



**การผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน
Hot Air Generator Using Biomass Gas Stove For Small Drying Process**

ศุภันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์* สมมาศ แก้วล้วน และอารี น้อยสำราญ

**งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการได้รับทุนจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปี 2558**

**คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
พ.ศ. 2558**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชีวมวล	4
2.2 องค์ประกอบของชีวมวล	5
2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ	5
2.4 เตาชีวมวล	7
2.5 การอบแห้ง	9
2.6 ความชื้นในวัสดุ	10
2.7 วิธีการหาปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร	11
2.8 การถ่ายเทความร้อน	13
2.9 คุณสมบัติอากาศชื้น	14
2.10 ความชื้นสมดุล	17
2.11 หลักการทำงานของระบบสลับทิศทางการไหล	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 ความต้านทานในท่อ	20
2.13 ชนิดฉนวน	25
2.14 การเลือกฉนวนความร้อน	28
2.15 อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ	30
2.16 อัตราการไหลของอากาศ	35
2.17 กฎของพัคคัม	36
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	40
3.1 หลักในการออกแบบ	40
3.2 ขั้นตอนในการออกแบบ	41
บทที่ 4 ผลการทดลอง	55
4.1 การออกแบบและสร้างระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล	55
4.2 การออกแบบระบบจ่ายลมเข้าเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล	57
4.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง	61
4.4 ผลการทดลอง	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารอ้างอิง	77
ภาคผนวก	79
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของเครื่องผลิตลมร้อน	80
ภาคผนวก ข เอกสารการเผยแพร่งานวิจัย	86
ประวัติผู้ทำวิจัย	95

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เตาชีวมวล	7
2.2 การทำงานของเตาชีวมวล	8
2.3 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง	10
2.4 ไซโครเมตริกชาร์ท	16
2.5 กระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้น	17
2.6 ทิศทางการไหลของลมร้อน	20
2.7 Moody Diagram	22
2.8 พัฒนแบบไหลตามแกน	31
2.9 พัฒนแบบเหวี่ยง	32
2.10 ใบพัดโค้งหลัง	33
2.11 ใบพัดโค้งหน้า	34
3.1 พัฒนสำหรับพาความร้อน	40
3.2 ระบบสลับทิศทางการไหลของอากาศ	42
3.3 ท่อตรง	43
3.4 ข้องอ	45
3.5 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อ	46
4.1 โครงสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	56
4.2 ตู้อบลมร้อน (ด้านข้าง)	57
4.3 ตู้อบลมร้อน (ด้านหน้า)	57
4.4 ชั้นตะแกรงสำหรับวางอาหารที่อบแห้ง	58
4.5 ระบบสลับทิศทางการไหลของอากาศ	58
4.6 การออกแบบท่อทางเดินของของไหล	59
4.7 ทิศทางการไหลของลมร้อน	60
4.8 เตาชีวมวล	60
4.9 พัฒนคู่อากาศคู่ความร้อนเข้ามาไหลผ่านท่อทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น	61
4.10 มะม่วงกวนจากโรงงาน	62
4.11 มะม่วงกวนจัดวางในหลุม	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 มะม่วงกวนหยอดไส้ธัญ	63
4.13 ชั้นวางของรถเข็น	63
4.14 มะม่วงกวนไส้คั่วอบแห้ง	64
4.15 สายเทอร์โมคัปเปิลเปิดต่อกับ Data Logger	64
4.16 ลักษณะมะม่วงกวนที่อบในช่วงเวลาที่ 5-10	66
4.17 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวลเป็นมุม 90 องศา	71
4.18 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวลเป็นมุม 45 องศา	72
4.19 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวล	72
4.20 การทดลองอบมะม่วงกวน	73
4.21 การใช้เชื้อเพลิงของเตาชีวมวล โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศไหลเข้าที่มุมต่างๆ ที่เวลาเท่ากันคือ 1 ชั่วโมง	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย	6
2.2 ค่าแฟกเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ	21
2.3 ความดันรวมที่สูญเสียที่ข้ออแบบต่างๆ	23
2.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด	24
2.5 ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลมโดยประมาณสำหรับพัดลมชนิดต่าง ๆ	36
4.1 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวล 90 องศา	67
4.2 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวล 45 องศา	68
4.3 การทดลองตู้อบเป่า โดยที่ปิดวาล์วอากาศไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาชีวมวล	69
4.4 การทดลองอบมะม่วงกวน	70
4.5 การใช้เชื้อเพลิงของเตาชีวมวล โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศไหลเข้าที่มุมต่างๆ ที่เวลาเท่ากันคือ 1 ชั่วโมง	71
4.6 ข้อมูลน้ำหนักมะม่วงกวน 1 ชิ้น ที่ได้หลังจากทำการอบแห้ง	71

รายการอธิบายสัญลักษณ์

		หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m ²
a	ด้านของสี่เหลี่ยมผืนผ้า	m
BHP	กำลังงานที่ให้กับแกนของพัดลม	BHP
b	ด้านของสี่เหลี่ยมผืนผ้า	m
C	สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ช่องอ	-
C _p	ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	kJ/kg · k
d	น้ำหนักมวลแห้ง	kg
f _D	แฟกเตอร์ความเสียดทาน	-
h	เอนทัลปี	kJ/kg
h	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	kg/m ² °C
h _{fg}	ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ	kJ/kg
k	ค่าการนำความร้อนของวัสดุ	-
L	ความยาว	m
M _d	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง	%d.b.
M _w	เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก	%d.b.
ME	ประสิทธิภาพเชิงกล	-
m	มวลของวัสดุ	kg
P _v	ความดันไอ	Pa
P _t	ความดันรวม	Pa
ΔP	ความดันสูญเสีย	Pa
Q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร	m ³ /h
Q	ความร้อน	J
\bar{Q}	การคำนวณภาระความร้อน	kW
Re	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	-
T	อุณหภูมิ	K
ΔT	ค่าผลต่างอุณหภูมิ	K

รายการอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

		หน่วย
T_{∞}	อุณหภูมิของของไหล	K
T_s	อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ	K
T_{db}	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	$^{\circ}\text{C}$
T_{wb}	อุณหภูมิกระเปาะเปียก	$^{\circ}\text{C}$
t	เวลา	s
V	ความเร็ว	m/s
V_{max}	ความเร็วเฉลี่ยสูงสุด	m/s
V_A	ความเร็วของอากาศ	m/s
V_r	ปริมาตรห้องอบแห้ง	m^3
w	น้ำหนักมวลเปียก	kg
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	kg/m^3
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
ε	การแผ่รังสีความร้อน-โบลทซ์มันน์	-
\emptyset	ความชื้นสัมพัทธ์	%

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับความเอื้อเฟื้อในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและการประสานงานในการดำเนินงานของโครงการฯ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์ สำหรับคำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัย และสำหรับความอนุเคราะห์ในการเข้าเยี่ยมชมระบบตู้อบแห้งชีวมวลพลังงานความร้อนร่วมในศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณไพศาล นาคสุข ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัท เค-เอส-พีริเมียร์โปรดักส์ จำกัด อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำหรับการสร้างระบบการผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับกระบวนการผลิตภัณฑ์ชุมชน

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณบัณฑิต พงษ์ เอื้ออำนวย สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกและการประสานงานในการดำเนินงานของโครงการฯ

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัย งบประมาณแผ่นดิน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2558

อาจารย์สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์
อาจารย์ ดร.สมมาศ แก้วล้วน
อาจารย์อารี น้อยตำราญ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีผลิตผลทางการเกษตรหลากหลายชนิด เป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก แม้ว่าบางปีผลผลิตจะมีปริมาณลดไปบ้างก็ตาม แต่ก็ยังคงมีแนวโน้มที่จะขยายตัวมากยิ่งขึ้น(สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ, 2539) การนำเอากระบวนการอบแห้งมาใช้จะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตรบางชนิด จึงเป็นแนวทางที่จะตอบสนองความต้องการใช้ผลิตผลทางการเกษตรของภาคอุตสาหกรรม และการส่งออกผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้น โดยการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นภายใต้สภาวะที่ควบคุมเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ซึ่งโดยปกติแล้วผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่ นั้น มีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย ลดปริมาณ ลดน้ำหนัก และยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การอบแห้งนั้นถือเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมาก แต่การวางแผนดำเนินการอบแห้ง (Drying strategy) ภายใต้สภาวะอากาศและเงื่อนไขที่กำหนด ก็ถือเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง เพื่อให้ได้วิธีการดำเนินการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้การพิจารณาแหล่งพลังงานสำหรับการอบแห้งก็ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นเช่นกัน ซึ่งทางกลุ่มผู้ศึกษาได้พิจารณานำเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อสนองต่อความต้องการของชุมชนในการลดต้นทุนด้านพลังงาน ซึ่งปัจจุบันมีการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง อีกทั้งยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ทางกลุ่มผู้วิจัยได้เข้าไปสำรวจและศึกษาข้อมูลเครื่องอบแห้งของชุมชน (กลุ่มอบแห้งกล้วย) พบว่า การอบแห้งของชุมชนดังกล่าวใช้เชื้อเพลิง LPG ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้ อีกทั้งลักษณะของเครื่องอบแห้งมีการกระจายลมที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ การอบแห้งต้องมีการพลิกกลับผลิตภัณฑ์ใน

ระหว่างอบ ซึ่งต้องทำการเปิดตู้อบเพื่อดำเนินการดังกล่าว จึงเป็นเหตุให้กระบวนการอบแห้งมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลาและเกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเปิดตู้อบดังกล่าวด้วย

ราคาก๊าซ LPG สำหรับภาคครัวเรือน และวิสาหกิจชุมชน เป็นราคาที่เบียดเบียนจากราคาที่แท้จริงเนื่องจากมาตรการพยุงราคาตามนโยบายของรัฐบาล อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งประเทศไทยจะเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน หรือ AEC (Asian Economic Community) ทำให้ประเทศไทยต้องปรับราคาก๊าซ LPG (วิชัย พรกิตติวัฒน์, 2555) ให้สะท้อนต้นทุนที่แท้จริงและใกล้เคียงกับประเทศในกลุ่มอาเซียน เพื่อหลีกเลี่ยงจากผลกระทบจากการปรับราคา LPG จึงมีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดต้นทุนค่าใช้จ่าย

ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการอบแห้งและการใช้เตาชีวมวลโดยใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ร่วมกับการใช้ระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลในการสลับทิศทางการไหลของความชื้น ซึ่งการใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง จะช่วยลดต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลยังช่วยให้อบกล้วยได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น

ระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหล จะทำหน้าที่สลับทิศทางการไหลของลมร้อน ลมร้อนจะทำหน้าที่ลดความชื้นจากผลิตผล ทำให้ความชื้นระเหยออกมาและพัดออกไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลนั้นจะมีลมร้อนหมุนเวียนอยู่ในระบบตลอดเวลา

นอกจากนี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร คือ กลิ่น สี และเนื้อของผลิตผล ซึ่งต้องเป็นไปตามความต้องการของตลาด ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผลดังกล่าวได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล

1.2.2 เพื่อออกแบบระบบจ่ายลมเข้าเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล

1.2.3 เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนร่วมกับระบบผลิตลมร้อน

ด้วยเตาชีวมวลและระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลขนาด 40 kW
- 1.3.2 ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร(ไม้ฟืน)เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาชีวมวล
- 1.3.3 วัตถุประสงค์สำหรับการทดสอบการอบแห้ง คือ มะม่วงกวน
- 1.3.4 เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนร่วมกับระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลและระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลกับเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิม
- 1.3.5 ให้สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของความร้อนของเตาอบได้ง่ายและสะดวกในการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลไปใช้ประโยชน์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
- 1.4.2 สามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องอบแห้งด้วยการนำระบบสลับทิศทางการไหลของลมร้อนมาประยุกต์ใช้ได้
- 1.4.3 สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานสำหรับกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของเกษตรกรชุมชนและอุตสาหกรรม
- 1.4.4 เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรจากมาตรการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มสมรรถนะของระบบอบแห้ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีวมวล

ชีวมวลคือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์มได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลังได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออกกาบและกะลามะพร้าวได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออก เพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าวเป็นต้น ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้เพราะในขั้นตอนของการเจริญเติบโตนั้นพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแล้วเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ออกมาเป็นแป้งและน้ำตาล แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิง เราก็จะได้พลังงานออกมา การใช้ประโยชน์จากพลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบของพลังงานความร้อน ไอน้ำหรือผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งทีกล่าวมาข้างต้นหรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ชีวมวลจึงเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูกหากมีการใช้ประโยชน์ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงมากนั้นก็ลดต้นทุนในการขนส่งชีวมวลที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยการนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงและสร้างรายได้ให้กับคนท้องถิ่นนอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจกเนื่องจากการปลูกทดแทนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและไม่มีการปลดปล่อยเพิ่มเติมเรายังมุ่งหวังว่าการพัฒนาโครงการเกี่ยวกับชีวมวลจะสามารถเสริมสร้างความเข้มแข็งและการมีส่วนร่วมของชุมชนได้อีกด้วย (ธเนศ อุทิศธรรมและคณะ, 2550)

2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

องค์ประกอบของชีวมวลหรือสสารทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

2.2.1 ความชื้น (Moisture) ความชื้นหมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ชีวมวลส่วนมากจะมีความชื้นค่อนข้างสูงเพราะเป็นผลผลิตทางการเกษตร ถ้าต้องการนำชีวมวลเป็นพลังงานโดยการเผาไหม้ ความชื้นไม่ควรเกิน 50 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) ส่วนที่เผาไหม้ได้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Volatiles matter คือส่วนที่ถูกเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles matter สูงแสดงว่าติดไฟได้ง่ายและ Fixed Carbon คือส่วนที่ให้ค่าความร้อน ยิ่งมีค่ามากความร้อนยิ่งสูง

2.2.3 ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้คือขี้เถ้า (Ash) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณ 1 -3 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณ 10 -20 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีปัญหาในการเผาไหม้และกำจัดพอสมควร (กฤษพนธ์เพ็ญศรี, 2546)

2.3 กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ

2.3.1 การเผาไหม้โดยตรง (combustion) เมื่อนำชีวมวลมาเผาจะได้รับความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวลความร้อนที่ได้จากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไอน้ำนี้จะถูกนำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไปตัวอย่างชีวมวลประเภทนี้คือเศษวัสดุทางการเกษตรและเศษไม้ (วรณูช แจงสว่าง, 2551)

2.3.2 การผลิตก๊าซ (gasification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงเรียกว่าแก๊สชีวภาพ (biogas) มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทน ไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถนำไปใช้กับกังหันแก๊ส (gas turbine)

2.3.3 การหมัก (fermentation) เป็นการนำชีวมวลมาหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศชีวมวลจะถูกย่อยสลายและแตกตัวเกิดแก๊สชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบของแก๊สมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า

2.3.4 การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืชมีกระบวนการที่ใช้ผลิตดังนี้

2.3.4.1 กระบวนการทางชีวภาพทำการย่อยสลายแป้งน้ำตาล และเซลลูโลสจากพืชทางการเกษตรเช่น อ้อย มันสำปะหลัง ให้เป็นเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์เบนซิน

2.3.4.2 กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีโดยสกัดน้ำมันออกจากพืชน้ำมันจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปผ่านกระบวนการ transesterification เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล

2.3.4.3 กระบวนการใช้ความร้อนสูงเช่นกระบวนการไพโรไลซิสเมื่อวัสดุทางการเกษตรได้รับความร้อนสูงในสภาพไร้ออกซิเจนจะเกิดการสลายตัวเกิดเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบของเหลวและแก๊สผสมกัน (วรรณช แจงสว่าง, 2551)

ตารางที่ 2.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิดในประเทศไทย

ชนิด	วัสดุเหลือใช้	ค่าความร้อน (MJ/kg)
อ้อย	ชานอ้อย	14.40
	ยอดและใบ	17.39
ข้าว	แกลบ	14.27
	ฟางข้าว	10.24
น้ำมันปาล์ม	ทะลายปาล์ม	17.86
	เส้นใย	17.62
	กะลา	18.46
	ก้านทาง	9.83
	ทะลายตัวผู้	16.33
มะพร้าว	เปลือก	16.23
	กะลา	17.93
	ทะลาย	15.40
	ทาง	16.00
มันสำปะหลัง	ต้น	18.42
ข้าวโพด	ชัง	18.04
ถั่วลิสง	เปลือก	12.66
ถั่วเหลือง	ลำต้นและใบ	19.44
ข้าวฟ่าง	ใบและต้น	19.23
เศษไม้	กิ่งก้าน	14.98

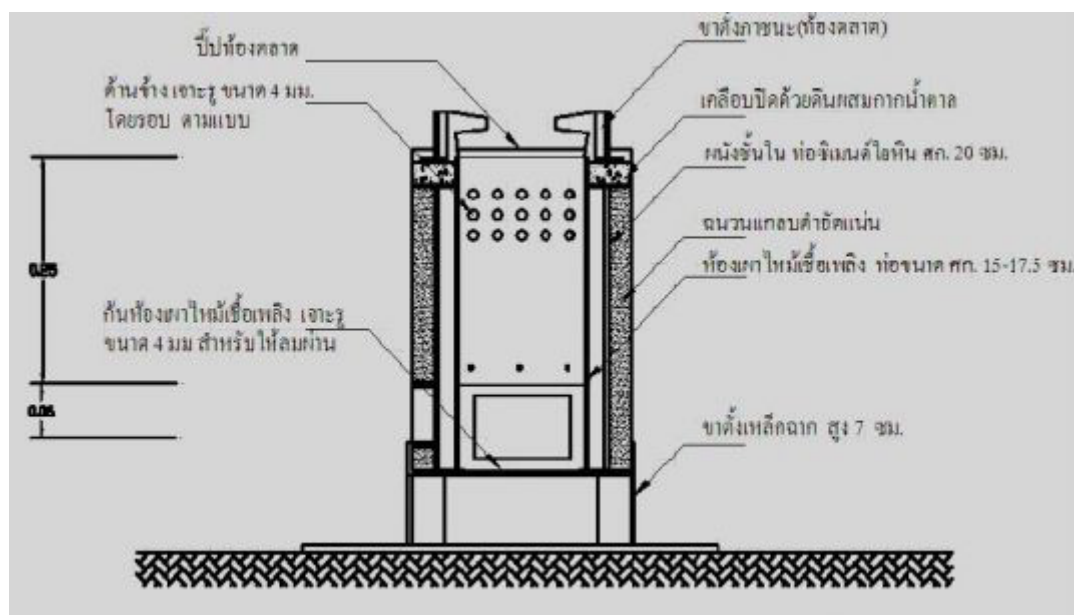
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, 2547

2.4 เตาชีวมวล

เตาชีวมวลเป็นเตาที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับการหุงต้มในครัวเรือน โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล แบบอากาศไหลขึ้น (Updraft Gasifier) ซึ่งเป็นการเผาไหม้ในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วน โดยความร้อนเหล่านี้จะไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่นๆเพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งกลายเป็นแก๊ส

