
ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)	512.25
ปริมาณขี้เถ้า (kg)	64.65
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)	3.30
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)[1]	15.62
พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง (MJ)	6,990.66
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg $_{water}$)	51.75
ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%)	4.36

[1] ค่าความร้อนของไม้มะม่วง ที่ความชื้น 15% มาตรฐานเปียก

ตารางที่ 3 ค่าการทดสอบโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ค่าที่พิจารณา	ปริมาณ
เวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)	84.0
น้ำหนักผลิตภัณฑ์รวมเริ่มต้น (kg)	1,623.5
ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)	253.2
อัตราการระเหยน้ำ (kg /hr)	3.01
ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)	430.8
ปริมาณขี้เถ้า (kg)	54.4
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr)	5.13
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)[1]	15.62
พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง (MJ)	5,879.37
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg $_{water}$)	23.2
ประสิทธิภาพการอบแห้ง (%)	9.73

6 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักในกรณีศึกษาของอบต.ห้วยทราย อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ พบว่าโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมาใหม่นั้น มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมจาก 4.36% เป็น 9.73% และยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจาก 4,282.56 ppm. เหลือเพียง 10 ppm. เนื่องจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่นั้นได้สร้างเครื่องดักควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนจะปล่อยสู่ธรรมชาติอีกด้วย

7 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม พบว่ามีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 4.36% โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 3.38 kg/hr อัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ 0.87kg/hr และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 51.75MJ/kg $_{water}$ ซึ่งในระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 4,282.56 ppm. ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ที่ 690 ppm และจากการศึกษาโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่พบว่าเตามีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 9.73% (ดีกว่าเดิม 5.37%) และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 5.13 kg/hr อัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ 3.01 kg /hr และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 23.20 MJ/kg $_{water}$ และปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 10 ppm. (ลดลง 4272.56 ppm หรือ 99.76%)

8 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Propulsion and Aerodynamics Research and Applications Laboratoryคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้(ERC-MJU) รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

9 เอกสารอ้างอิง

[1]. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ณัฐนี วรยศ, ยศพงษ์ โรจนานุกูลพงศ์, ณัฐวุฒิ คุษฎี, กัญญาพร ไชยวงศ์, นรินทร์ มาละวรรณโน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ, ศรีธร อุปคำ, เวชยันต์ รางศรี, พณิชย์ จิตตะยโศธร. 2549. รายงาน ฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการพัฒนาสาธิตระบบอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้และเครื่องจักรสาน (สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2]. เสกสรรค์ สุทธิสงค์. 2549. การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3]. ณัฐวุฒิ คุษฎี และ ธเนศ ไชยชนะ. 2552. รายงาน ฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัย ถ่ายทอดการเพิ่มผลิตภาพ และการประหยัดพลังงานในการประกอบการ. พลังงานจังหวัดเชียงใหม่ร่วมกับศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[4]. ณัฐวุฒิ คุษฎี, อดิพงศ์ นันทพันธุ์, ชูรัตน์ ธารารักษ์, ผ่องรักษ์ สมมิตร, ประวิทย์ ลี้เหมือดภัยและมนตรี มีรัตน์. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาทดสอบ เตาอบแห้งลำไย. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงานร่วมกับศูนย์พลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[5]. ไพรัช กล่ำมาศ. 2548. การพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์ขนาดห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6]. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี

[7]. Achariyaviriya, A. 2001. Simulation and optimization of the drying strategy of longan drying. Doctor of engineering thesis, Energy Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.

[8]. Adams, R.L. and Thompson, J.F. 1985. Improving drying uniformity in concurrent flow tunnel dehydrators. Tran. ASAE, Vol.28, No3, pp. 890-892.

[9]. Yunus A. Cengel. 2004. Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition. McGraw-Hill, New York, pp.908

นายจักราวุฒิ เดโช

Qualification

- B.Eng. (Mechanical), [Maejo University]
- Study M.E.(Energy Eng.), [Chiang Mai Univer

Personal Interested :

- Drying
- Refrigeration

การวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก

ANALYSIS OF POLLUTION AND THERMAL EFFICINCY OF DRY MANGO WOOD-CARVING PLANT

จักราวุฒิ เตโช[1] สัมพันธ์ ไชยเทพ[2] ณัฐวุฒิ ศุษฎี[3]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[1,2] 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์ : 053-942005 E-mail: svmpvn@gmail.com

[3] ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[3] 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50200 โทรศัพท์: 053-875140 E-mail: energy@mju.ac.th