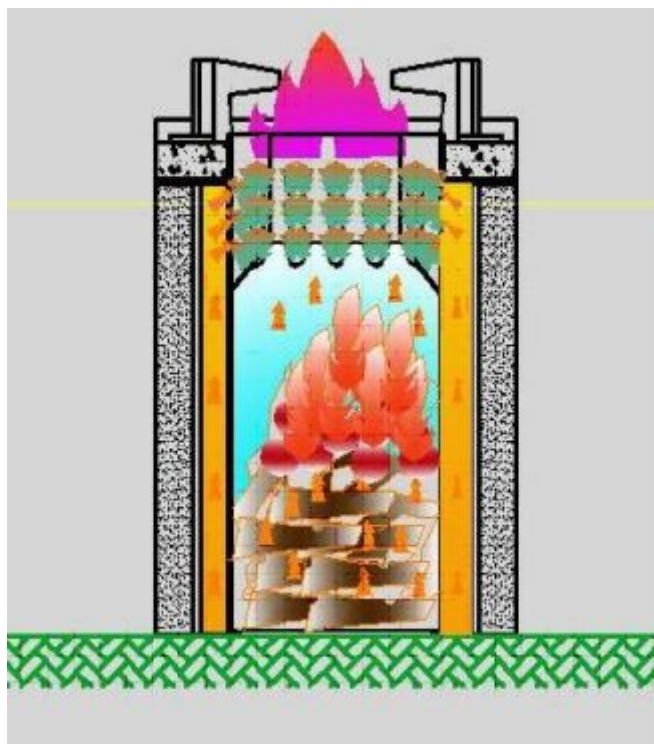
2.4.1 หลักการทำงาน

เชื้อเพลิงจะถูกใส่ด้านบนของเตา อากาศไหลผ่านเข้าตะแกรงเตาด้านล่างบริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไป จะเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ที่มีอุณหภูมิสูงไหลเข้าสู่ Reduction Zone ที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่จำนวนมากและอุณหภูมิสูงมากกว่า 400 องศาเซลเซียส บริเวณนี้คาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนอุณหภูมิสูงได้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทน ซึ่งก๊าซเหล่านี้สามารถติดไฟได้แต่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นมาน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้



รูปที่ 2.1 เตาชีวมวล

(ที่มา : technology.thaiza.com/เตาแก๊สชีวมวลปีบ/312181/)



รูปที่ 2.2 การทำงานของเตาชีวมวล

(ที่มา : technology.thaiza.com/เตาแก๊สชีวมวลปีบ/312577/)

2.4.2 ลักษณะเด่น

- 2.4.2.1 ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าธรรมดา
- 2.4.2.2 เวลาการเผาไหม้นานกว่าธรรมดา
- 2.4.2.3 เวลาในการประกอบอาหารเร็วกว่าเตาธรรมดา
- 2.4.2.4 สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ชังข้าว โปด
กะลามะพร้าว ฯลฯ เป็นเชื้อเพลิงได้
- 2.4.2.5 ไม่มีควันและกลิ่นรบกวนขณะประกอบอาหาร
- 2.4.2.6 มีช่องเติมเชื้อเพลิง

2.5 การอบแห้ง

2.5.1 การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลานาน ประโยชน์ของการอบแห้งอาจสรุปได้ตามความสำคัญดังต่อไปนี้ (ชนากานต์ อาสาสุจริต, 2538)

2.5.1.1 เพื่อการถนอมรักษาอาหาร อาหารที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

2.5.1.2 เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก อาหารที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง

2.5.1.3 เพื่อช่วยให้กระบวนการการผลิตดีขึ้น ในกรณีนี้อาจจะไม่จริงเสมอไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตนั้นๆ

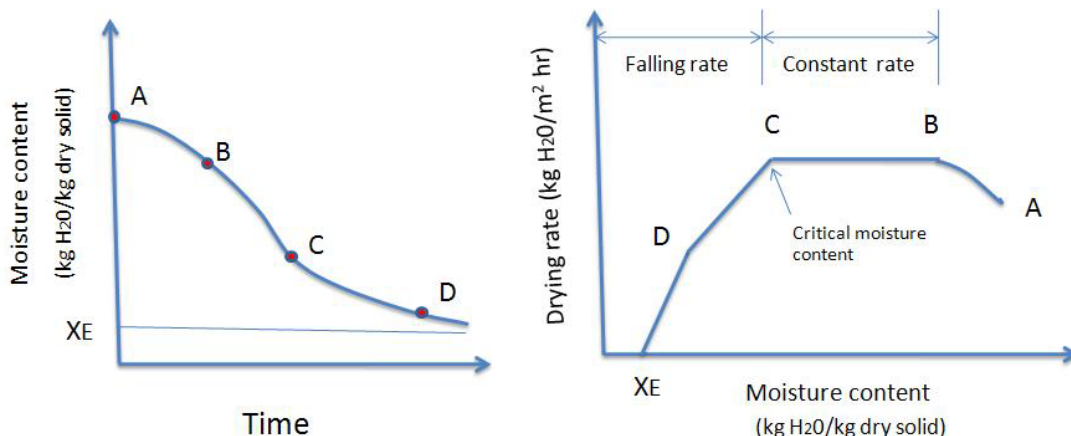
2.5.2 พื้นฐานการอบแห้งวัสดุจากสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่มีโครงสร้างภายในที่ซับซ้อนและบ่อยครั้งจะกล่าวคลุมๆ ว่าเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งก็เป็นการกล่าวโดยทั่วไป เพื่อประโยชน์ทางทฤษฎีจึงนิยมที่จะแบ่งการอบแห้งวัสดุโดยทั่วไปได้เป็น 2 ช่วงคือ

2.5.2.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

ปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ

2.5.2.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลว (วิวัฒน์ตัญจะพานิชกุล, 2548)



รูปที่ 2.3 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง

(ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0663/drying-rate>)

จากกราฟอธิบายถึงกระบวนการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลงได้ดังนี้

จุด A เป็นการเริ่มต้นอบแห้งและเมื่ออบต่อไปจนถึงจุด B จะพบว่าอัตราการอบแห้งจะคงที่ เรียกความชื้นที่จุด B ว่าค่าความชื้นวิกฤตและถ้าอบไปเรื่อยๆ ผ่านจุดวิกฤตไปตลอดจนถึงจุด C จะพบว่าอัตราการอบแห้งลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับช่วงแรกและยังต้องใช้เวลานาน (วิวัฒน์ทัศนทะพานิชกุล, 2548)

2.6 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

2.6.1 ความชื้นมาตรฐานเปียกคือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ M_w คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก
 w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น
 d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง

2.6.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ M_d คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

2.7 วิธีการหาปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชและอาหาร

การหาปริมาณความชื้นอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีตรงและวิธีอ้อม การเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นเป็นปัญหาที่สำคัญอันหนึ่ง เนื่องจากอาจได้ตัวอย่างที่ไม่ได้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมของเมล็ดพืชหรืออาหารทั้งหมด ควรเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่สามารถป้องกันมิให้เกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างตัวอย่างและอากาศก่อนที่จะทำการหาปริมาณความชื้น (ศิรินุช จินคารักษ์, 2548)

2.7.1 วิธีตรง

2.7.1.1 การใช้ตู้อบ การหาปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชอาจกระทำได้โดยการใช้ตู้อบ ในกรณีแรกเมล็ดพืชจะถูกบดให้ละเอียดและใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในกรณีที่สอง นำเมล็ดพืชที่ไม่ต้องบดใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72-96 ชั่วโมง ตัวเลขที่กล่าวนี้เป็นเพียงข้อเสนอแนะเท่านั้น ความแตกต่างอาจเกิดขึ้นได้สำหรับมาตรฐานของแต่ละประเทศ รายละเอียดวิธีหาปริมาณความชื้นอาจหาได้จากมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (DEPPEN, 2003)

ในกรณีที่เมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะต้องแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ใส่ตัวอย่างเมล็ดพืชในตู้อบแห้งเพื่อให้ปริมาณความชื้นลดลงช่วงหนึ่งก่อน จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่มีความชื้นลดลงบ้างแล้วมาบดให้ละเอียดและอบให้แห้งต่อไป ปริมาณความชื้นในเมล็ดพืชสามารถคำนวณได้จากมวลของน้ำที่หายไป

การหาปริมาณความชื้นอาจกระทำได้โดยการใช้ตู้อบสุญญากาศ ตัวอย่างเมล็ดพืชจะถูกบดให้ละเอียดและใส่ไว้ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อจะสามารถหาปริมาณความชื้นได้อย่างถูกต้อง เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะถูกนำออกจากตู้อบและเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท (อาจมีตัวดูดความชื้นด้วย) เมื่อตัวอย่างเมล็ดพืชเย็นลงแล้วก็ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

สำหรับอาหารอื่นบางอย่างมีข้อแนะนำ ดังต่อไปนี้ นำอาหารนั้นมาบดให้ละเอียดและ
 กำหนดวิธีการดังต่อไปนี้

ผลไม้แห้งอบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชม. ในตู้อบสุญญากาศ

นมผงแห้งอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชม. ในตู้อบสุญญากาศ

กากน้ำตาลอบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชม. ในตู้อบสุญญากาศ

2.7.1.2 การกลั่นนี้ทำได้โดยใส่ตัวอย่างอาหารไว้ในน้ำมันแล้วทำให้ร้อน น้ำที่ระเหย
 ออกมาจะถูกทำให้เย็นลงและควบแน่น น้ำส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร

วิธีการกลั่นแบบ Brown – Duvel เป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ในกรณี
 ของข้าวใช้ตัวอย่างข้าว 100 g ใส่ไว้ในน้ำมัน 150 ml และทำให้ร้อน สำหรับข้าวเปลือกจะต้องร้อน
 ที่ประมาณ 190 องศาเซลเซียส และสำหรับข้าวสารที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส น้ำที่ระเหย
 ออกมาจะไหลไปตามท่อและถูกทำให้เย็นลงและควบแน่น วิธีนี้จะใช้เวลาประมาณ 30
 นาที(Henderson and Perry, 1974)

2.7.2 วิธีอ้อม

การหาปริมาณความชื้นของวัสดุ อาจกระทำได้โดยการวัดคุณสมบัติวัสดุบางอย่างซึ่ง
 ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น เช่น ความต้านทานทางไฟฟ้า หรือ คุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก
 (dielectric)

วิธีนี้ เป็นวิธีที่สามารถทำได้รวดเร็ว อาจใช้เวลาเพียง 1 นาที เท่านั้น ข้อเสียคือ ปริมาณ
 ความชื้นที่หาได้อาจจะไม่ถูกต้องนัก นอกจากนี้คุณสมบัติเหล่านี้ยังแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิและ
 ความหนาแน่นของการบรรจุได้ด้วย เครื่องมือเหล่านี้ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องเป็นครั้ง
 คราวแม้ว่าการวัดความชื้นโดยวิธีอ้อมจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างแต่ก็เป็นที่ยอมรับกันในวงการค้า
 ทั่วไป เนื่องจากทำได้รวดเร็ว ไม่ต้องรอเป็นเวลาหลายชั่วโมงหรือเป็นวันดังเช่นกรณีการใช้ตู้อบ

2.8 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนจากจุดต่างๆ จากจุดหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกันคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น

2.8.1 การนำ

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่าน โมเลกุลของสสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง (สำเร็จ จักรใจ, 2547)

$$Q = -ka \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

Q	คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน
A	คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน
$\frac{dT}{dx}$	คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อระยะทาง
K	คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ

2.8.2 การพา

การพา คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือ เป็นตัวพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล การพาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

1) การพาโดยบังคับ (Force Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและผิวของของไหล โดยที่ของไหลจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือเครื่องสูบน้ำ

2) การพาตามธรรมชาติ (Natural or Free Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดมาทำให้ของไหลเคลื่อน แต่ของไหลจะ

เคลื่อนที่ได้เอง โดยอาศัยแรงลอยตัวที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุด 2 จุด โดยจะมีการถ่ายเทของอุณหภูมิจากที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

สมการสำหรับการคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพา คือ

$$Q = h'A(T_{\infty} - T_s) \quad (2.4)$$

$$Q = \text{อัตราการนำความร้อน}$$

$$h' = \text{สัมประสิทธิ์การพาความร้อน}$$

$$T_{\infty} = \text{อุณหภูมิของของไหล}$$

$$T_s = \text{อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ}$$

2.8.3 การแผ่รังสี

การถ่ายเทความร้อนเกิดจากการแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นในสถานะที่เป็นสุญญากาศรวม เช่นเดียวกับกรณีที่เกิดขึ้นในตัวกลางชนิดหนึ่ง ผลที่ได้จากการทดลองได้พิสูจน์ให้เห็นว่า อัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ที่ยกกำลังสี่

$$Q = \sigma AT^4 \quad (2.5)$$

ตัวแผ่รังสีออกเชิงอุดมคติ (Ideal emitter) หรือ วัตถุดำ (Black body) จะมีการส่งถ่ายพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสี ซึ่งไม่เป็นไปตามสมการด้านบน ตามปกติแล้วผิวของวัตถุทุกชนิดจะมีการแผ่รังสีออก (Emit) จากผิวของวัตถุโดยส่วนใหญ่จะสามารถแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$Q = \epsilon \sigma AT^4 \quad (2.6)$$

เมื่อ ϵ คือค่าความสามารถในการแผ่รังสีออกของผิวของวัตถุมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

2.9 คุณสมบัติอากาศชื้น

ความดันไอ (P_v) คือส่วนของความดันย่อยที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศชื้น ถ้าอากาศนี้อิ่มตัวด้วยไอน้ำ เรียกความดันไอนี้ว่าความดันไออิ่มตัว ค่าความดันไออิ่มตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ (ϕ) คืออัตราส่วนของความดันของไอน้ำในอากาศต่อความดันของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 0–1

$$\phi = \frac{P_v}{P_a} \quad (2.7)$$

ความชื้นจำเพาะหรืออัตราส่วนความชื้น (W) คืออัตราส่วนของมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้งที่ปริมาตรเดียวกัน

$$W = \frac{M_v}{M_d} \quad (2.8)$$

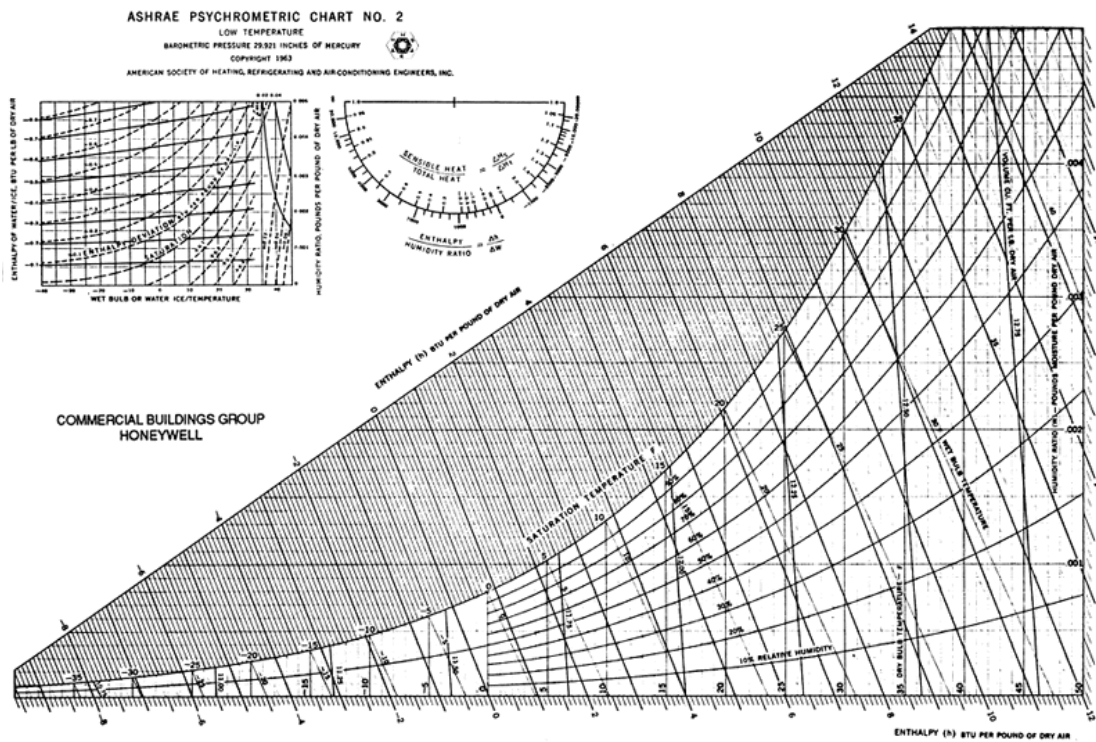
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T) คืออุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชี้บอกโดยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) คืออุณหภูมิของอากาศชื้นที่ชี้บอกโดยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้ากอสเปียก และมีลมเป่าผ่านกระเปาะด้วยความเร็วอย่างด้วย 4.6 m/s T_{wb} นี้ เรียกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเชิงไซโครเมตริก

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) คือ อุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้นและความดันบรรยากาศคงที่

เอนทัลปี (h) เอนทัลปีของอากาศชื้น คือ ค่าปริมาณความร้อนของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้ง

ปริมาตรจำเพาะ (V) ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น คือ ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง

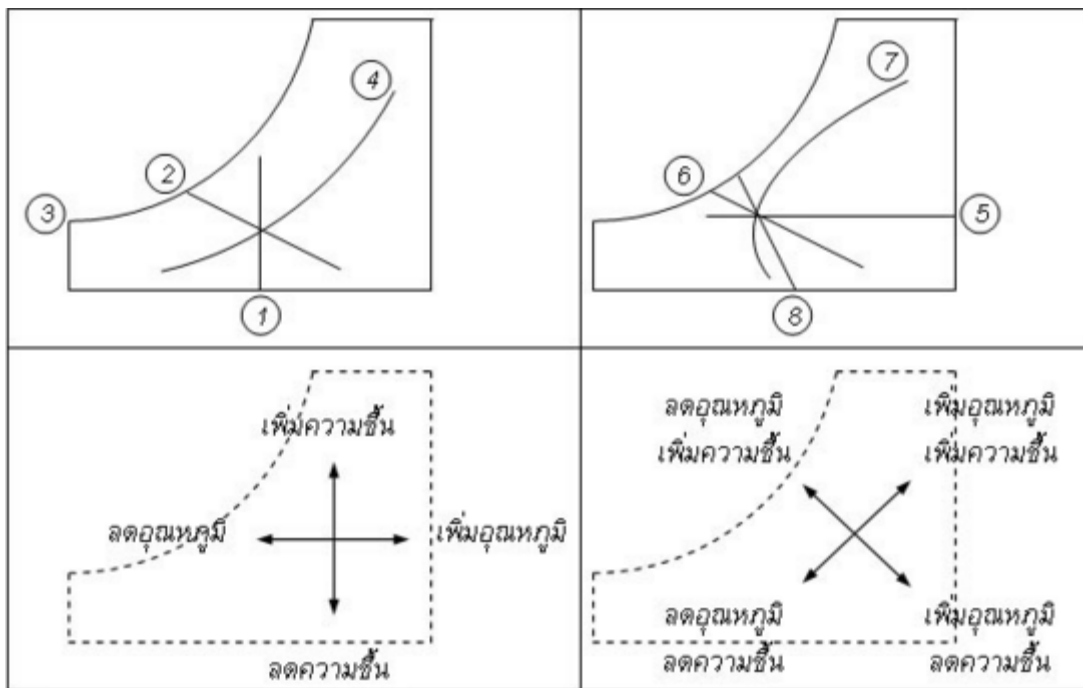


รูปที่ 2.4 ไชโครเมตริกชาร์ท

(ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0573/psychrometric-chart>)

ไชโครเมตริกชาร์ท (Psychometric chart) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew – point temperature) อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio) ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และเอนทัลปี

ในการอบแห้งของตู้อบอากาศร้อนไหลผ่านวัสดุที่ต้องการอบ ความร้อนจากอากาศร้อนจะทำให้ความชื้นในวัตถุกกลายเป็นไอน้ำระเหยออกมา ขบวนการที่เกิดขึ้นเป็นขบวนการเอนโทรปีคงที่ (Adiabatic drying process) จะทำให้อุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้งในตู้อบลดลงในขณะที่อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบจะสูงขึ้น โดยความดันไอ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง เอนทัลปี และอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่



รูปที่ 2.5 กระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้น

(ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source/>)

กระบวนการอบแห้ง

ขณะที่อากาศไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดความชื้น จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างอากาศและผลิตภัณฑ์ โดยที่อากาศจะมีอุณหภูมิลดลงแต่อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น กระบวนการดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของอากาศขึ้นน้อย จนเรามักจะสมมติกันว่าเอนทัลปีของอากาศชื้นไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการอบแห้งบนแผนภูมิอากาศชื้น

2.10 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อการศึกษากระบวนการอบแห้ง เพราะ เมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ (เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆด้วย เราเรียก

ความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.10.1 วิธีการหาความชื้นสมดุล

การหาความชื้นสมดุลของวัสดุมีอยู่หลายวิธี ข้อมูลที่มีอยู่แล้วส่วนใหญ่ได้มาจากการทำให้เกิดความสมดุล ระหว่างความดันไอและอุณหภูมิของวัสดุและของอากาศแวดล้อม โดยการปล่อยให้วัสดุนั้นสัมผัสกับอากาศแวดล้อมที่สถานะคงที่เป็นระยะเวลานานพอ ถ้าอากาศไม่มีการเคลื่อนไหว เราเรียกวิธีเชิงสถิต ถ้ามีการไหลของอากาศแวดล้อม เราเรียกวิธีเชิงจลน์ วิธีหลังมีข้อดีคือวัสดุและอากาศแวดล้อมจะเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าวิธีแรก ทำให้เหมาะกับวัสดุที่มีความชื้นสูงซึ่งถ้าปล่อยให้เวลานานเกินไปวัสดุนั้นอาจเกิดความเสียหายโดยเชื้อรา ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาดไป (ศิรินุช จินดารักษ์, 2548)

2.10.2 ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ

ความร้อนแฝงของการระเหยหมายถึง ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารจากของเหลวให้เป็นไอที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุอาหารจะมีค่าสูงกว่าน้ำที่อยู่อย่างอิสระ โดยเฉพาะเมื่อวัสดุนั้นมีความชื้นต่ำ

ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในวัสดุ

$$Q = M_w h_{fg} \quad (2.9)$$

โดยที่ M_w =มวลของน้ำในวัสดุ

h_{fg} =ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ

2.10.3 ความร้อนสัมผัส

ความร้อนสัมผัสคือ ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้วัสดุหนึ่งๆมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง โดยไม่ทำให้สถานะของวัสดุนั้นเปลี่ยนแปลงโดยมีสมการดังนี้

$$Q = mc_p\Delta T \quad (2.10)$$

m คือ มวลของวัสดุ

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

2.10.4 คุณสมบัติเชิงความร้อน

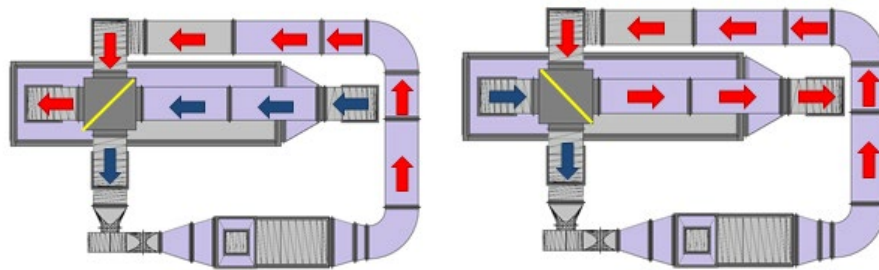
ความร้อนจำเพาะหมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยมวลมีอุณหภูมิสูงขึ้นหนึ่งองศา ที่ความดันหรือปริมาตรคงที่

2.10.5 ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\text{ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน} = \frac{\text{น้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้}}{\text{จำนวนเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง}} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง} \quad (2.11)$$

2.11 หลักการทำงานของระบบสลับทิศทางการไหล

เริ่มต้นด้วยการจุดไฟที่เตาชีวมวลจะได้เปลวไฟออกมา ความร้อนที่ได้จากเปลวไฟนี้จะทำให้อากาศที่พัดลมดูดอากาศดูดเข้ามาไหลผ่านท่อที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติไปเป็นประมาณ 70 องศาเซลเซียส อากาศร้อนก็จะไหลไปตามท่อไปเข้าระบบสลับทิศทางการไหล ระบบสลับทิศทางการไหลนี้สามารถปรับได้ว่าจะให้อากาศร้อนนั้นไหลไปในทิศทางใด (1) ปรับให้อากาศร้อนไหลเข้าสู่อบทางด้านบนตู้อบ ก็จะทำให้อากาศร้อนไหลเข้าไปในตู้อบทางด้านบนไหลผ่านผลิตภัณฑ์นำมาอบแห้ง ความร้อนจากอากาศร้อนก็จะถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ อากาศร้อนที่สูญเสียความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิลดลงแล้วจะไหลออกจากตู้อบทางด้านหลังตู้อบไหลกลับไปยังระบบสลับทิศทางการไหลอีกครั้งก่อนที่จะไหลเข้าพัดลมดูดอากาศ เพื่อนำอากาศนั้นมาให้ความร้อนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (2) ปรับให้ลมร้อนไหลเข้าสู่อบด้านหลังตู้อบและไหลออกทางด้านบนตู้อบ กระบวนการทำงานเหมือนเดิมทุกขั้นตอนต่างกันที่ทิศทางที่ลมร้อนเข้าและออกจากตู้อบทำ



รูปที่ 2.6 ทิศทางการไหลของลมร้อน
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

2.12 ความต้านทานในท่อ

2.12.1 ในท่อตรง

ในขณะที่อากาศไหลในท่อตรง ความดันที่สูญเสียส่วนใหญ่มาจากความเสียดทานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของ Darcy – Weisbach

$$\Delta P = f_D \left(\frac{L}{D}\right) P_V \quad (2.12)$$

เมื่อ	ΔP	คือความดันรวมที่สูญเสีย, Pa
	P_V	คือความดันความเร็ว, Pa
	f_D	คือแฟกเตอร์ความเสียดทาน
	L	คือความยาวท่อ, m
	D	คือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ, m

หากว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบ (ตัวเลขเรย์โนลด์, Re มีค่าน้อยกว่า 2,000) จะสามารถคำนวณค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานได้จาก

$$f_D = \frac{64}{Re} \quad (2.13)$$

ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน อาจใช้สมการของ Colebrook คำนวณหาแฟกเตอร์ความเสียดทาน สมการดังกล่าวเขียนได้ว่า

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{(Re) f_D^{1/2}} \right) \quad (2.14)$$

เมื่อ ϵ คือ แฟกเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ, mm (ดูได้จากตารางที่ 2)

เนื่องจากความยุ่งยากในการใช้สมการของ Colebrook ทำให้มีการสร้างแผนภาพ เพื่อใช้หาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน ซึ่งเราเรียกแผนภาพนี้ว่า Moody Diagram ดังรูปที่ 2.7

ถ้าใช้ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถใช้เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่าท่อกลม ซึ่งคำนวณจากสมการ

$$d = 1.265 \left[\frac{(ab)^3}{a+b} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (2.15)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางเทียบเท่า, m

a และ b คือ ด้านทั้งสองของสี่เหลี่ยมผืนผ้า, m

ความดันความเร็วสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$P_V = \left(\frac{V}{1.29} \right)^2 \quad (2.16)$$

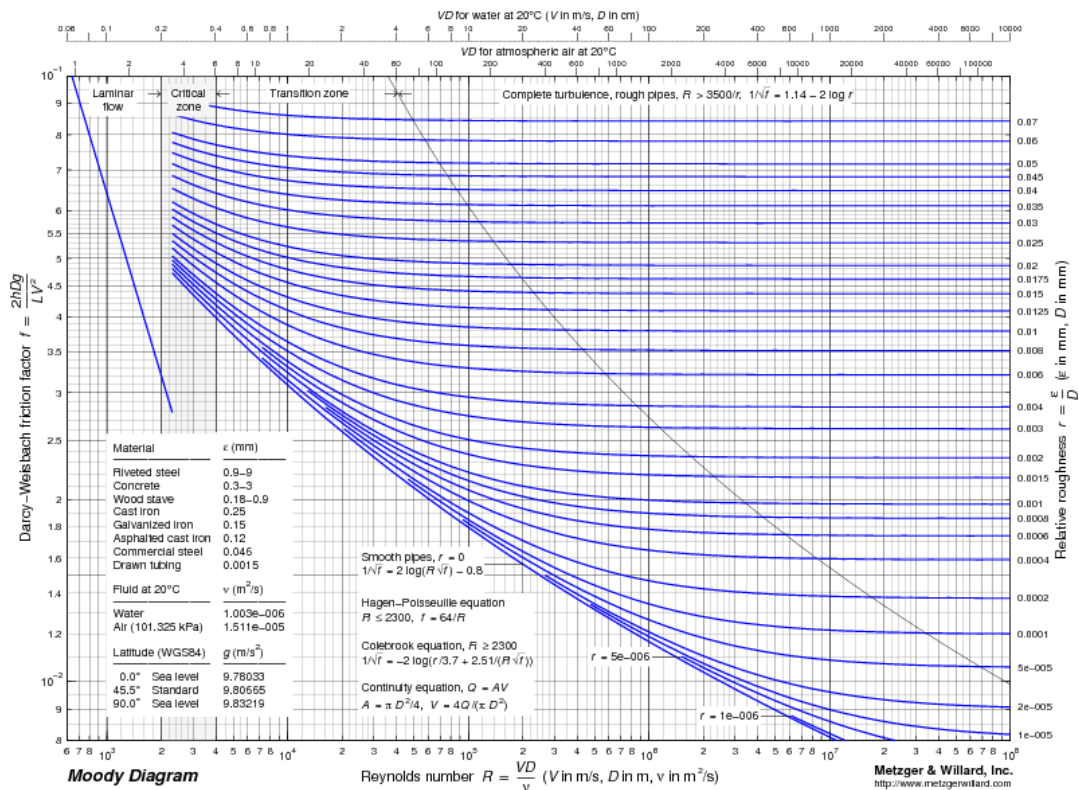
เมื่อ P_V คือความดันความเร็ว, Pa

V คือความเร็ว, m/s

ตารางที่ 2.2 ค่าแฟคเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ

ชนิดของท่อ	Roughness (R)	
	ft.	mm.
ท่อที่ได้จากการรีด ท่อทองเหลือง ท่อดีบุก หลอดแก้ว ท่อภายในที่เคลือบหรือฉาบด้วยบิโทมินัส ท่อซีเมนต์ที่หล่อโดยการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	0.000005	0.0015
ท่อเหล็กกล้าหรือท่อเหล็กเหนียวที่ขายในท้องตลาด	0.00015	0.046
ท่อเหล็กกล้าที่ขึ้นรูปโดยการเชื่อม	0.00015	0.046
ท่อเหล็กหล่อที่เคลือบหรือฉาบด้วยยางมะตอย	0.0004	0.12
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.00085	0.15
ท่อเหล็กหล่อ	0.0006 - 0.003	0.25
ท่อไม้	0.0006 - 0.003	0.18 - 0.9
ท่อคอนกรีต	0.001 - 0.01	0.3 - 3
ท่อเหล็กกล้าที่อำด้วยหมุด	0.003 - 0.03	0.9 - 9

(ที่มา : คณะวิศวกรรมอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549)



รูปที่ 2.7 Moody Diagram




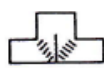

(ที่มา : <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/7747-moody-diagram>)

2.12.2 ในช่องอ

เมื่ออากาศไหลผ่านช่องอ ทิศทางการไหลของอากาศจะเปลี่ยนไป ความดันรวมที่สูญเสียที่ช่องส่วนใหญ่เกิดจากการสูญเสียเชิงจลน์ความดันที่สูญเสียในช่องแบบต่าง ๆ จะแสดงอยู่ในรูปของความยาวของท่อตรงที่จะทำให้เกิดการสูญเสียความดันเท่ากันต่อการสูญเสียต่อเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับท่อกลม (L/D) หรือต่อต้านของสี่เหลี่ยมสำหรับท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า (L/W) หรือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ช่อง (C) ดังแสดงในตารางที่ 3 ความดันที่สูญเสียในช่องจะอยู่ในรูปของความดันความเร็วที่หน้าตัดท่อย่างอง ซึ่งอาจจะสะดวกในเวลาคำนวณสำหรับบางกรณี โดยค่าความดันรวมที่สูญเสียในช่อง หาได้จากสมการ

$$\Delta P = (C)(P_V) \tag{2.17}$$

ตารางที่ 2.3 ความดันรวมที่สูญเสียที่ข้องอแบบต่างๆ

ชนิด	ตัวอย่าง	เงื่อนไข	การสูญเสียความดัน		
			c	L/D	L/H
มุม - N		สี่เหลี่ยมหรือกลม มีหรือไม่มีเวน	ข้อ กุญแจค่าของข้องอ 90°		
ข้องอ 90° หน้าตัดกลม		หักฉาก R/D = 0.5 0.75 1.0 1.5 2.0	1.30 0.90 0.45 0.33 0.24 0.19	65	
ข้องอ 90° หน้าตัดสี่เหลี่ยม		ห/ห			
		หักฉาก	1.25		25
		0.5	1.25		25
		0.25	0.75	0.60	12
			1.0	0.37	7
			1.5	0.19	4
		หักฉาก	1.47		49
		0.5	0.5	1.10	40
			0.75	0.50	16
			1.0	0.26	9
			1.5	0.13	4
		หักฉาก	1.50		75
1.0	0.5	1.00	50		
	0.75	0.41	21		
	1.0	0.22	11		
	1.5	0.09	4.5		
หักฉาก	1.38		110		
4.0	0.5	0.96	65		
	0.75	0.37	43		
	1.0	0.19	17		
	1.5	0.07	6		
สามทางแยก- หักฉากมีเวน		พิจารณาเหมือนกับข้องอโดยอ้างอิงถึงความเร็วขาเข้า			
สามทางแยก โค้ง					

(ที่มา : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/refrigeration_and_airconditioning/elearning/lesson4.html)

2.12.3 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อ

ที่บางตำแหน่งของท่ออาจจะมีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขวาง ตารางที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดแบบต่างๆ และให้ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณหาความดันรวมที่สูญเสียด้วย ความดันรวมที่สูญเสียโดยส่วนใหญ่เป็นการสูญเสียเชิงจลน์ เช่นเดียวกับกรณีของข้องอหรือท่อแยก

ตารางที่ 2.4 สัมประสิทธิ์การสูญเสียสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด

ชนิด	ตัวอย่าง	เงื่อนไข		สัมประสิทธิ์การสูญเสีย	
		A_1/A_2	C_1	C_2	
การขยาย ทันทีทันใด		0.1	0.81	81.00	
		0.2	0.64	16.00	
		0.3	0.49	5.00	
		0.4	0.36	2.25	
		0.5	0.25	1.00	
		0.6	0.16	0.45	
		0.7	0.09	0.18	
		0.8	0.04	0.06	
		0.9	0.01	0.01	
		การขยาย ค่อยเป็นค่อยไป		θ	
5°				0.17	
7°				0.22	
10°				0.28	
20°				0.45	
40°				0.73	
ทางออก ทันทีทันใด		$A_1/A_2 = 0$		$C_1 = 1.00$	
การลด ทันทีทันใด		A_2/A_1		C_2	
		0.0		0.34	
		0.2		0.32	
		0.4		0.25	
		0.6		0.16	
		0.8		0.06	
การลด ค่อยเป็นค่อยไป		θ			
		30°		0.02	
		45°		0.04	
		60°		0.07	
พื้นที่หน้าตัด เท่ากัน		$A_1 = A_2$		C_1 หรือ C_2	
		$\theta \leq 14^\circ$		0.15	

(ที่มา : http://mte.kmutt.ac.th/elearning/refrigeration_and_airconditioning/elearning/lesson4.html)

สำหรับการขยายแบบทันทีทันใด (Abrupt expansion)

$$\Delta P_t = C_1(V_1/1.29)^2 \quad (2.18)$$

สำหรับการขยายแบบค่อยเป็นค่อยไป (Gradual expansion)

$$\Delta P_t = C_r C_1(V_1/1.29)^2 \quad (2.19)$$

สำหรับการลดลงของพื้นที่หน้าตัด

$$\Delta P_t = C_2(V_2/1.29)^2 \quad (2.20)$$

2.12.4 การหุ้มฉนวนท่อ

ระบบท่อที่มีการทำงานที่มีความเกี่ยวข้องกับความร้อน หรือ ต้องการที่จะกักเก็บพลังงานความร้อนเหล่านั้นเอาไว้ จะต้องมีการหุ้มฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศรอบนอก ช่วยคงอุณหภูมิภายในให้คงที่ตามความต้องการ และเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนแก่ระบบ

2.12.5 การสูญเสียความร้อน

ความร้อนจะไหลจากสสารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ๆมีอุณหภูมิต่ำกว่า ผลที่เกิดจากปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า การสูญเสียความร้อน (Heat loss) การสูญเสียความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปจนกระทั่งสสารทั้งสองนั้นมีอุณหภูมิเท่ากัน เพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวจึงต้องจัดการหุ้มฉนวน (Thermal insulation) เพื่อลดการถ่ายโอนความร้อน โดยการหุ้มฉนวนท่อนั้นจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากการนำและการพาสู่บรรยากาศรอบ ๆ ท่อ

2.13 ชนิดฉนวน

ฉนวนสามารถแบ่งแบ่งเป็นชนิดตามลักษณะของตัววัสดุได้ดังนี้

2.13.1 ชนิดผงหรือเส้นใยสั้น ๆ (Loose fill) เป็นชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป มีข้อเสียคือต้องสร้างเปลือกหุ้มฉนวนอีกครั้ง ฉนวนถึงจะคงรูปอยู่ได้ อีกทั้งไม่สามารถถอดเปลี่ยนได้ง่าย ๆ เมื่อจำเป็นต้องซ่อมแซมงานนั้น ๆ ซึ่งวัสดุแบบผงหรือเส้นใยที่ใช้กันมากคือซีเมนต์ ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ แต่มีอายุการใช้งานที่สั้นเนื่องจาก

- 1) ขณะทำการหุ้มฉนวน ถ้าไม่จัดการหุ้มพรางตาจะทำให้มองแล้วไม่สวยงาม
- 2) มีการทำลายจากสัตว์
- 3) เป็นสารอินทรีย์จึงเกิดเชื้อรา

4) เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้

สำหรับสารอนินทรีย์ที่เป็นวัสดุผงและเส้นใยสั้นๆ ได้แก่ใยหิน (Rock wool) เป็นฉนวนความร้อนที่ทำการหลอมหิน ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญของซิลิกอน ลักษณะเป็นเส้นใยสั้นๆ ยิปซัม (gypsum) เพอร์ไลต์ (Expanded perlite) เป็นฉนวนความร้อนที่ทำการหลอมหินภูเขาไฟ ลักษณะเป็นผง และเวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) ทำจากไมก้า ลักษณะเป็นผงก้อนเล็กๆ อดน้ำได้ ทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากยิ่งขึ้นซึ่งวัสดุเหล่านี้ไม่ดีไปกว่าซีลีเนียมมากนักเพราะมีความลำบากในการถอดเปลี่ยนเช่นเดียวกัน