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก มีการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน คือ ตรวจวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้ และปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม และตรวจวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้และปริมาณฝุ่นของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ โดยจากการตรวจวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน เก็บข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้และปริมาณฝุ่นระหว่างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 6.36 % เป็น 10.15 % สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจาก 4,784 ppm เหลือเพียง 9.24 ppm (ลดลง 99.81%) สามารถลดปริมาณฝุ่นจาก 1,556.5 mg/m^{3}เหลือเพียง12 mg/m^3 (ลดลง 99.23 %)

คำสำคัญ: อบแห้ง, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน, ไม้มะม่วงแกะสลัก

Abstract

The objective of this research was the analysis of pollution and thermal efficiency of dry mango wood-carving plant. There were 2 studying processes ; measurement thermal efficiency, exhaust emission and dust data of the existing dry mango wood-carvings plant, comparison to the performance of new thermal dry mango woodcarvings plant, exhaust emission and dust data. Measurement of thermal efficiency, exhaust emission and dust data between an existing plant compared to the new one, showed with the following improvements; thermal efficiency was increased from 6.36% to 10.15%,carbon emissions was reduced from 4,784 ppm. to only 9.24 ppm. (decreased 99.76%) and dust emissions was reduced from 1,556.5 mg/m^3 to only 12 mg/m^3 (decreased 99.23%)

Keywords: Drying, Thermal efficiency, Mango wood-carving

1.บทนำ

อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนของไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนาน โดยเริ่มจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนเพื่อใช้เองและจำหน่ายภายในประเทศ ต่อมาได้มีการผลิตเพื่อส่งออกต่างประเทศและเติบโตขึ้นจนเป็นสินค้าส่งออก 20 อันดับแรกของไทย และยังมีแนวโน้มที่จะขยายตัวต่อเนื่องโดยได้รับการจัดอยู่ในประเภทสินค้าเป้าหมายการส่งออกด้วย ซึ่งอุตสาหกรรมดังกล่าวสามารถสร้างงานได้ไม่ต่ำกว่า 200,000 คน และสร้างรายได้ให้กับประเทศปีละไม่ต่ำกว่า 1,000 ล้านเหรียญสหรัฐ [6]

สำหรับตำบลห้วยทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ ประชากรมีอาชีพหลักคือรับจ้างทั่วไปในอุตสาหกรรมครัวเรือน เช่น งานหัตถกรรมจากผ้า ไม้ไผ่ เนื้อไม้อ่อน เครื่องปั้นดินเผา ผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลัก และของที่ระลึกต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนจากอาชีพเกษตรกรรม มาเป็นงานทางด้านหัตถกรรม ส่วนงานทางด้านเกษตรกรรมก็กลายมาเป็นอาชีพรองของชุมชน อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือนของตำบลห้วยทราย ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลัก ซึ่งไม้ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการอบแห้งก่อนการนำมาใช้งาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหา การเกิดมอดหลังจากนำมาประกอบเป็นเครื่องเรือน เครื่องใช้แล้ว การอบไม้มะม่วงแกะสลักโดยทั่วไปมักจะใช้เศษไม้ที่เหลือจากการขึ้นรูปไม้ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง ซึ่งทำให้ไปสัมผัสกับตัวผลิตภัณฑ์โดยตรง โดยวิธีนี้มีข้อดีคือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแล้วไม่เกิดมอด แต่จะมีข้อเสียคือจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคราบดำของเขม่า เกิดปัญหายางไม้ (Tar) ตกใส่ผลิตภัณฑ์ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ให้สม่ำเสมอและไม่คงที่ ทำให้ระยะเวลาการอบไม้ไม่แน่นอน นอกจากนี้ผนังห้องที่ใช้มักเป็นผนังปูนทำให้มีความร้อนสะสมในผนัง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งขึ้นช้า ส่งผลให้จะต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ซึ่งในกระบวนการเช่นนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนค่อนข้างต่ำ ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงมากและยังก่อให้เกิดมลภาวะได้แก่ ควัน ฝุ่น และก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย [3]

ปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทยขณะนี้นับว่ามีความรุนแรงขึ้นทุกวันซึ่งสาเหตุมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือจากการอุตสาหกรรมและจากยานพาหนะ สำหรับสาเหตุจากการอุตสาหกรรมนั้น จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศในบริเวณชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงโดยรอบ ซึ่งถ้าสถานประกอบการมากหรือมีจำนวนการผลิตสูงในแต่ละย่านชุมชนอุตสาหกรรม อาจเกิดปัญหาผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรงได้ โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศจากการปล่อยฝุ่น ควัน จากสถานประกอบการ ซึ่งถ้ามีมากเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย [2]