2.13.2 ชนิดยืดหยุ่น (Flexible) ฉนวนชนิดยืดหยุ่นนั้นทำมาจาก ขนสัตว์ ใยแก้ว และเส้นใยแร่ (Mineral wool) ซึ่งจะถูกทำขึ้นเป็นแผ่นเพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน โดยในการหุ้มฉนวนนั้น จะมีความหนาที่สม่ำเสมอ และปราศจากช่องว่าง อาจมีความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อ วัสดุนี้เมื่อหุ้มอาจพันเป็นเกลียวรอบท่อได้โดยตัดให้มีความยาวเท่ากับความยาวท่อ เมื่อเสร็จแล้วใช้ลวดพันรอบให้แน่น ถ้าเป็นงานนอกอาคารหรือวางในร่มจะต้องหุ้มด้วยสักหลาดปิทมินัส (Bituminous felt) เพื่อป้องกันการดูดความชื้น

2.13.3 ชนิดแกร่ง อาจทำจากวัสดุผงหรือเส้นใย แต่ใช้กากหรือสารอื่นยึดประกอบเข้าด้วยกัน เป็นแผ่น สะดวกต่อการใช้และไม่ห้อยเมื่อหุ้มท่อ วัสดุนี้ทำจากเส้นใยแร่ ใยแก้ว พลาสติก เช่น โพลีไทรรีน ส่วนใหญ่มีน้ำหนักเบาแต่แข็งแรง ขนาดความยาวทั่วไป 900 มิลลิเมตร และพอดีกับขนาดท่อ ซึ่งฉนวนชนิดแกร่งนี้จะถูกทำมาเป็นแถบ แผ่นแข็ง แผ่นผืน เพื่อใช้พันหุ้ม มีความหนาตั้งแต่ 13 – 50 มิลลิเมตร สามารถใช้หุ้มท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 13 – 100 มิลลิเมตร ใยแก้วใช้กับท่อได้ขนาดถึง 300 มิลลิเมตร วัสดุแกร่งที่ใช้เป็นฉนวนหุ้มท่อประกอบด้วยชั้นใยหิน (Corrugate asbestos) เป็นลอน เมื่อมองดูหน้าตัดขวาง ตรงจุดช่องว่างระหว่างคลื่นนี้จะช่วยดักอากาศให้สงบนิ่ง และเป็นวัสดุฉนวนที่ดีกว่าใยแก้ว เพราะสามารถดักอากาศให้นิ่งได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ข้อดีของการใช้วัสดุแกร่งเป็นฉนวนหุ้มท่อมิดังนี้

- 1) เรียบร้อย ไม่เกิดการกีดขวาง
- 2) ใช้งานสะดวกรวดเร็ว
- 3) ความหนาสม่ำเสมอ ทำให้ค่าการหุ้มฉนวนเท่ากันตลอด
- 4) ถอดซ่อมได้ง่าย

2.13.4 ชนิดผสมพลาสติก ซึ่งประกอบด้วย 85 เปอร์เซ็นต์แมกเนเซียม ใช้หุ้มฉนวนผิว ขรุขระได้ดี สามารถใช้อุณหภูมิได้ถึง 316 องศาเซลเซียส สาเหตุที่เรียกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ magnesia เพราะมีส่วนประกอบของคาร์บอนเนตของสารแมกเนเซียม (Magnesium) ใยหิน (Asbestos fibers) และสารยึดเหนี่ยวอื่นๆ รวม 15 เปอร์เซ็นต์ ฉนวนชนิดนี้ใช้กันแพร่หลายในงานหุ้มฉนวนหม้อต้ม ท่ออุณหภูมิสูง

2.13.5 แผ่นฉนวนสำเร็จรูปแผ่นฉนวนสำเร็จรูปจึงเป็นอีกทางออกหนึ่ง ของการก่อสร้าง อาคารที่ช่วยได้ทั้งการประหยัดเวลาและงบประมาณในการก่อสร้างประหยัดค่าไฟฟ้าช่วยลดความ เสื่อมของระบบปรับอากาศและยังช่วยก่อให้เกิดสภาพอันเหมาะสมต่อการทำงานให้แก่พนักงานอีก ด้วยโดยวัสดุผิวหน้าที่ใช้เคลือบบอร์ด คือ แผ่นเหล็กกล้าชุบสังกะสี z-275 กันสนิมพร้อมเคลือบสี โพลีอีสเตอร์ ชนิดพิเศษประเภท Food Grade (USDA Laws and Regulation) ความหนาเหล็ก 0.45 มม.(รวมสี) โดยผ่านกระบวนการเคลือบถึง 4 ชั้นตอน จึงสามารถป้องกันแบคทีเรียและการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดีโดยฉนวนส่วนมากจะใช้โฟมโพลิสไตลีนหรือ โฟมโพลียูรีเทน โดยการ ประสานจะใช้กาวโพลียูรีเทนเชื่อมประสานระหว่างแผ่นเหล็กและฉนวน ผ่านกระบวนการอัดรีด ทัวทั้งแผ่นอย่างต่อเนื่องระบบในการเชื่อมต่อเป็นแบบคลิกล็อกทำให้ได้แผ่นฉนวนสำเร็จรูปที่มี น้ำหนักเบา ด้านทานต่อแรงกด และแรงลมได้เป็นอย่างดี โดยปราศจากปัญหาการโก่งหรืองอของ แผ่น จึงช่วยในการรักษาอุณหภูมิได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร ป้องกันความเย็นออกไป และสามารถป้องกันความชื้นในบริเวณที่มีความชื้นสูงได้เป็นอย่างดี

สำหรับอุณหภูมิใช้งานของฉนวนจะพิจารณาจากช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งาน โดยแบ่งช่วงใช้ งานออกได้เป็น 3 ระดับคือ

1. วัสดุฉนวนที่เลือกใช้สำหรับอุณหภูมิต่ำ

- 1.1 เซลลูลาร์กลาสจะใช้งานในช่วง -212°C ถึง -0.6°C (-150°F ถึง 31°F)
- 1.2 อีลาสโตเมอร์พลาสติกโฟม จะใช้งานในช่วง -41°C ถึง 104°C (-40°F ถึง 220°F)
- 1.3 ใยแก้ว จะใช้งานในช่วง -29°C ถึง 343°C (-20°F ถึง 650°F)
- 1.4 โพลิสไตลีน จะใช้งานในช่วง -41°C ถึง 74°C (-40°F ถึง 165°F)
- 1.5 โพลียูรีเทน จะใช้งานในช่วง -184°C ถึง 74°C (-305°F ถึง 165°F)

2. วัสดุฉนวนที่เลือกใช้สำหรับอุณหภูมิปานกลาง

- 2.1 แคลเซียมซิลิเกต จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 649°C (1200°F)
- 2.2 เซลลูลาร์กลาส จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 316°C (600°F)
- 2.3 อีลาสโตเมอร์พลาสติกโฟม จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 140°C
- 2.4 ซิลิกาหรือเพอร์ไลต์ จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 816°C (1500°F)
- 2.5 โยแก้ว จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 343°C (650°F)
- 2.6 โยแร่ จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 649°C (1200°F)
- 2.7 โฟมพีนอลิก จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 121°C (250°F)
- 2.8 โฟมโพลิสไตรีน จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 74°C (163°F)
- 2.9 โฟมโพรพิริเทน จะใช้งานในช่วง 0°C ถึง 104°C (220°F)

3. วัสดุฉนวนที่เลือกใช้สำหรับอุณหภูมิสูง

- 3.1 แคลเซียมซิลิเกต จะใช้งานในช่วง 649°C ถึง 816°C (1200°F ถึง 1500°F)
- 3.2 ไฟเบอร์เซรามิก จะใช้งานในช่วง 871°C ถึง 1427°C (1600°F ถึง 2600°F)
- 3.3 ซิลิกาหรือเพอร์ไลต์จะใช้งานในช่วง 316°C ถึง 816°C (600°F ถึง 1500°F)
- 3.4 โยแร่ จะใช้งานในช่วง 538°C ถึง 1038°C (1000°F ถึง 1900°F)

2.14 การเลือกฉนวนความร้อน

การเลือกฉนวนความร้อนต้องคำนึงถึงความเหมาะสมหลายประการ ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.14.1 สะดวกต่อการใช้งาน ฉนวนความร้อนผลิตออกมาใช้กันหลายแบบ ได้แก่ แบบแผ่นแข็ง (Rigid Board) แบบแผ่นผืน (Blanket) ซึ่งเป็นม้วนแบบม้วนผ้า แบบแผ่นสำเร็จ (Batts) ซึ่งก็คือแบบแผ่นผืนนั่นเอง แต่ตัดเป็นขนาดมาตรฐาน แบบผงหรือแบบเส้นใยสั้นๆ (Loose fill) ซึ่งใช้เทหรือพ่นงานที่มีสิ่งหุ้ม (Laging) แบบหล่อสำเร็จรูป (Precast) เช่น ทำตามขนาดท่อ เป็นต้น และแบบที่ประกอบขึ้นเองในงานสนาม ชนิดใดที่จะเหมาะสมกับงานจะขึ้นอยู่กับกรณีการตัดสินใจของผู้ใช้

2.14.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ฉนวนความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ จะป้องกันความร้อนได้ดีกว่าฉนวนความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง ดังนั้นฉนวนความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำจึงดีกว่า เพราะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก จึงประหยัดค่าใช้จ่าย

2.14.3 ช่วงอุณหภูมิการใช้งาน อุณหภูมิของการใช้งานจะต้องไม่สูงเกินช่วงอุณหภูมิใช้งานของฉนวนความร้อนนั้น เพราะจะทำให้ฉนวนเสียหายและงานเสียหายด้วย

2.14.4 ราคา ราคาในที่นี้หมายถึงต้นทุนของฉนวนความร้อน ค่าติดตั้งและบำรุงรักษา ราคาของฉนวนความร้อนขึ้นอยู่กับประเภทและความหนาของฉนวน ความร้อนที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ คือความหนาของฉนวนความร้อนที่สามารถประหยัดความร้อน คิดเป็นราคาเชื้อเพลิงได้เท่ากับราคาของฉนวนความร้อนเมื่อฉนวนความร้อนนั้นหมดอายุการใช้งานพอดี เมื่อทราบราคาของฉนวนความร้อนตามความหนาที่เหมาะสมของฉนวนแบบต่างๆผู้ใช้งานก็จะตัดสินใจเลือกฉนวนความร้อนได้ถูกต้อง

2.14.5 ความหนาแน่น ความหนาแน่นของฉนวนความร้อนจะเป็นสิ่งที่ช่วยบอกถึงความพรุนหรือฟองอากาศในเนื้อฉนวน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน นอกจากนี้ยังบอกถึงน้ำหนักที่โครงสร้างจะต้องรับอีกด้วย

2.14.6 การทนไฟ เนื่องจากในงานบางประเภท เช่น งานอาคารพาณิชย์ ต้องการความปลอดภัยแก่ผู้ใช้หรือผู้อยู่อาศัยจากการเกิดอัคคีภัย ดังนั้นฉนวนความร้อนจึงควรมีคุณสมบัติติดไฟได้ยาก และในบางประเภทอาจทนไฟได้เป็นระยะเวลาพอสมควร

2.14.7 การทนความชื้น ฉนวนความร้อนจะเสื่อมสภาพลง เมื่อความร้อนเข้าไปอยู่ในฟองอากาศของฉนวนสำหรับฉนวนความร้อนที่อมน้ำ เมื่อได้รับความชื้นก็จะเสียไป จึงจำเป็นต้องมีสิ่งป้องกันความชื้นไว้อีกทีหนึ่ง ดังนั้นฉนวนความร้อนที่ไม่อมน้ำจึงมีความทนมากกว่าประเภทที่อมน้ำ

2.14.8 อายุการใช้งาน อายุการใช้งานของฉนวนความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานหลายอย่าง เช่น งานมีความสั่นสะเทือน มีการยึดหดตัว หรือบิดตัว หรือเสื่อมสภาพ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับอากาศ สารเคมี และรังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นต้น ในการเลือกฉนวนความร้อนจึงต้องคำนึงถึงสภาพการทำงานที่มีผลต่อการใช้งานเหล่านี้ด้วย

2.14.9 ความปลอดภัย ฉนวนความร้อนที่ใช้ไม่ควรมียกเว้นหรือมีพิษซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ติดตั้งและผู้ใช้งาน

2.14.10 ความสวยงาม สำหรับงานก่อสร้าง ฉนวนบางประเภทสามารถใช้ในงานตกแต่งเป็นผนังหรือฝ้าเพดานได้เลยบางประเภทต้องมีสิ่งปกปิด ซึ่งบางครั้งฉนวนความร้อนนั้นต้องรับน้ำหนักของสิ่งปกปิดด้วย

2.15 อุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศ

ในระบบการทำเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลแบบสลับทิศทางการไหล การที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุด จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการ การถ่ายเทความร้อน โดยการพาแบบบังคับซึ่งถ้าจะทำให้เกิดการพาแบบบังคับขึ้นได้นั้น จะต้องมีตัวกลางหรือของไหลมากระทำ หรือเราจะเรียกว่า ระบบถูกแรงจากภายนอกมากระทำให้เกิดการพาความร้อนขึ้นมา ซึ่งแรงภายนอกที่จะเข้ามากระทำหรืออากาศที่จะไหลเข้ามา เราต้องอาศัยอุปกรณ์สร้างอัตราการไหลของอากาศมาเป็นตัวช่วย ให้เกิดแรงภายนอกกระทำกับระบบ ที่เราเรียกว่าพัดลม (Blower)

พัดลมทำหน้าที่ป้อนพลังงาน (ในรูปของความดัน) ให้แก่อากาศ เพื่อเอาชนะความต้านทานการไหลที่เกิดขึ้นในระบบ พัดลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ พัดลมแบบไหลตามแกน (axial – flow fan) และพัดลมแบบเหวี่ยง (centrifugalfan)

2.15.1 พัดลมแบบไหลตามแกน

อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัด และไหลตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด พัดลมแบบนี้มีราคาถูก ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง แต่การทำงานของพัดลมมีเสียงดังรบกวนเมื่อเทียบกับพัดลมแบบเหวี่ยง และมีช่วงของการทำงานที่ไม่มีเสถียรภาพ พัดลมแบบไหลตามแกนมีหลายแบบ เช่น แบบ โพรเพลเลอร์ (propeller) ซึ่งเป็นพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศทั่วไป ไม่เหมาะกับงานอบแห้งที่ต้องการความดันสถิตสูงแบบท่อ (tube) และแบบเวน (vane) ซึ่งให้ความดันสถิตสูงกว่า คือประมาณ 0 – 1500 Pa ซึ่งอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความดันสูงสุด หรือเปอร์เซ็นต์ของกำลังงานสูงสุด หรือเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพ และเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้าง ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปิดกว้างประมาณ 30 – 50 % พบว่าความดันสถิต มีค่าลดลงแล้วเพิ่มขึ้น ดังนั้นพัดลมจะไม่มีเสถียรภาพหากทำงานในช่วงนี้ ช่วงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานของพัดลม คือ ช่วงเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปิดกว้าง ระหว่าง 55 - 75 % ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด และมีเสถียรภาพ

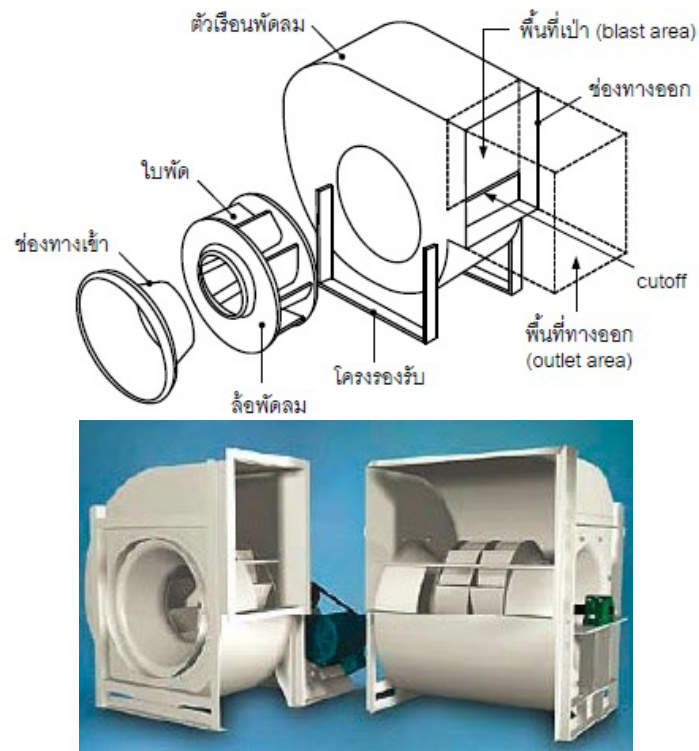


รูปที่ 2.8 พัดลมแบบไหลตามแกน

(ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source/>)

2.15.2 พัดลมแบบเหวี่ยง

อากาศจะไหลขนานกับแกนของใบพัดตรงทางเข้า และไหลตั้งฉากกับแกนของใบพัดตรงทางออก พัดลมแบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบตามลักษณะของใบพัด คือ ใบพัดโค้งหลัง ใบพัดโค้งหน้า และใบพัดตรง ใบพัดที่นิยมใช้ในการอบแห้งทั่วไปคือ ใบพัดโค้งหน้าและใบพัดโค้งหลัง ซึ่งใช้กับอากาศที่สะอาด ส่วนใบพัดตรงเหมาะกับอากาศสกปรกหรือใช้ในงานขนถ่ายวัสดุซึ่งไหลผ่านตัวพัดลม



รูปที่ 2.9 พัดลมแบบเหวี่ยง

(ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source/>)

2.15.2.1 ใบพัดโค้งหลัง

พัดลมชนิดนี้มีราคาแพง แต่ก็มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมชนิดอื่น ตัวอย่าง เช่น การทำงานของพัดลมไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะของการที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลัง ไม่มีช่วงของการทำงานของพัดลมที่ไม่มีเสถียรภาพ และความดันสถิตมีค่าสูง 0 – 3000 Pa ซึ่งพบว่าช่วงเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปิดกว้างที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 – 65% ช่วงดังกล่าวให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงสุด



รูปที่ 2.10 ใบพัดโค้งหลัง

(ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source201/data/pict503.htm>)

2.15.2.2 ใบพัดโค้งหน้า

การทำงานของพัดลมชนิดนี้มีเสียงเบาที่สุดเมื่อเทียบกับพัดลมชนิดอื่นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ข้อเสียของพัดลมแบบนี้คือ มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังได้ มีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่มีเสถียรภาพ ความดันสถิตโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0 – 1500 Pa ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพจะมีค่าสูงสุดที่ช่วงเปอร์เซ็นต์ปริมาตรที่เปิดกว้างระหว่าง 30– 50% โดยทั่วไปเรามักจะเลือกขนาดของมอเตอร์สำหรับการทำงานของเงื่อนไขนี้ เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรที่เปิดกว้างที่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่ากำลังงานที่ต้องการก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นหากระบบอบแห้งมีการรั่วของท่อลมเกิดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้มอเตอร์ทำงานเกินกำลัง พัดลมแบบนี้จึงไม่เหมาะกับระบบที่อัตราการไหลของอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ในการเลือกพัดลมให้เหมาะสมกับงานนั้นๆ มีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- 1) ได้อัตราการไหลของอากาศตามที่ต้องการ
- 2) พัดลมทำงานอยู่ในช่วงที่ประสิทธิภาพมีค่าสูงสุดและควรอยู่ไกลจากช่วงที่อาจก่อให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพระหว่างการทำงาน
- 3) ให้ภาระของมอเตอร์มีค่าใกล้เคียง ๆ กับกำลังงานที่กำหนด (rated power)



รูปที่ 2.11 ใบพัดโค้งหน้า

(ที่มา: <http://cw.rmuti.ac.th/source201/data/pict503.htm>)

การเลือกพัดลม การเลือกชนิดพัดลมให้เหมาะกับงาน ขึ้นกับลักษณะสมรรถนะของพัดลม และลักษณะอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1) พัดลมชนิดใบพัดแฉกสร้างความดันได้ไม่สูง ฉะนั้น จึงเหมาะกับงานที่มีท่อลมสั้น หรือไม่มีเลย พัดลมชนิดนี้มีราคาถูก นิยมใช้เป็นพัดลมดูดอากาศเสียที่เห็นติดตั้งอยู่ที่ผนังหรือหน้าต่างทั่วไป สำหรับพัดลม เช่น ตรีฟูกอล เป็นพัดลมชนิดที่นิยมใช้กับระบบท่อลมของระบบปรับอากาศมากที่สุด

2) ถ้าสมรรถนะเท่ากันพัดลมเช่น ตรีฟูกอล ชนิดซี่ใบพัดโค้งหน้าราคาถูกกว่าชนิดซี่ใบพัดโค้งหลัง แต่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูงกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพต่ำกว่า จากลักษณะการเพิ่ม BHP ของพัดลมชนิดซี่ใบพัดโค้งหน้าจะเห็นว่า ถ้าพัดลมทำงานที่ภาวะซึ่งมี CFM สูงกว่า CFM ที่เลือกมอเตอร์อาจรับโหลดมากเกินไป และอาจเกิดความเสียหายได้ นิยมใช้พัดลมชนิดนี้กับเครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จรูป (Packaged air conditioning units) เพราะมีราคาถูก

3) พัดลมเช่น ตรีฟูกอล ชนิดซี่ใบพัดโค้งหลังหรือเอียงหลังมีราคาแพงกว่าชนิดซี่ใบพัดโค้งหน้า แต่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่ำกว่า เพราะมีประสิทธิภาพสูงกว่าลักษณะการเพิ่ม Bhp ของพัดลมชนิดนี้มีขีดจำกัด ดังนั้นถ้าส่งลมเกินกว่าที่ออกแบบไว้โอกาสที่จะทำให้มอเตอร์หรือระบบจ่ายไฟรับโหลดมากเกินไป จะไม่เกิดขึ้น สำหรับพัดลมเช่น ตรีฟูกอล ชนิดแอร์ฟอยล์นั้น เป็นพัดลมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในบรรดาพัดลมทั้งหลาย

4) อาจใช้พัดลมชนิดแกนกระบอกและชนิดใบตัดลม สำหรับส่งลมผ่านท่อลมได้ สำหรับพัดลมชนิดใบตัดลมนั้น เหมาะกับท่อลมของระบบปรับอากาศมากกว่า และมีระดับเสียงรบกวนสูง ถ้านำมาใช้จะต้องบำบัดเพื่อลดเสียงรบกวนมากกว่า เนื่องจากพัดลมชนิดนี้มีโครงสร้างกะทัดรัด ฉะนั้น จึงอาจนำมาใช้กับระบบท่อลมในกรณีที่มีติดตั้งจำกัดได้

การประหยัดพลังงาน

- 1) ไม่จำเป็นต้องเพื่อความดันสูญเสียของระบบท่อ ไว้เป็นพิเศษ (สำหรับปัจจัยความปลอดภัย) นอกเหนือจากที่คำนวณได้
- 2) เลือกพัดลมในช่วงกึ่งกลางของปริมาณลมที่ส่งได้ ที่จุดนี้ พัดลมมีประสิทธิภาพสูงสุด
- 3) ถ้าจำเป็นต้องควบคุมปริมาณลมที่ส่งออกจากพัดลม ควรติดตั้งบานพับปรับลมแบบใบตัดลมที่ทางเข้า มากกว่าที่ทางออก เพราะถ้าลดปริมาณลมลงพัดลมจะใช้กำลังงานน้อยกว่า
- 4) การลดปริมาณลมโดยลดความเร็วพัดลมเป็นวิธีการลดกำลังงานพัดลมที่ดีที่สุด แต่อุปกรณ์ขับเคลื่อนพัดลมชนิดเปลี่ยนความเร็วได้หลายความเร็วมีราคาแพงมาก ควรจัดท่อทางเข้าและท่อทางออกของพัดลมในลักษณะที่มีความดันสูญเสียต่ำสุด

2.16 อัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศหมายถึง ปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์ใดๆในระบบต่อหนึ่งหน่วยเวลา นิยมวัดเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate : Q)

$$Q = AV \quad (2.21)$$

A คือ พื้นที่หน้าตัดของช่องทางการไหล

V คือ ความเร็วเฉลี่ย

$$ME = (Q \times \Delta P_t) / BHP \quad (2.22)$$

ME คือ ประสิทธิภาพเชิงกล

ΔP_t คือ ความดันรวม

BHP คือ กำลังงานที่ให้กับแกนของพัดลม

2.17 กฎของพัดลม

เป็นกฎที่แสดงให้เห็นถึง ผลกระทบของขนาด (size) และความเร็วในการหมุน (rpm) ที่มีต่อสมรรถนะการทำงานของพัดลม

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{\text{size}_2}{\text{size}_1} \right)^3 \left(\frac{\text{rpm}_2}{\text{rpm}_1} \right) \quad (2.23)$$

$$\text{BHP}_2 = \text{BHP}_1 \left(\frac{\text{size}_2}{\text{size}_1} \right)^5 \left(\frac{\text{rpm}_2}{\text{rpm}_1} \right)^3 \quad (2.24)$$

ตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลมโดยประมาณสำหรับพัดลมชนิดต่างๆ

ชนิดพัดลม	ค่าประสิทธิภาพเชิงกลของพัดลม (ME)
แบบซี่ใบพัดหน้าตรง (Radial Blade Fans)	0.65
แบบซี่ใบพัดโค้งหน้า (Forward Curve Blade Fans) และแบบซี่ใบพัดเอียงหลัง (Backward Inclined Blade Fans)	0.70
แบบไหลตามแนวแกน (Axial Fans)	0.75

(ที่มา: <http://www.thaiengineering.com/2015/index.php/publicity/coe/itemlist/user/845>)

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.18.1 งานวิจัยต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งที่ผ่านมา

A. Nadeel Y. Tirawanichakul และ S. Tirawanichaku (2011) ได้ทำการศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งของชาใบเตยโดยใช้ลมร้อน HA รั้งสี่อินฟาเรด และความร้อนจาก(HA+IR) ในการทดลองใช้รั้งสี่อินฟาเรด 1,000 วัตต์และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45 - 65 องศาเซลเซียส และใช้ความเร็วของลมร้อน 1.0 - 1.2 เมตรต่อวินาทีโดยความชื้นของใบเตย 400 - 600 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการอบแล้วมีความชื้น 8 - 12 เปอร์เซ็นต์ในการทำการทดลองนั้น HA+IR ให้การแห้งเร็วกว่า HA และ IR แต่จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

NitipongSomchaiwong และ WirotPonglangka (2012) ได้ทำการศึกษาถึงเตาอบอัตโนมัติสำหรับชุมชนเพื่อทำการอบตัวหนอนไหมที่เกษตรกรเลี้ยงเมื่อถึงระยะเข้าดักแด้ตัวหนอนจะเจาะรังไหมออกมาหลังวัฏจักรจบชีวิตลง ซึ่งเตาอบที่ใช้มีขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร มีความสามารถในการอบประมาณ 40 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG ในการอบแห้ง การควบคุมระบบ Microprocessor เขียนโปรแกรมในการควบคุมเวลา อุณหภูมิและความชื้น ในการอบตัวหนอนไหม มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวจุดแก๊ส และหัวเผาอินฟราเรด และพัดลมเป็นตัวจ่ายลมซึ่งใช้ไฟฟ้า 186.5 วัตต์ ได้ผลการทดลองดังนี้ในการอบแต่ละครั้งจะใช้แก๊ส 1.37 กิโลกรัม ให้กระแสไฟฟ้า 0.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง อุณหภูมิในการอบไหมสูงสุด 84 องศาเซลเซียส ความชื้นลดลงอยู่ที่ 13.48 เปอร์เซ็นต์ จากหนอนไหม 27 กิโลกรัม ภายในเวลา 2 ชั่วโมง

Li Hui, Lin Hetong, Lin Yifei และ Chen Yihui (2011) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่ด้วยลมร้อนมีปัจจัยที่มีผลคือ ขนาดของผลลิ้นจี่ อุณหภูมิของลมร้อนความเร็วของลมร้อน จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 1.0 เมตรต่อวินาที ได้ผลดีที่สุด

SupawanTirawanichakul, NaveeSaenaratana, PatakornBoonyakiat และ Yutthana Tirawanichakul (2011) ศึกษาถึงการอบแห้งมะม่วงหิมพานต์ด้วยอากาศร้อน และไมโครเวฟ เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและการอบแห้ง ระหว่าง ไมโครเวฟ และลมร้อน ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของมะม่วงหิมพานต์ที่กำลังของรังสีอยู่ระหว่าง 308 – 546 วัตต์ ที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส อัตราการไหล 0.79 เมตรต่อวินาที ความชื้นของมะม่วงหิมพานต์ มีความชื้นเริ่มแรก 10 และ 11 เปอร์เซ็นต์เมื่อผ่านการอบแล้ว มะม่วงหิมพานต์มีความชื้น 0.06 ± 0.02 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองพบว่า ไมโครเวฟที่กำลัง 546 วัตต์ และลมร้อนอุณหภูมิ 75.7 องศาเซลเซียส ให้ผลดีที่สุด

NorkamruzitaSaadon และ HalimatonMohdYusof (2011) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของความเร็วของลมร้อนและอุณหภูมิที่มีต่อก้านปาล์ม จากการศึกษาพบว่า ที่อุณหภูมิในการทดลองนั้น 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมที่ 1.45 เมตรต่อวินาที และ 1.85 เมตรต่อวินาที พบว่า ที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและความเร็วที่สูงก็ใช้ระยะเวลาในการทาแห้งน้อยกว่า

2.18.2 งานวิจัยภายในประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งที่ผ่านมา

กอบพัชรกุล เป็นบุญ (2550) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบลมร้อนและเตอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เตอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตอบลมร้อน คือ ทำการอบแห้งลำไยแผ่นด้วยเตอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน ตั้งแต่ 9.00 น. ถึง 17.00 น. แล้วนำไปอบต่อด้วยเตอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ได้ลำไยแผ่น ที่มีปริมาณความชื้น ค่า A_w ค่าสี L^*a^*b แรงฉีกและแรงกด เท่ากับ 13.96 % db (12.25 %), 0.441, 53.78, 12.29, 21.22, 2.952 นิวตัน และ 1.573 นิวตัน ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศคือ ทำการอบแห้งลำไยแผ่นด้วยเตอบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 วัน ตั้งแต่ 9.00 น. ถึง 17.00 น. แล้วนำไปอบต่อด้วยเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 20 % (960 วัตต์) อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส คงความดันของระบบไว้ที่ 28 กิโลพาสคาล ได้ลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นค่า A_w ค่าสี L^*a^*b แรงฉีกและแรงกดเท่ากับ 13.98 % db (12.27 % W_b), 0.453, 53.59, 9.62, 19.03, 2.831 นิวตัน และ 1.490 นิวตัน ตามลำดับ พบว่าเทคนิคการอบแห้งลำไยแผ่นที่ดีที่สุดคือ เทคนิคผสมระหว่างเตอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ โดยลำไยแผ่นที่ได้เป็นที่ยอมรับ และมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้งใช้ได้ดีเฉพาะวันที่มีแสงแดดจัด

มัญญธยาน์ เชื้ออินทร์สูง (2548) ทำการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนการลงทุนระหว่างเตอบลำไยอบแห้งแบบกระบะ โดยใช้น้ำมัน โซล่าเป็นเชื้อเพลิงและเตอบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ในอำเภอสาร์พิจังหวัดเชียงใหม่ ได้ทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงต้นทุนและผลตอบแทนการลงทุนระหว่างเตอบลำไยอบแห้งแบบกระบะ โดยใช้น้ำมัน โซล่าเป็นเชื้อเพลิง และเตอบลำไยอบแห้งแบบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง กรณีเตอบลำไยอบแห้งแบบกระบะ โดยใช้น้ำมัน โซล่าเป็นเชื้อเพลิง ที่กำลังการผลิต 800 ตันต่อปี ใช้เงินลงทุน 10,000,000 บาท มีอัตราส่วนหนี้สินต่อทุน เท่ากับ 1:1 อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8.00 ต่อปี พบว่าอัตราผลตอบแทนต่อ

ต้นทุน (Benefit – Cost Ratio) ของการลงทุนผลิตลำไยอบแห้งนี้ มีค่าเท่ากับ 1.0332 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) ของการลงทุนเมื่อสิ้นปีที่ 7 มีมูลค่าเท่ากับ 6,690,010.28 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR) เท่ากับ 28.55 % ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มีค่าเท่ากับ 2 ปี 8 เดือน 5 วัน กรณีเตอบลำไยแบบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงที่กำลังการผลิต 1,000 ตันต่อปี ใช้เงินลงทุน 17,000,000 บาท มีอัตราส่วนหนี้สินต่อทุนเป็น 1:1 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ร้อยละ 8.00 ต่อปี พบว่า อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio) ของการลงทุนผลิตลำไยอบแห้งมีค่าเท่ากับ 1.0454 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) ของการลงทุนเมื่อสิ้นปีที่ 7 มีค่าเท่ากับ 11,284,400.35 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR) เท่ากับ 27.31 % ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มีค่าเท่ากับ 2 ปี 9 เดือน 28 วัน จากการศึกษาเปรียบเทียบครั้งนี้มีการลงทุนไม่เท่ากัน จึงได้วิเคราะห์เงินทุนส่วนเพิ่มจำนวน 7,000,000 บาท จากเตอบลำไยอบแห้งแบบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) ของการลงทุนเมื่อสิ้นปีที่ 7 มีมูลค่าเท่ากับ 4,594,390.07 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR) เท่ากับ 25.64 % ซึ่งสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ ในการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุน และผลตอบแทนการลงทุนระหว่างเตอบลำไยอบแห้งแบบกระบะ โดยใช้น้ำมันโซล่าเป็นเชื้อเพลิง และเตอบลำไยแบบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง พบว่าเตอบลำไยอบแห้งแบบไอน้ำ โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีความเป็นไปได้และมีความคุ้มค่าที่จะลงทุนผลิตลำไยอบแห้งมากกว่า

Janjai (2000) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรมสำหรับอบกล้วย ซึ่งรับอากาศร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 24 ตารางเมตร และมีแหล่งพลังงานเสริมจากก๊าซหุงต้ม เครื่องอบดังกล่าวสามารถอบกล้วยที่ความชื้น 75% (wb) จำนวน 200 กิโลกรัม ให้เหลือความชื้นที่ 25% (wb) โดยใช้เวลา 3 วัน เครื่องอบแห้งดังกล่าวติดตั้งใช้งานที่โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา

บทที่ 3

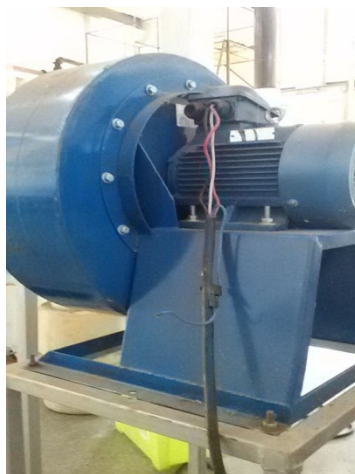
การคำนวณและการออกแบบ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในเรื่องนี้คือการออกแบบ สร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยเตาชีวมวลร่วมกับระบบผลิตลมร้อนและระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหล ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 หลักในการออกแบบ

การออกแบบของเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชนในงานวิจัยเรื่องนี้ ผู้วิจัยจะออกแบบการพัฒนาระบบอบแห้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสามารถทำให้ความร้อนภายในตู้มีอุณหภูมิได้ตามความต้องการ นอกจากนี้การออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชน ยังนำเอาระบบสลับทิศทางการไหลลมร้อนเข้ามาในระบบอบแห้ง เพื่อให้ความร้อนที่ถูกใช้ในตู้อบได้นำมากลับมาใช้ใหม่และเพื่อให้การอบมีความทั่วถึงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชนในโครงการวิจัยนี้ ดังนี้

3.1.1 ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของระบบ เพื่อประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น จึงมีการคิดพัฒนา เพื่อให้อากาศที่ถูกนำเข้ามาใช้ในการพาความร้อนดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พัฒนสำหรับพาความร้อน
(ที่มา: สุนนทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

3.1.2 ความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบของฉนวน จะต้อง ออกแบบโดยคุณสมบัตินี้ของฉนวนและราคาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่พอเหมาะในราคาทุนที่น้อย ที่สุด

3.1.3 เครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชนจะต้องสามารถทำการ ถอด ประกอบหรือเคลื่อนย้ายและทำการบำรุงรักษาได้ง่าย เพื่อความสะดวก

3.1.4 การออกแบบท่อที่พาความร้อนเข้าสู่ตู้อบ ระบบสลับทิศทางการไหล และจากตู้ที่จะ นำอากาศที่ใช้แล้วมาใช้อีกจะต้องมีขนาดที่พอเหมาะเพื่อราคาที่ไม่สูงจนเกินไป

3.2 ขั้นตอนในการออกแบบ

3.2.1 การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนควรจะให้มีความเหมาะสมกับเตาชีวมวล ที่นำมาใช้ เนื่องจากต้องการให้ความร้อนไหลเวียนอยู่ภายในท่อคงที่และมีประสิทธิภาพ เพราะฉะนั้นจึงออกแบบให้มีขนาด $708 \times 1,541 \times 1,593 \text{ mm}^3$ ส่วนประกอบของโครงสร้างจะ ประกอบขึ้นจากเหล็กกล่อง โดยมีส่วนประกอบดังนี้

3.2.1.1 แผ่นปิดด้านบนและด้านล่าง จะมีลักษณะโค้งเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น

3.2.1.2 แผ่นปิดด้านข้าง ทำเป็นประตูปิดอยู่รอบด้านเตา มีขนาด $450 \times 598 \text{ mm}^2$ โดย ประตูทำจากเหล็กประกบกัน โดยมีฉนวนเซรามิกอยู่ภายใน