2.วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักที่มีการใช้งานของสถานประกอบการแบบดั้งเดิมเปรียบเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความชื้นในวัสดุ [4]

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis), M_w

$$M_w = \frac{W - d}{W} \tag{1}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis), M_d

$$M_d = \frac{W - d}{d} \tag{2}$$

เมื่อ W คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

M_w คือ ความชื้น มาตรฐานเปียก, ทศนิยม

M_d คือ ความชื้น มาตรฐานแห้ง, ทศนิยม

ปริมาณความชื้นสามารถทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดยคูณด้วย 100 ดังนั้นความชื้นมาตรฐานเปียกจะมีค่าได้ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์แต่ในขณะเดียวกันในหน่วยมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่ามากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ได้ ในทางการเกษตรนิยมใช้เป็นมาตรฐานเปียกในการพูดถึงความชื้น แต่ในการคำนวณบางครั้งนิยมใช้เป็นมาตรฐานแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้งได้เขียนได้ดังนี้

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d} \tag{3}$$

หรือ

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w} \tag{4}$$

ในการอบแห้งจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากวัสดุ เมื่อทราบมวลและความชื้นของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 [5]

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)} \tag{5}$$

เมื่อ Wf คือ น้ำหนักหลังการอบแห้ง, kg

Wi คือ น้ำหนักก่อนอบแห้ง, kg

M_i คือ ความชื้นก่อนอบแห้ง, % wb

M_f คือ ความชื้นหลังอบแห้ง % wb

3.2 ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (Q_{fuel})

ในการทดสอบประสิทธิภาพ ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ภายในท้องถิ่น โดยพิจารณาจากค่าความร้อน และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดังสมการที่ 6

$$Q_{fuel} = m_{fuel} \times LHV \tag{6}$$

เมื่อ Q_{fuel} คือ ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง kJ

m_{fuel} คือ ปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง kg

LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง kg/kJ

3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก

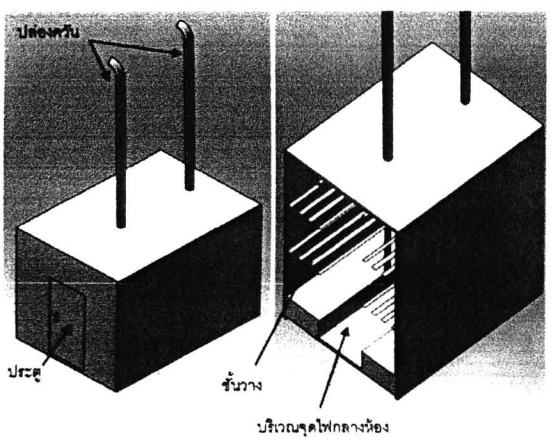
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาณความร้อนที่ได้กับความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงดังแสดงในสมการที่ 7

$$\eta_{th} = \frac{Qwall + Qroof + Qground + Qdrying}{Q_{fuel}} \tag{7}$$

4.วิธีดำเนินงาน

4.1 ตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้งไม้แกะสลักแบบดั้งเดิม

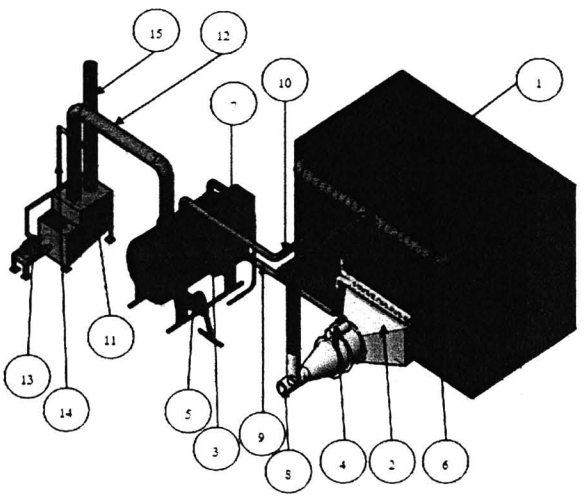
โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเป็นโรงอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงสัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง ซึ่งสามารถเรียกอีกอย่างได้ว่าเป็นการรมควันไม้ ทั้งนี้โรงอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ชุมชนใช้ในการอบแห้งไม้แกะสลัก สร้างจากอิฐบล็อกหนา 6 เซนติเมตร ขนาดห้องอบแห้งประมาณ กว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร และสูง 3 เมตร มีชั้นวางไม้ สองข้างของห้องอบแห้ง ซึ่งแต่ละข้างมีชั้นวางไม้จำนวน 3 ชั้น และบริเวณกลางห้องจะเป็น ที่วางและจุดเชื้อเพลิง ด้านหลังส่วนกลางล่าง และ กลางบนมีช่อง สำหรับอากาศเข้าห้องอบแห้งและบนหลังคามีปล่องควันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.24 เซนติเมตร สูง 4 เมตร จำนวน 2 ท่อ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม [1]