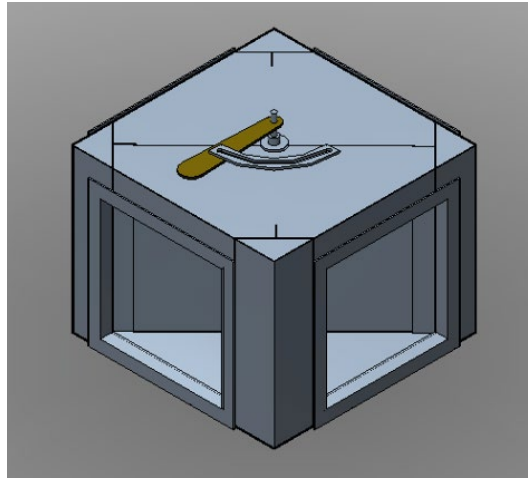
3.2.1.3 ภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะเป็นท่อยาวจำนวน 33 ท่อ โดย ท่อมีความยาว $1,500 \text{ mm}$ เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm ภายในท่อมีเหล็กเกลียวเพื่อเพิ่มความเร็วลม ซึ่ง การใช้ท่อเป็นอุปกรณ์รับความร้อนเพื่อให้การไหลของอากาศไม่มีสิ่งเจือปนเข้าสู่ระบบการไหล

3.2.1.4 ข้อต่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่จุดการไหลทั้งทางเข้าและทางออก ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะออกแบบให้ท่อมีขนาดลดลงเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ และยังเป็นการลดขนาดทางเดินของอากาศให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถต่อเข้ากับท่อ ทางเดินของอากาศได้ โดยจะมีปะเก็นแบบ PTFE

3.2.2 การออกแบบตู้อบ ตู้ที่ออกแบบมีขนาดที่ไม่ใหญ่มาก เนื่องจากจะทำให้ความร้อนที่ เข้ามาในตู้ สามารถใช้ประโยชน์ในการอบได้เต็มที่และสามารถควบคุมความร้อนได้ง่าย

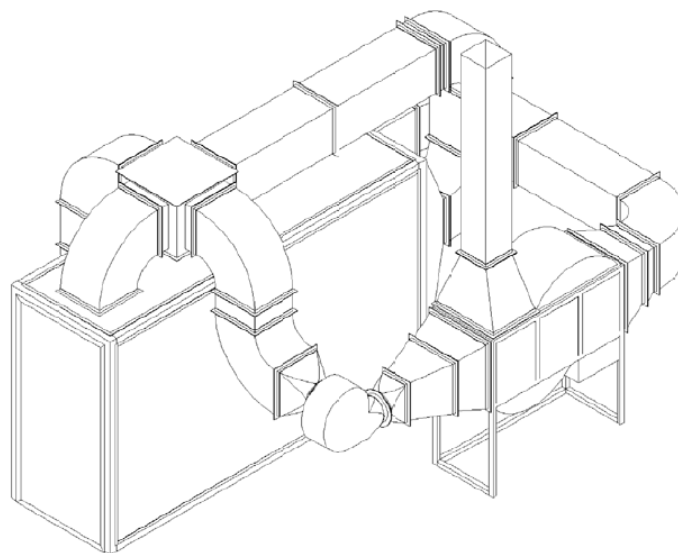
3.2.2.1 ตู้จะทำด้วยโครงเหล็กขนาด $1155 \times 3685 \times 2160 \text{ mm}^3$ โดยจะเป็นแผ่น ฉนวนประกบติดกันที่บริเวณด้านบนและด้านข้าง โดยฉนวนเป็นแบบ Sandwich Panel (Strong joint) ฉนวนเป็นแบบโฟมโพรพิริเทน

3.2.2.2 ระบบสลับทิศทางการไหล จะอยู่บริเวณด้านบนของตู้อบ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบสลับทิศทางการไหลของอากาศ
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

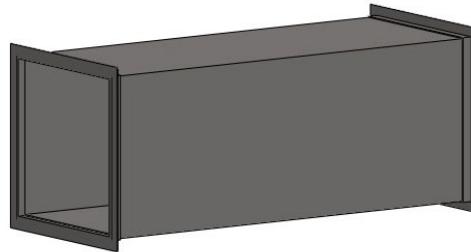
3.2.3 การออกแบบท่อทางเดินของของไหลทำการออกแบบเป็นท่อเหลี่ยม ตัวท่อที่ใช้เป็นทางเดินของอากาศจะทำจากเหล็กอบสังกะสี ซึ่งท่อนี้จะมีขนาดพื้นที่หน้าตัด $450 \times 450 \text{ mm}^2$ โดยใช้เหล็กฉากประกบเข้าติดกันด้วย Bolt ตัวท่อทางเดินที่จะต่อกับพัดลม จะถูกขยายปากออก และบริเวณที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกหุบปากลงเพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ โดยท่อส่วนนี้จะทำจากเหล็กดังรูปที่ 3.3.



รูปที่ 3.3 ระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลแบบสลับทิศทางการไหล
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

3.3 การคำนวณหาค่าการสูญเสียความดันในท่อ

3.3.1 ในท่อตรง



รูปที่ 3.3 ท่อตรง

(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

จากสมการของ Darcy – Weisbach

$$\Delta P = f_D \left(\frac{L}{D}\right) P_V \quad (3.1)$$

ความยาวทั้งหมดของท่อเหล็กอบสังกะสี (ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า) มีค่าเท่ากับ 8.11 m โดยมีด้านทั้งสองยาวเท่ากันคือ 0.45 m

คำนวณหาค่า Reynolds Number จาก

$$Re = \frac{DV}{\nu} \quad (3.2)$$

ทำการแปลงค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเหลี่ยมเป็นท่อกกลมจากสมการ

$$D = 1.265 \left[\frac{(ab)^3}{a+b} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (3.3)$$

$$D = 1.265 \left[\frac{(0.45 \times 0.45)^3}{0.45 + 0.45} \right]^{\frac{1}{5}}$$

$$D = 0.49556 \text{ m}$$

ค่า ν ที่อุณหภูมิ 60°C มีค่าเท่ากับ $18.88 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ และใช้ความเร็วลมที่ 2 m/s

∴ แทนค่าจะได้

$$Re = \frac{0.49556 \times 2}{18.88 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Re} = 52,496$$

ที่ค่า Re เท่ากับ 52,496 จะเป็นลักษณะการไหลแบบ Turbulent จะใช้การอ่านแผนภาพ Moody diagram เพื่อหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f_D) จะต้องทำการหาค่า $\frac{\varepsilon}{D}$ เพื่อให้สามารถอ่านกราฟได้โดยที่ค่า ε ของท่อเหล็กอบสังกะสีมีค่าเท่ากับ 0.15 mm.

$\therefore \frac{\varepsilon}{D}$ ของท่อเหล็กอบสังกะสีมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.15 \text{ mm}}{495.56 \text{ mm}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 3.027 \times 10^{-4}$$

เมื่ออ่านค่าจาก Moody Diagram จะได้ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของท่อเหล็กอบสังกะสี $f_D = 0.026$

สำหรับค่าความดันความเร็ว (P_V) หาได้จากสมการ

$$P_V = \left(\frac{V}{1.29}\right)^2 \quad (3.4)$$

$$P_V = \left(\frac{2}{1.29}\right)^2$$

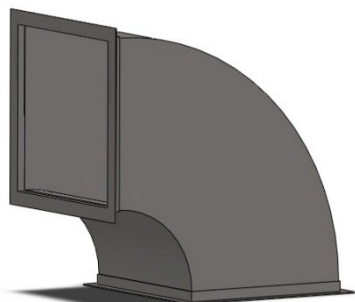
$$P_V = 2.404 \text{ Pa}$$

ทำการแทนค่าลงในสมการที่ (3.4) จะได้
การสูญเสียในท่อเหล็กอบสังกะสี

$$\Delta P = 0.026 \left(\frac{8.11}{0.49556}\right) 2.404 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 1.023 \text{ Pa}$$

3.3.2 ในช่อง



รูปที่ 3.4 ช่อง
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

จากสมการค่าความดันรวมที่สูญเสียในช่อง

$$\Delta P = (C)(P_v) \quad (3.5)$$

ค่า P_v จากข้างต้นมีค่าเท่ากับ 2.404 Pa

ค่า C ทำการเปิดตารางค่าความดันรวมที่สูญเสียที่ช่องแบบต่างๆ โดยช่องที่ใช้ในการทดลองเป็นช่อง 90° หน้าตัดสี่เหลี่ยม มีค่า $H = 450 \text{ mm}$ $W = 450 \text{ mm}$ และ $R = 447 \text{ mm}$ ซึ่งเมื่อเทียบค่าจากตารางดังกล่าวแล้วจะได้ค่า C เท่ากับ 0.22

แทนค่าลงในสมการที่ (2) จะได้

$$\Delta P = (0.22)(2.404 \text{ Pa})$$

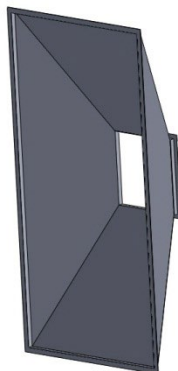
$$\Delta P = 0.529 \text{ Pa}$$

เนื่องจากช่องทั้งหมดมีขนาดเท่ากัน มีจำนวน 9 ชิ้นส่วน ดังนั้นค่าความดันรวมที่สูญเสียทั้งหมดจะเท่ากับ

$$\Delta P = 0.529 \text{ Pa} \times (9)$$

$$\Delta P = 4.759 \text{ Pa}$$

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อ



รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หน้าตัดขวางของท่อ
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

พื้นที่หน้าตัดขวางของท่อที่มีเปลี่ยนแปลงขนาดในการทดลองนี้มีอยู่ทั้งหมด 5 ชั้นด้วยกันซึ่งในการหาค่าความดันรวมที่สูญเสียของท่อแบบนี้ นั้น จะต้องใช้ตารางค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย สำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดที่ข้องอแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลง

ที่ขนาด 380 x 260 mm² ขยายไปยัง 500x 500mm²

จะได้ค่า C_1 เท่ากับ 0.36

จากสมการการขยายแบบทันทีทันใด

$$\Delta P_t = C_1(V_1/1.29)^2$$

$$\Delta P_t = 0.36(2/1.29)^2$$

$$\Delta P = 0.865 \text{ Pa}$$

ที่ขนาด 500 x 500 mm² ขยายไปยัง 648 x 644 mm²

จะได้ค่า C_1 เท่ากับ 0.16

จากสมการการขยายแบบทันทีทันใด

$$\Delta P_t = C_1(V_1/1.29)^2$$

$$\Delta P_t = 0.16(2/1.29)^2$$

$$\Delta P = 0.385 \text{ Pa}$$

ที่ขนาด 648 x 644mm² ลดขนาดไปยัง 500 x 500 mm²

จะได้ค่า C₂ เท่ากับ 0.16

จากสมการการลดลงของพื้นที่หน้าตัด

$$\Delta P_t = C_2(V_2/1.29)^2$$

$$\Delta P_t = 0.16(2/1.29)^2$$

$$\Delta P = 0.385 \text{ Pa}$$

ที่ขนาด 500 x 500 mm² ลดขนาดไปยัง 450 x 450 mm²

จะได้ค่า C₂ เท่ากับ 0.06

จากสมการการลดลงของพื้นที่หน้าตัด

$$\Delta P_t = C_2(V_2/1.29)^2$$

$$\Delta P_t = 0.06(2/1.29)^2$$

$$\Delta P = 0.144 \text{ Pa}$$

ที่ขนาด 450 x 450 mm² ขยายไปยัง 1024 x 2029 mm²

จะได้ค่า C₁ เท่ากับ 0.81

จากสมการการขยายแบบทันทีทันใด

$$\Delta P_t = C_1(V_1/1.29)^2$$

$$\Delta P_t = 0.81(2/1.29)^2$$

$$\Delta P = 1.947 \text{ Pa}$$

3.4 การคำนวณเพื่อเลือกขนาดพัดลม

จากสมการประสิทธิภาพเชิงกล

$$ME = (Q \times \Delta P_t) / BHP \quad (3.6)$$

ย้ายข้างสมการจะได้

$$BHP = (Q \times \Delta P_t) / ME \quad (3.7)$$

หาค่า Q จากสมการ โดยสมมติค่า V ให้มีค่าเท่ากับ 1 m/s

$$Q = AV \quad (3.8)$$

$$Q = (1.155 \text{ m} \times 2.160 \text{ m})(1 \text{ m/s})$$

$$Q = 2.4948 \text{ m}^3/\text{s}$$

แปลงค่า m^3/s เป็น CFM

$$Q = \frac{(2.4948 \text{ m}^3/\text{s})(3600)}{1.7}$$

$$Q = 5283 \text{ CFM}$$

ค่า ΔP_t เท่ากับ

$$\Delta P_t = 1.023 + 4.759 + 0.865 + 0.385 + 0.385 + 0.144 + 1.947$$

$$\Delta P_t = 9.508 \text{ Pa}$$

แปลงค่า Pa เป็น psi

$$\Delta P_t = 9.508 \text{ Pa} \times 0.000145037738$$

$$\Delta P_t = 1.38 \times 10^{-3} \text{ psi}$$

ค่า ME คูณค่าได้จากตารางที่ 5 ดังนั้นจะได้ค่า $ME = 0.70$

แทนค่าจะได้

$$BHP = \frac{5283 \times 1.38 \times 10^{-3}}{0.70}$$

$$BHP = 10.42$$

เปิดตารางพิกัดสมรรถนะพัดลมเพื่อเลือกพัดลม

ตารางที่ 3.1 พิกัดสมรรถนะพัดลม

BAF DWDI 122

Outlet Area - 1.55 ft² Wheel Dia. - 12.25 Inches Tip Speed - 3.21 x RPM Max. BHP = 0.089 (RPM÷1000)³

CFM	OV	0.5" SP		1" SP		2" SP		3" SP		4" SP		5" SP		6" SP		8" SP		10" SP		12" SP		14" SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
1240	800	1198	0.15	1468	0.28	1974	0.64																
1550	1000	1344	0.21	1602	0.36	2022	0.73	2422	1.19														
1860	1200	1502	0.28	1743	0.46	2119	0.84	2469	1.32	2805	1.88												
2170	1400	1670	0.37	1890	0.58	2255	1.01	2551	1.47	2855	2.04	3150	2.69	3422	3.35								
2480	1600	1846	0.48	2046	0.72	2395	1.20	2684	1.71	2926	2.24	3203	2.89	3467	3.62	3948	5.12						
2790	1800	2026	0.62	2210	0.88	2540	1.42	2821	1.97	3068	2.55	3289	3.14	3524	3.85	3991	5.49	4416	7.19				
3100	2000	2212	0.79	2379	1.07	2689	1.66	2962	2.27	3203	2.89	3422	3.54	3619	4.19	4044	5.80	4460	7.65	4843	9.53		
3410	2200	2400	0.99	2554	1.29	2843	1.94	3108	2.60	3343	3.27	3557	3.97	3754	4.68	4120	6.17	4510	8.03	4887	10.08		
3720	2400	2590	1.23	2733	1.55	3005	2.25	3256	2.96	3486	3.68	3695	4.42	3889	5.19	4238	6.73	4580	8.46	4938	10.54		
4030	2600	2783	1.50	2916	1.85	3170	2.59	3408	3.36	3632	4.13	3837	4.92	4028	5.74	4375	7.40	4684	9.09				
4340	2800	2976	1.81	3101	2.18	3341	2.97	3567	3.80	3781	4.63	3982	5.46	4169	6.32	4511	8.09	4819	9.90				
4650	3000	3171	2.17	3289	2.57	3514	3.40	3730	4.28	3934	5.16	4130	6.06	4314	6.96	4649	8.82						
4960	3200	3368	2.58	3478	3.00	3691	3.87	3896	4.80	4092	5.75	4280	6.69	4460	7.65	4790	9.60						
5270	3400	3564	3.04	3669	3.48	3871	4.40	4066	5.37	4254	6.37	4434	7.38	4609	8.39	4934	10.44						
5890	3800	3960	4.13	4054	4.61	4237	5.62	4415	6.68	4588	7.78	4755	8.90	4917	10.03								
6510	4200	4358	5.46	4443	5.99	4611	7.09	4773	8.23	4932	9.41												

MAXIMUM RPM: Class I — 3793 Class II — 4948 Selections above 4000 RPM not recommended. Consult factory.

เมื่อเทียบค่า CFM กับ BHP แล้วทำให้ได้ขนาดพัดลมคือ 8"

(ที่มา : http://jrrl.jaronrat.com/pump-fan.html?gclid=CPvng775-MkCFdIWaAod__4Ibw)

3.5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนร่วมกับระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลและระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหล โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ดังรายละเอียด ดังนี้

3.5.1 อุปกรณ์การวัดและบันทึกข้อมูล

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจะใช้อุปกรณ์วัดต่างๆ ดังนี้

- 1) สายเทอร์โมคอปเปิลชนิดเค (K-type thermocouple) สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศในเครื่องอบแห้ง
- 2) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบฮ็อตไวร์ (hot wire anemometer) ยี่ห้อ Airflow รุ่น TA5
- 3) เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ DATATAKER รุ่น 505
- 4) เครื่องชั่งแบบตั้งพื้น Platform Scale



รูปที่ 3.6 สายเทอร์โมคอปเปิลชนิดเค
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบฮอตไวร์
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 3.8 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ DATATAKER รุ่น 505
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)



รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งแบบตั้งพื้น Platform Scale
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)

3.5.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งจะใช้มะม่วงกวน ซึ่งผ่านการกวนจากโรงงานแล้ว มาใช้เพื่อทำการทดลอง โดยการทดลองแต่ละครั้งจะดำเนินการดังนี้

- 1) นำมะม่วงกวนที่ผ่านการกวนจากโรงงานแล้ว มาใช้เพื่อที่จะทำการทดลอง
- 2) นำแผ่นพลาสติกมาปูรองบนถาด
- 3) นำแผ่นแบบอะคริลิกที่ตัดเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm จำนวน 80 วง สำหรับหยอดมะม่วงกวนมาวางไว้บนแผ่นพลาสติกที่ปูรอง
- 4) นำมะม่วงกวนมาหยอดใส่แบบอะคริลิกจนครบทุกรู จากนั้นนำแบบอะคริลิกออก ทำเช่นนี้ทุกถาด
- 5) นำถาดที่หยอดมะม่วงกวนเสร็จแล้ว ไปใส่ในชั้นวางของรถเข็นจนเต็มคันรถเข็น
- 6) นำรถเข็นที่ใส่ถาดครบแล้วเข็นเข้าไปในตู้อบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล
- 7) ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิทั้งหมด 7 จุด เข้ากับโปรแกรม Data Logger
- 8) เปิดพัดลมแรงดันสูงและจุดเตาชีวมวล โดยชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงในที่นี่คือไม้ฟืน บันทึกค่าน้ำหนักไม้ฟืนทุกครั้งที่มีการเติมเชื้อเพลิง
- 9) ควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้อยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยดูจากโปรแกรม เมื่ออุณหภูมิเริ่มลดลงให้เติมไม้ฟืน แล้วบันทึกค่าน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ไป
- 10) ทุกๆ 15 นาทีให้สลับวาล์วสลับทิศทางการไหล อบไปจนถึงชั่วโมงที่ 5,6,7,8 ให้เก็บตัวอย่างมะม่วงกวน 1 ถาดในแต่ละชั่วโมงเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์

3.5.3 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบมะม่วงกวน

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบมะม่วงกวนจะมีอยู่ 2 ค่า คือ

3.5.3.1 ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากมะม่วงกวน

เพื่อให้ปริมาณความชื้นในมะม่วงกวนลดลงซึ่งสามารถคำนวณได้ จากการนำมะม่วงกวนไปอบโดยเวลาที่ใช้ในการอบประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นระเหยออกไป แล้วก็นำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งได้ดังนี้

น้ำหนักของมะม่วงกวนจำนวน 1 ถาด ก่อนอบ (w_1) = 0.9755 กิโลกรัม

น้ำหนักของมะม่วงกวนจำนวน 1 ถาด หลังจากอบไป 8 ชั่วโมง (w_2) = 0.4175 กิโลกรัม

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ระเหยออก = น้ำหนักก่อนอบ - น้ำหนักหลังอบ
= (0.9755 - 0.4175) กิโลกรัม

$$= 0.558 \text{ กิโลกรัม / มะม่วงกวน 1 ถาด}$$

ในการอบมะม่วงกวนแต่ละครั้งมีจำนวน 39 ถาด ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องระเหยออกจากมะม่วงกวนหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกมาทั้งหมด} &= (\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกต่อหนึ่งถาด}) \times (\text{จำนวนถาด}) \\ &= (0.558) \times (39) \\ &= 21.762 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นเราจึงต้องการปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่จะทำให้ให้น้ำปริมาณ 21.762 กิโลกรัมนี้ระเหยออกไปจากมะม่วงกวน ให้ความร้อนนี้มีค่าเท่ากับ Q_1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_1 = M_w h_{fg}$$

โดยที่ M_w = ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากมะม่วงกวน

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำในวัสดุ

ค่า h_{fg} ของน้ำที่อยู่ในเนื้อมะม่วงกวนมีค่าแปรตามอุณหภูมิของเนื้อมะม่วงกวน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบมะม่วงกวน จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิ สำหรับวัสดุอบแห้งที่เป็นผลไม้ การหาค่า h_{fg} ที่แท้จริงนั้นหาได้ยาก เพราะน้ำที่อยู่ในเนื้อผลไม้จะมีค่าความดันไอต่ำกว่าที่อยู่ในบรรยากาศปกติเมื่ออุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้นค่า h_{fg} ของผลไม้อบที่ใช้ในการคำนวณมีค่ามากกว่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอของน้ำในสภาพปกติที่อยู่ในระดับอุณหภูมิเดียวกัน 10%

ในการอบมะม่วงกวน อุณหภูมิที่ใช้ในการอบอยู่ในช่วงประมาณ 55-65 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า h_{fg} ของน้ำที่ 60°C มีค่าเท่ากับ 2357.7 kJ/kg ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่า } h_{fg} \text{ ของการระเหยน้ำในมะม่วงกวน} &= (2357.7 \text{ kJ/kg}) \times (1.1) \\ &= 2593.47 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณ ความร้อนที่ต้องการในการระเหยน้ำจำนวน 21.762 กิโลกรัม ออกจากมะม่วงกวน 39 ถาด มีค่าเป็น

$$\begin{aligned} Q_1 &= (21.762 \text{ kg}) \times (2593.47 \text{ kJ/kg}) \\ &= 56,439.0941 \text{ kJ} \end{aligned}$$

นั่นคือ ในการอบมะม่วงกวนจำนวน 39 ถาด ต้องใช้ความร้อนจำนวน 56,439.0941 kJ เพื่อใช้ในการระเหยน้ำออกจากมะม่วงกวนให้ปริมาณความชื้นลดลง

3.5.3.2 ความร้อนที่ทำให้เนื้อมะม่วงกวนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จากอุณหภูมิเนื้อมะม่วงกวนก่อนอบ 27 องศาเซลเซียส (300.15 เคลวิน) ไปเป็น 50 องศาเซลเซียส (323.15 เคลวิน) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Q = mC_p \Delta T$$

m = มวลของมะม่วงกวน

C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของมะม่วงกวน (3.77 kJ/kg.k)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ

จะได้ $Q_2 = (16.2825 \text{ kg}) \times (3.77 \text{ kJ/kg.k}) \times (323.15 \text{ K} - 300.15 \text{ K})$

$$Q_2 = 1,411.8555 \text{ kJ}$$

นั่นคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้เนื้อมะม่วงกวนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 48.3842

kJ

เพราะฉะนั้น ความร้อนทั้งหมดที่ต้องใช้ในระบบ $= Q_1 + Q_2$

$$= 56,439.0941 \text{ kJ} + 1,411.8555 \text{ kJ}$$

ดังนั้น ความร้อนทั้งหมดที่ต้องใช้ในระบบมีค่าเท่ากับ 57,899.3338 kJ

3.6 ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลองอบแห้งมะม่วงกวนภายในเวลา 1 ชั่วโมง (3600วินาที) ใช้เชื้อเพลิง (ไม้) ไปจำนวน 20 kg ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ไม้) มีค่าเท่ากับ 14.98 MJ/kg ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นเราสามารถเอามาคำนวณขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยคำนวณได้จาก

$$\text{ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน} = \frac{\text{น้ำหนักเชื้อเพลิง}}{\text{จำนวนเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง}} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง}$$

$$= \frac{20 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} \times 14,980 \text{ kJ/kg}$$

$$= 83.22 \text{ kJ/s}$$

ดังนั้น จะได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาด 83.22 kJ/s ตอบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองโครงการการผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล สำหรับกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยแบ่งขั้นตอนการทดลอง ดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบและสร้างระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล

4.2 การออกแบบระบบจ่ายลมเข้าเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล

4.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนร่วมกับระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลและระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหล

4.1 การออกแบบและสร้างระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล

4.1.1 หลักในการออกแบบ

การออกแบบของเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชน ในโครงการวิจัยนี้จะเป็นการออกแบบ เพื่อเป็นการพัฒนาระบบอบแห้งให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสามารถทำให้ความร้อนภายในตู้มีอุณหภูมิได้ตามความต้องการ นอกจากนี้การออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชน ยังนำเอาระบบสลับทิศทางการไหลลมร้อนเข้ามาในระบบอบแห้ง เพื่อให้ความร้อนที่ถูกใช้ในตู้อบได้น่ามากลับมาใช้ใหม่และเพื่อให้การอบมีความทั่วถึงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในการออกแบบเครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชนในโครงการวิจัยนี้จึงคำนึงถึง

1. ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของระบบ เพื่อประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น จึงมีการคิดพัฒนา เพื่อให้อากาศที่ถูกนำเข้ามาใช้ในการพาความร้อน

2. ความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบของฉนวน จะต้องออกแบบโดยคุณสมบัติของฉนวนและราคาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่พอเหมาะในราคาทุนที่น้อยที่สุด

3. เครื่องผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับเครื่องอบแห้งชุมชนจะต้องสามารถทำการถอดประกอบหรือเคลื่อนย้ายและทำการบำรุงรักษาได้ง่าย เพื่อความสะดวก

4. การออกแบบท่อที่พาความร้อนเข้าสู่ตู้อบ ระบบสลับทิศทางการไหล และจากตู้ที่จะนำอากาศที่ใช้แล้วมาใช้ซ้ำจะต้องมีขนาดที่พอเหมาะเพื่อราคาที่ไม่ว่างจนเกินไป

4.1.2 ขั้นตอนในการออกแบบ

1. การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ควรจะให้มีความเหมาะสมกับเตาชีวมวลที่นำมาใช้ เนื่องจากต้องการให้ความร้อนไหลเวียนอยู่ในห้องที่และมีประสิทธิภาพ เพราะฉะนั้นจึงออกแบบให้มีขนาด $708 \times 1,541 \times 1,593 \text{ mm}^3$ ส่วนประกอบของโครงสร้างจะประกอบขึ้นจากเหล็กกล่อง ดังรายละเอียดรูปที่ 4.1 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1.1 แผ่นปิดด้านบนและด้านล่าง จะมีลักษณะโค้งเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น

1.2 แผ่นปิดด้านข้าง ทำเป็นประตูปิดอยู่รอบด้านเตา มีขนาด $450 \times 598 \text{ mm}^2$ โดยประตูทำจากเหล็กประกบกัน โดยมีฉนวนเซรามิกอยู่ภายใน

1.3 ภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มีลักษณะเป็นท่อยาวจำนวน 33 ท่อ โดยท่อมีความยาว $1,500 \text{ mm}$ เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm ภายในท่อมีเหล็กเกลียวเพื่อเพิ่มความเร็วลม ซึ่งการใช้ท่อเป็นอุปกรณ์รับความร้อนเพื่อให้การไหลของอากาศไม่มีสิ่งเจือปนเข้าสู่ระบบการไหล

1.4 ข้อต่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่จุดการไหลทั้งทางเข้าและทางออกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะออกแบบให้ท่อมีขนาดลดลงเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ และยังเป็นลดขนาดทางเดินของอากาศให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถต่อเข้ากับท่อทางเดินของอากาศได้ โดยจะมีปะเก็นแบบ PTFE



รูปที่ 4.1 โครงสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.2 การออกแบบระบบจ่ายลมเข้าเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล

4.2.1. การออกแบบตู้อบ

ตู้อบที่ออกแบบจะมีขนาดที่ไม่ใหญ่มากเนื่องจากจะทำให้ความร้อนที่เข้ามาในตู้สามารถใช้ประโยชน์ในการอบได้เต็มที่และสามารถควบคุมความร้อนได้ง่าย

1. ตู้อบจะทำด้วยโครงเหล็กขนาด 1,155 x 3,685 x 2,160 mm³ โดยจะเป็นแผ่นฉนวนประกบติดกันที่บริเวณด้านบนและด้านข้างโดยฉนวนเป็นแบบ Sandwich Panel (Strong joint) ฉนวนเป็นแบบโพนีโพรพิลิตเทนรายละเอียดดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.2 ตู้อบลมร้อน(ด้านข้าง)
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

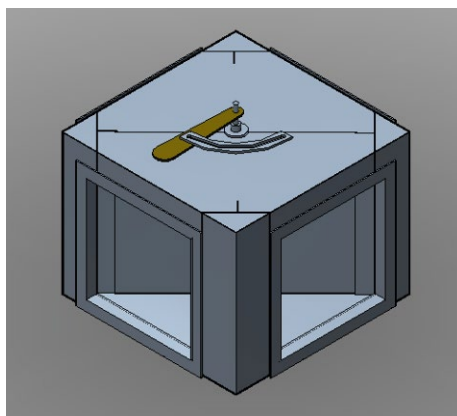


รูปที่ 4.3 ตู้อบลมร้อน(ด้านหน้า)
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.4 ชั้นตะแกรงสำหรับวางอาหารที่อบแห้ง
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

2. ระบบสลับทิศทางการไหล จะอยู่บริเวณด้านบนของตู้อบ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ระบบสลับทิศทางการไหลของอากาศ
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

3. การออกแบบท่อทางเดินของของไหลทำการออกแบบเป็นท่อเหลี่ยม ตัวท่อที่ใช้เป็นทางเดินของอากาศจะทำจากเหล็กอบสังกะสี ซึ่งท่อนี้จะมีขนาดพื้นที่หน้าตัด $450 \times 450 \text{ mm}^2$ โดยใช้เหล็กฉากประกบเข้าติดกันด้วย Bolt ตัวท่อทางเดินที่จะต่อกับพัดลมจะถูกขยายปากออกและ

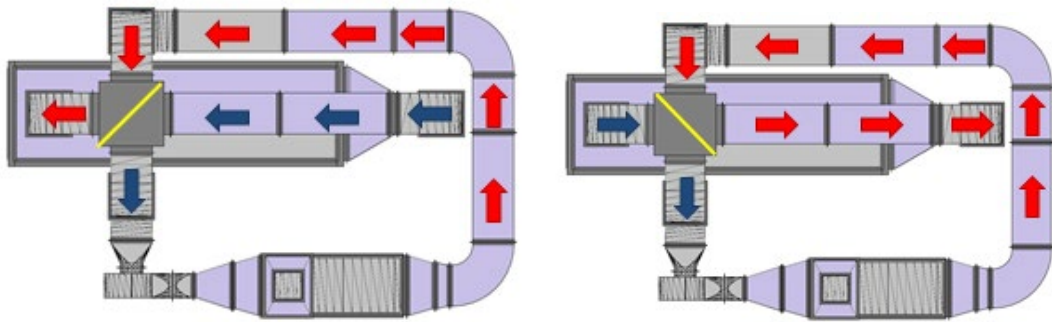
บริเวณที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะถูกหุบปากลงเพื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ โดยท่อส่วนนี้จะทำจากเหล็กดัดรายละเอียดรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การออกแบบท่อทางเดินของของไหล
(ที่มา: สุพันธ์ศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.2.2 หลักการทำงานของระบบสลับทิศทางการไหล

เริ่มต้นด้วยการจุดไฟที่เตาชีวมวลจะได้เปลวไฟออกมา ความร้อนที่ได้จากเปลวไฟนี้จะทำให้อากาศที่พัดลมดูดอากาศดูดเข้ามาไหลผ่านท่อที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติไปเป็นประมาณ 70 องศาเซลเซียส อากาศร้อนก็จะไหลไปตามท่อไปเข้าระบบสลับทิศทางการไหล ระบบสลับทิศทางการไหลนี้สามารถปรับได้ว่าจะให้อากาศร้อนนั้นไหลไปในทิศทางใด (1) ปรับให้อากาศร้อนไหลเข้าตู้อบทางด้านบนตู้อบ ก็จะทำให้อากาศร้อนไหลเข้าในตู้อบทางด้านบน ไหลผ่านผลิตภัณฑ์นำมาอบแห้ง ความร้อนจากอากาศร้อนก็จะถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ อากาศร้อนที่สูญเสียความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิลดลงแล้วจะไหลออกจากตู้อบทางด้านหลังตู้อบไหลกลับไปยังระบบสลับทิศทางการไหลอีกครั้งก่อนที่จะไหลเข้าพัดลมดูดอากาศ เพื่อนำอากาศนั้นมาให้ความร้อนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (2) ปรับให้ลมร้อนไหลเข้าตู้อบด้านล่างตู้อบและไหลออกทางด้านบนตู้อบ กระบวนการทำงานเหมือนเดิมทุกขั้นตอนต่างกันที่ทิศทางที่ลมร้อนเข้าและออกจากตู้อบเท่านั้น ดังรายละเอียดรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.7 ทิศทางการไหลของลมร้อน
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.8 เตาซีววมวล
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.9 พัดลมดูดอากาศดูดความร้อนเข้ามาไหลผ่านท่อทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.3 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

4.3.1 ข้อมูลที่ได้ทำการบันทึก

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัย มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

T1 = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าพัดลม

T2 = อุณหภูมิหลังออกจากพัดลม

T3 = อุณหภูมิที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

T4 = อุณหภูมิก่อนเข้าสู่อบ

T5 = อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางตู้อบ

T6 = อุณหภูมิที่ทางออกตู้

T7 = อุณหภูมิที่ปล่องทางออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

น้ำหนักก่อนอบ

น้ำหนักหลังอบ

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง

4.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.3.1 นำมะม่วงกวนที่ผ่านการกวนจากโรงงานแล้ว มาใช้เพื่อที่จะทำการทดลอง รายละเอียดดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 มะม่วงกวนจากโรงงาน
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.3.3.2 นำแผ่นพลาสติกมาปูรองบนถาด

4.3.3.3 นำแผ่นแบบอะคริลิกที่ตัดเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm จำนวน 80 วงสำหรับหยอดมะม่วงกวนมาวางไว้บนแผ่นพลาสติกที่ปูรองรายละเอียดดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 มะม่วงกวนจัดวางในหลุม
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.3.3.4 นำมะม่วงกวนมาหยอดใส่แบบอะคริลิกจนครบทุกรู จากนั้นนำแบบอะคริลิกออก ทำเช่นนี้ทุกถาดดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 มะม่วงกวนหยอดใส่รู
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)

4.3.3.5 นำถาดที่หยอดมะม่วงกวนเสร็จแล้วไปใส่ในชั้นวางของรถเข็นจนเต็มคันรถเข็นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ชั้นวางของรถเข็น
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)

4.3.3.6 นำรถเข็นที่ใส่ถาดครบแล้วเข็นเข้าไปในตู้อบแห้งแบบสลับทิศทางการไหล

ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 มะม่วงกวนใส่ตู้อบแห้ง
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.3.3.7 ต่อสายเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิทั้งหมด 7 จุด เข้ากับ โปรแกรม Data

Logger ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 สายเทอร์โมคัปเปิลเปิดต่อกับ Data Logger
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

4.3.3.8 เปิดพัดลมแรงดันสูงและจุดเตาชีวมวล โดยชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงในทันที คือ ไม้ฟืน บันทึกค่าน้ำหนักไม้ฟืนทุกครั้งที่มีการเติมเชื้อเพลิง

4.3.3.9 ควบคุมอุณหภูมิในห้องอบให้อยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยดูจากโปรแกรม เมื่ออุณหภูมิเริ่มลดลงให้เติมไม้ฟืน แล้วบันทึกค่าน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

4.3.3.10 ทุกๆ 15 นาทีให้สลับวาล์วสลับทิศทางการไหล ออบไปจนถึงชั่วโมงที่ 6,7,8 ให้เก็บตัวอย่างมะม่วงกวน 1 ถาดในแต่ละชั่วโมง เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์

4.3.3 ตัวอย่างการคำนวณจากผลการทดลอง

การคำนวณหาอัตราการอบแห้งทั้งหมด ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการอบแห้ง} &= (\text{น้ำหนักทั้งหมดก่อนอบ} - \text{น้ำหนักทั้งหมดหลังอบ}) / \text{เวลาที่ใช้} \\ &= \frac{38.0445 \text{ kg} - 16.2825 \text{ kg}}{8 \text{ hr}} \end{aligned}$$

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = 2.72 \text{ kg / hr}$$

หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้งของมะม่วงกวน 1 ช้อน

$$\begin{aligned} \% \text{ ความชื้นมาตรฐานเปียก} &= [(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) / \text{น้ำหนักก่อนอบ}] \times 100 \\ &= \frac{12.78 - 6.065}{12.78} \times 100 \end{aligned}$$

$$\% \text{ ความชื้นมาตรฐานเปียก} = 52.54 \%$$

$$\% \text{ ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = [(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) / \text{น้ำหนักก่อนอบ}] \times 100$$

$$= \frac{12.78 - 6.065}{6.065} \times 100$$

$$\% \text{ ความชื้นมาตรฐานแห้ง} = 110.72\%$$

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1) การทดลองอบมะม่วงกวน

จากการทดลองอบมะม่วงกวน เปิดพัดลมแรงดันสูงและจุดเตาชีวมวล โดยใช้น้ำหนักของเชื้อเพลิงในที่นี่ คือ ไม้ฟืน บันทึกค่าน้ำหนักไม้ฟืนทุกครั้งที่มีการเติมเชื้อเพลิงควบคุมอุณหภูมิในห้องอบให้อยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส โดยดูจากโปรแกรม เมื่ออุณหภูมิเริ่มลดลงให้เติมไม้ฟืน แล้วบันทึกค่าน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ไปทุกๆ 15 นาทีให้สลับวาล์วสลับทิศทางกรไหลอบไปจนถึงชั่วโมงที่ 5, 6, 7, 8 แล้วเก็บตัวอย่างมะม่วงกวน 1 ถาดในแต่ละชั่วโมง เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ปรากฏดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากการทดลองอบมะม่วงกวนผ่านไป 5 ชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างมะม่วงกวน ในชั่วโมงที่ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 เมื่อพิจารณาความชื้นของมะม่วงกวนพบว่า ตัวอย่างมะม่วงกวนจะค่อยๆ ลดลง โดยสังเกตจากลักษณะภายนอกของมะม่วงกวน เมื่อเปรียบเทียบกับในชั่วโมงที่ 5 กับ ชั่วโมงที่ 10 พบว่า มะม่วงกวนในชั่วโมงที่ 5 สามารถนำไปรับประทานได้ดีที่สุด ส่วนในชั่วโมงที่ 6, 7, 8, 9 และ 10 มะม่วงกวนจะมีลักษณะแห้งจนเกินไปตามลำดับ เพราะฉะนั้น การอบแห้งมะม่วงกวนเวลาที่ดียิ่งที่สุดคือ 5 ชั่วโมง