4.2 ตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนของของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่นี้ ได้ใช้เทคนิควิธีในการผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากจากหม้อต้มน้ำแบบท่อไฟจากเชื้อเพลิงชีวมวล และนำน้ำร้อนมาผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นใช้พัดลมเป่าลมร้อนเข้าไปในห้องอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยที่ควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของหม้อต้มน้ำแบบท่อไฟนั้นได้ผ่านเครื่องดักควันก่อนจะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งลักษณะของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่แสดงในภาพที่ 2



1	ห้องอบแห้ง
2	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
3	หม้อต้มน้ำ โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล
4	Bower 1 แรงม้า
5	Bower 0.5 แรงม้า
6	ท่อดูดอากาศกลับมาใช้ใหม่ในห้องอบแห้ง
7	ชุดควบแน่นน้ำที่ระเหยกลับมาใช้ใหม่
8	อากาศเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
9	ท่อน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำ
10	ท่อน้ำร้อนกลับเข้าหม้อต้มน้ำ
11	ถังเก็บน้ำ
12	ท่อควันจากการเผาไหม้
13	ปั๊มน้ำ 1 แรงม้า
14	ระบบสเปรย์น้ำ
15	ท่อควันสะอาดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 2 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

4.3 ระบบกำจัดฝุ่นและควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

การตรวจวัดก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้ จะใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง รุ่น330 ยี่ห้อ Testoและตรวจวัดปริมาณฝุ่น โดยใช้เครื่องวัดฝุ่นละอองในอากาศยี่ห้อ Casella รุ่น Microdust และ StackSamling System เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้ระหว่างโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

5.ผลการศึกษา

5.1 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักแบบต่างๆ จำนวน 8 ชนิด รวม 1,359 ชิ้น คิดเป็นน้ำหนักรวม 454.30 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งเป็นเวลารวม 66 ชั่วโมง น้ำหนักของไม้หลังการอบแห้งเท่ากับ 319.30 กิโลกรัม รวมเป็นปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อไม้เท่ากับ 135.07 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 2.047 กิโลกรัม/ชั่วโมง และโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 6.36%

ตารางที่ 1 ค่าการทดสอบโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิม

ค่าที่พิจารณา	ค่าที่ได้
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	66 hour
ปริมาณน้ำที่ระเหยทั้งหมด	135.07 kg
อัตราการระเหยน้ำ	2.047 kg /hr
ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ	2.256 MJ/kg
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	666.40 kg
ปริมาณขี้เถ้า	64.65 kg
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	9.12 kg /hr
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง[1]	15.62 MJ/kg
พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง	9,399.335 MJ
พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้มะม่วง	304.70 MJ
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	69.59 MJ/kg $_{water}$
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	6.36 %

[1]ค่าความร้อนของขี้เลื่อยไม้มะม่วงที่ความชื้น 15%มาตรฐานเปียก

5.2 โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ไม้มะม่วงแกะสลักแบบต่างๆ จำนวน 16 ชนิด รวม 2,104 ชิ้น รวมน้ำหนักก่อนการอบแห้งเท่ากับ 1,180.76 กิโลกรัมและน้ำหนักหลังการอบแห้งเท่ากับ 851.13 กิโลกรัม รวมเป็นปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากไม้มะม่วงแกะสลักเท่ากับ 329.62 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งเป็นเวลารวม 49 ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เท่ากับ 6.73 กิโลกรัม/ชั่วโมง และโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 10.15 %

ตารางที่ 2 ค่าการทดสอบโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่

ค่าที่พิจารณา	ค่าที่ได้
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	49 hour
ปริมาณน้ำที่ระเหยทั้งหมด	329.622 kg

ตารางที่ 2ค่าการทดสอบโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่(ต่อ)

อัตราการระเหยน้ำ	6.727 kg /hr
ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ	2.256 MJ/kg
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	449.65 kg
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	9.177 kg /hr
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง[2]	18.96 MJ/kg
พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง	8,525.364 MJ
พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้มะม่วง	743.6 MJ
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	25.864 MJ/kg $_{water}$
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	10.15 %

[2]ค่าความร้อนของหัวไม้มะม่วงที่ความชื้น 15%มาตรฐานเปียก

5.3 ข้อมูลก๊าซไอเสียที่ปล่อยภายหลังการเผาไหม้ และปริมาณฝุ่น

ผลการตรวจวัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมเทียบกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่พบว่าสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จาก 4,784 ppm เหลือเพียง 9.24 ppm (ลดลง 99.81%) และยังสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองจาก 1,556.5 mg/m^3 เหลือเพียง 12 mg/m^3(ลดลง 99.23%) เมื่อเปิดระบบกำจัดฝุ่นและควันแบบสเปรย์น้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

ค่าของก๊าซไอเสีย	โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก	
	แบบดั้งเดิม	แบบใหม่
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	56.15	36.50
ปริมาณ O_2 (%)	17.96	20.23
ปริมาณ CO (ppm)	4,784	9.24
อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)	28.79	28.79

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

ค่าของก๊าซไอเสีย	โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก	
	แบบดั้งเดิม	แบบใหม่
ปริมาณฝุ่นเฉลี่ย (mg/m^3)	1,556.50	12

6. วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการวิเคราะห์มลภาวะและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลห้วยทราย อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ (ตารางที่ 1และตารางที่ 2) พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกันกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมกับโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่จาก 6.36% เป็น 10.15 % และยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจาก 4,784 ppm. เหลือเพียง 9.24 ppm.(ตารางที่3) ลดปริมาณฝุ่นจาก1,556.50 mg/m^3 เหลือเพียง 12 mg/m^3 (ตารางที่4) เนื่องจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่นั้นได้สร้างเครื่องดักควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลก่อนจะปล่อยสู่ธรรมชาติอีกด้วย

7.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมพบว่ามีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 6.36 % โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 9.12 kg/hr อัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ 2.047 kg/hr และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 69.59 MJ/kg $_{water}$ ซึ่งในระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์โรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เท่ากับ 4,784 ppm.ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ที่ 40 ppm และปริมาณฝุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 1,556.50 mg/m^3 ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ที่ 320 mg/m^3 และจากการศึกษาโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่พบว่าเตามีประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 10.15 % (ดีกว่าเดิม 3.784 %) และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 9.177 kg/hr อัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ 6.727 kg /hr และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 25.864 MJ/kg $_{water}$ และปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 9.24 ppm. (ลดลง 4,774.76 ppm หรือ 99.81%) และปริมาณฝุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 12 mg/m^3 (ลดลง 1,544.50 mg/m^3 หรือ 99.23%)

ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบใหม่ได้เพิ่มขึ้นจากโรงอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักแบบดั้งเดิมจาก 6.36 % เป็น10.15 %แต่ก็ถือว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ค่อนข้างต่ำอยู่ ดังนั้นจึงควรพัฒนาระบบการอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลักอีกต่อไป

8.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Propulsion and Aerodynamics Research and Applications Laboratoryคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (ERC-MJU) รวมถึงบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

9. เอกสารอ้างอิง

[1] จักราวุฒิ เตโช, สัมพันธ์ ไชยเทพ, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ธเนศ ไชยชนะ. 2553. การพัฒนาระบบอบแห้งไม้มะม่วงแกะสลัก โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล (DEVELOPMENT OF MANGO WOOD-CARVING DRYING SYSTEM USING HEAT EXCHANGER FROM BIOMASS FUEL). การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานและมวลในอุปกรณ์ต้านความร้อนครั้งที่ 9.(11 – 12 มีนาคม) ณ โรงแรมปัตตาเวีย รีสอร์ทแอนด์สปา อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์,จัดโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ หน้า 52 – 56

[2] เสกสรรค์ สุทธิสงค์. 2549. การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[3] ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ ธเนศ ไชยชนะ. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัย ถ่ายทอดการเพิ่มผลิตภาพ และการประหยัดพลังงานในการประกอบการ. พลังงานจังหวัดเชียงใหม่ร่วมกับศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[4] ไพรัช กล่ำมาศ. 2548. การพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์ขนาดห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. โครงการส่งเสริมการสร้างตำรา คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี

[6] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม(2552). ที่มา:www.oie.go.th/industrystatus/r_s45_46/s45_46_9_4.doc(2552).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	นายจักราวุฒิ เตโช
วัน เดือน ปี เกิด	21 มิถุนายน 2527
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนจักรคำคณาทร จังหวัดลำพูน ปีการศึกษา 2545
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร (เครื่องกล) มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2550
	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2554