รูปที่ 4.16 ลักษณะมะม่วงกวนที่อบในชั่วโมงที่ 5-10

(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

ตารางที่ 4.1 การทดลองอบตู้เปล่า โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาซีวมวลเป็นมุม
90 องศา

Minute	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
2	42.929	47.305	74.606	71.729	64.572	63.463	204.686
4	42.802	48.234	80.178	78.982	69.078	68.103	217.342
6	42.654	48.053	77.061	80.991	72.121	71.103	208.339
8	42.484	48.725	71.642	77.874	72.14	70.756	191.5
10	43.100	47.826	67.215	73.126	70.05	68.512	178.67
12	43.239	47.890	71.880	72.533	68.796	67.383	199.233
14	44.925	47.964	81.823	78.597	71.281	70.231	226.39
16	46.26	48.583	84.44	83.389	74.548	73.529	224.911
18	46.376	48.221	78.933	82.253	75.439	74.128	209.054
20	44.949	48.295	73.031	77.926	73.877	72.197	190.611
22	44.554	48.285	68.87	73.306	71.25	69.317	177.548
24	44.764	48.088	71.678	72.982	69.835	68.131	199.074
26	44.428	48.409	82.206	79.163	72.134	70.838	225.601
28	45.814	49.014	84.631	83.783	75.319	74.205	222.424
30	45.844	48.639	79.845	82.252	75.86	74.29	206.219

ตารางที่ 4.2 การทดลองอบตู้เป่า โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวลเป็นนม
45 องศา

Minute	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
2	41.47	43.7	62.072	61.94	55.893	55.312	164.435
4	41.501	46.027	64.953	65.687	58.17	57.732	174.299
6	41.905	46.307	66.264	68.389	60.369	59.544	177.331
8	42.516	46.411	66.102	69.644	62.077	61.158	176.221
10	42.733	46.507	65.326	69.806	63.106	61.992	172.245
12	42.074	46.593	64.088	69.052	63.39	62.095	166.633
14	41.998	46.547	62.99	67.934	63.251	61.855	162.264
16	41.987	46.5	62.333	66.75	62.881	61.457	161.156
18	42.463	46.732	65.581	66.968	62.674	61.393	176.549
20	45.81	48.444	70.154	78.021	76.167	74.186	183.332
22	45.371	48.382	67.76	75.082	74.231	72.181	175.17
24	45.401	47.925	65.494	72.37	72.23	70.203	166.802
26	45.117	47.517	63.49	69.982	70.41	68.391	159.546
28	45.249	47.329	61.67	67.761	68.618	66.715	152.71
30	45.061	47.039	60.315	65.978	67.068	65.222	146.646

ตารางที่ 4.3 การทดลองอบตู้ปลา โดยปิดวาล์วอากาศไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาซีมวล

Minute	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
2	33.749	44.487	57.049	56.457	57.128	56.121	121.123
4	34.179	44.374	53.822	55.222	54.73	53.542	116.541
6	34.441	44.523	53.587	54.78	53.271	52.294	116.02
8	34.739	44.522	53.183	54.413	52.519	51.688	112.885
10	34.829	44.703	52.385	53.878	51.894	51.112	107.201
12	35.061	44.696	51.545	53.091	51.252	50.408	101.686
14	34.904	44.371	51.745	52.756	50.325	49.594	106.493
16	35.178	44.571	53.474	54.508	51.052	50.366	116.713
18	35.58	45.126	54.314	55.837	51.911	51.354	118.72
20	35.813	45.486	54.421	56.299	52.448	51.81	117.951
22	35.42	44.561	54.455	56.45	52.86	52.049	120.035
24	35.855	44.603	54.901	56.723	53.341	52.382	123.734
26	35.873	44.999	54.807	56.855	53.69	52.64	122.403
28	35.477	44.754	54.224	56.502	53.657	52.607	119.017
30	35.306	44.635	52.891	55.317	53.188	52.124	111.227

ตารางที่ 4.4 การทดลองอบมะม่วงกวน

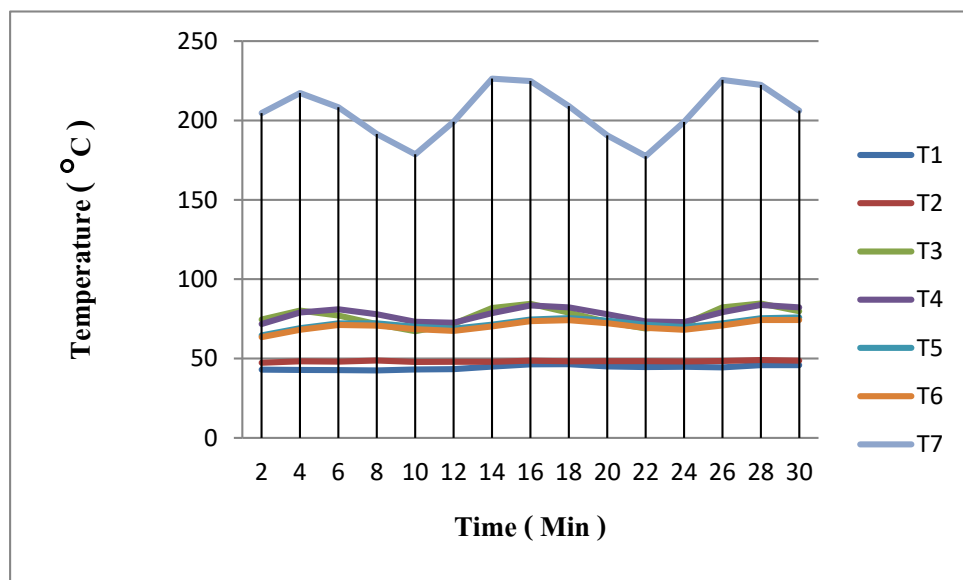
Time	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
20.30	33.06	35.33	54.47	56.68	53.71	52.73	142.99
21.00	32.67	36.27	49.94	57.77	54.24	57.47	176.46
21.30	34.50	36.04	49.58	56.06	56.39	55.59	188.48
22.00	32.31	36.72	51.77	53.24	51.38	50.57	219.70
22.30	32.96	36.77	53.48	55.79	54.48	53.48	216.72
23.00	33.31	35.87	54.48	55.79	54.71	53.38	205.72
23.30	34.22	36.27	53.57	56.10	53.57	52.48	188.24
00.00	34.27	35.94	55.43	59.20	55.76	54.93	187.52
00.30	33.72	36.84	54.73	58.82	57.47	56.92	208.53
01.00	33.23	36.33	62.14	66.18	66.98	70.51	228.23
01.30	34.29	36.18	51.89	63.87	56.73	65.57	231.57
02.00	34.23	35.60	58.59	63.28	63.33	65.72	220.04
02.30	33.91	36.18	51.89	63.87	56.73	65.57	231.57
03.00	32.67	36.16	61.07	66.06	65.91	64.45	177.07
03.30	32.99	36.22	57.38	67.84	63.91	60.83	219.68
04.00	33.11	36.20	60.49	65.52	59.62	62.66	216.27
04.30	32.98	35.79	50.04	59.67	57.15	58.67	206.15

ตารางที่ 4.5 การใช้เชื้อเพลิงของเตาชีวมวล โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศไหลเข้าที่มุมต่างๆ ที่เวลาเท่ากันคือ 1 ชั่วโมง

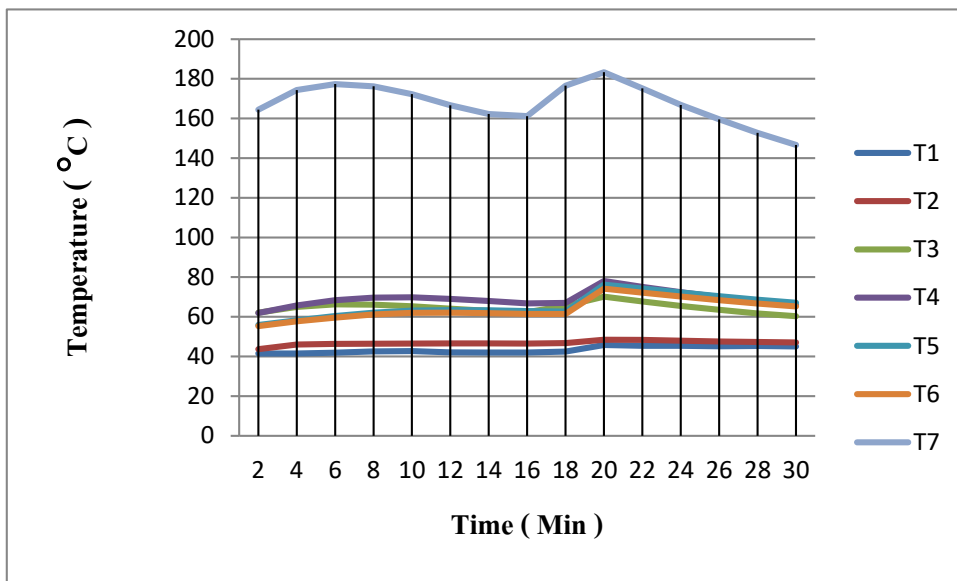
มุมของวาล์วอากาศ (องศา)	0	45	90
น้ำหนักเชื้อเพลิง (kg)	12.48	19.88	20.84

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลน้ำหนักมะม่วงกวน 1 ชั้น ที่ได้หลังจากทำการอบแห้ง

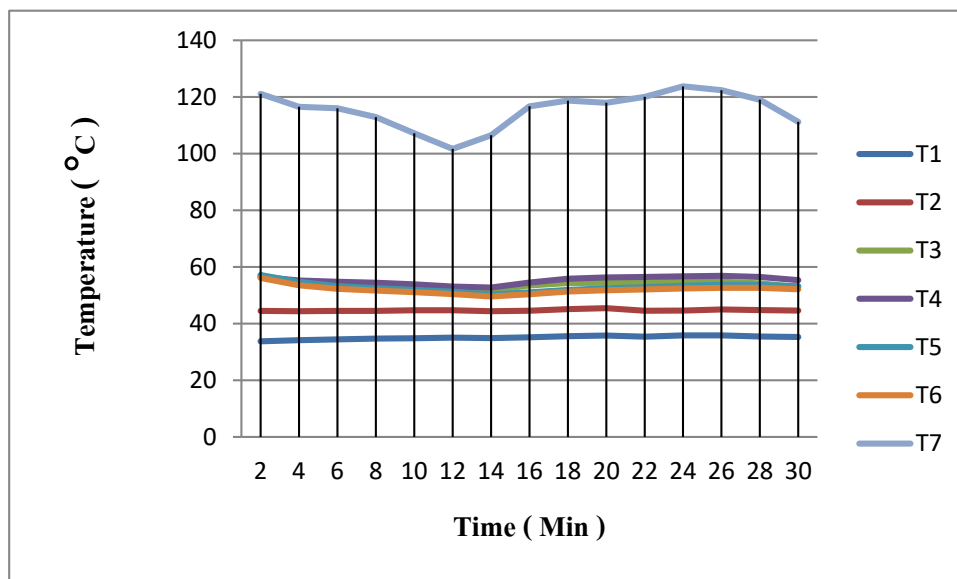
น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักที่ลดลง (g)	%ความชื้นมาตรฐานเปียก	%ความชื้นมาตรฐานแห้ง	น้ำหนักเชื้อเพลิงต่อ 1 ชั้น(g)
12.78	6.065	6.715	52.543	110.717	48.94



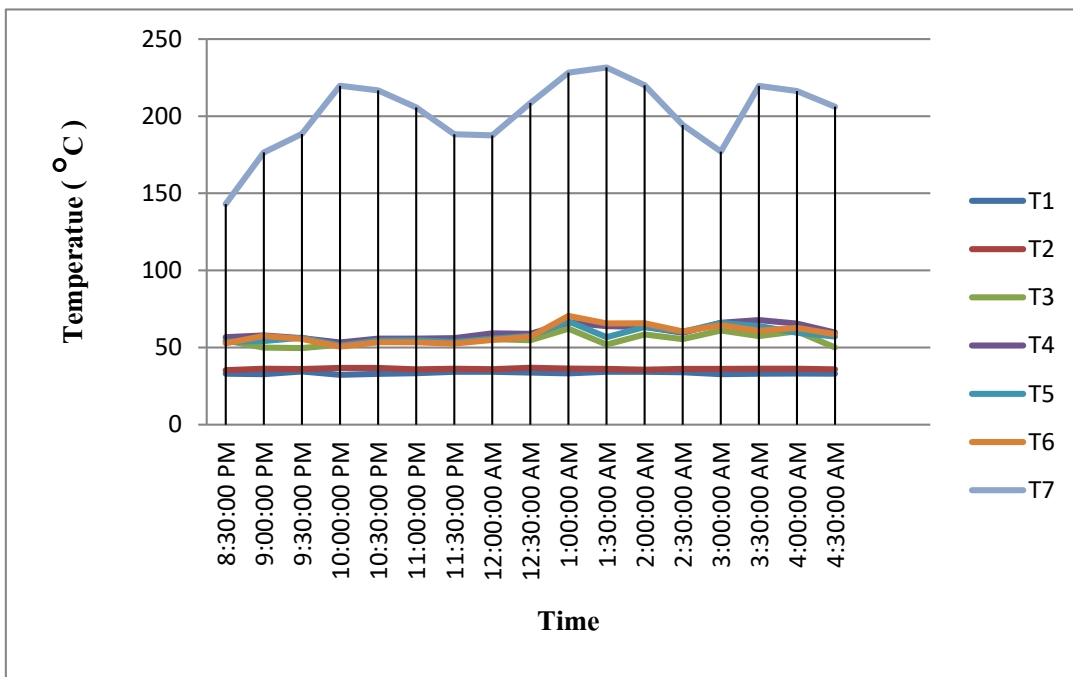
รูปที่ 4.17 การทดลองอบตู้เป่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวลเป็นมุม 90 องศา (ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



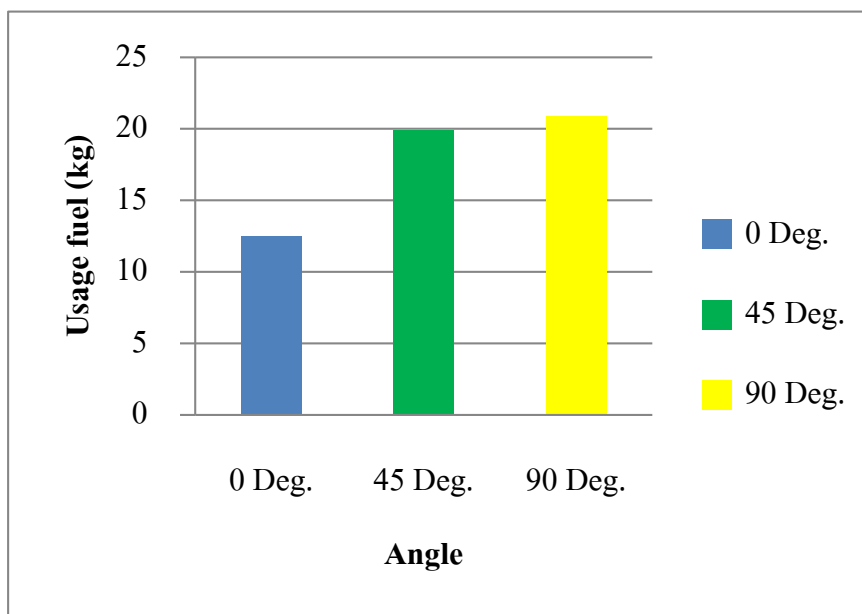
รูปที่ 4.18 การทดลองอบตู้เปล่า โดยที่เปิดวาล์วอากาศให้อากาศเข้าเตาชีวมวลเป็นมม 45 องศา (ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.19 การทดลองตู้อบเปล่า โดยที่ปิดวาล์วอากาศไม่ให้อากาศเข้าไปในเตาชีวมวล (ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.20 การทดลองอบมะม่วงกวน
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)



รูปที่ 4.21 การใช้เชื้อเพลิงของเตาชีวมวล โดยเปิดวาล์วอากาศให้อากาศไหลเข้าที่มุมต่างๆที่เวลาเท่ากันคือ 1 ชั่วโมง
(ที่มา: สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์, 2558)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษา การผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับวัสดุที่นำมาทดลอง คือ มะม่วงกวน ส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ คือ ไม้พิน โดยศึกษาจากผลของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบ อัตราการใช้เชื้อเพลิง เพื่อที่จะหาช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการอบมะม่วงด้วยกระบวนการผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการทดลอง อบมะม่วงกวนที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการอบมะม่วงกวนและทำการทดลองอบเป็นเวลา 8 ชั่วโมง อัตราการอบแห้ง 2.72 kg/hr โดยทำการสับทิศทางการไหลของลมร้อนทุกๆ 15 นาที พบว่ามะม่วงกวนที่ทำการอบนั้นมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกับการอบแบบการใช้แก๊ส LPG มากนัก ซึ่งเมื่อได้นำมะม่วงกวนที่ทำการอบไปให้กลุ่มผลิตภัณฑ์ชุมชนทดสอบดูนั้นพบว่าเป็นที่น่าพอใจ

ในการทดลองครั้งนี้เมื่อเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงระหว่างชีวมวลกับ LPG พบว่าเตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงมากกว่าแก๊ส LPG เตาชีวมวลได้มีการใช้เชื้อเพลิงไม้พินทั้งหมดประมาณ 152.7 kg ซึ่งเชื้อเพลิงไม้พินมีราคา กิโลกรัมละ 1 บาท คิดเป็นเงิน 152.7 บาท คิดเป็นค่าจำนวนเงินได้ค่าประมาณ 2.01 บาท/kg การอบแห้งของชุมชนที่ใช้แก๊ส LPG ใช้เชื้อเพลิงแก๊สทั้งหมดประมาณ 45 kg ซึ่งเชื้อเพลิงแก๊สมีราคาประมาณ กิโลกรัมละ 18.54 บาท คิดเป็นเงิน 834.3 บาทคิดเป็นค่าจำนวนเงินได้ประมาณ 10.96 บาท/kg ซึ่งแต่เมื่อเทียบออกมาเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแล้ว (ไม่คำนวณค่าใช้จ่ายของฟัดลมเนื่องจากใช้ฟัดลมมีขนาดเท่ากัน) เตาชีวมวลมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำกว่าแก๊ส LPG ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ประมาณ 8.95 บาท/kg

ระบบสลับทิศทางการไหลสามารถทำงานได้ดีสามารถให้ลมร้อนทั่วถึงทั้งสองด้าน เมื่อเปรียบเทียบการอบโดยการสลับทิศทางการไหลของลมร้อนกับการสลับรถเข็นในระหว่างการอบทุก 15 นาที ผลการทดลองพบว่าการอบมะม่วงกวน โดยวิธีการสลับทิศทางการไหลของลมร้อนมีแนวโน้มการลดความชื้นที่สูงกว่าแบบการสลับรถเข็น เนื่องจากการสลับรถเข็นนั้นจะต้องเปิดตู้ออกมาเพื่อสลับตำแหน่งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนจากตู้อบออกสู่ภายนอก แต่การสลับทิศทางการไหลของลมร้อนนั้นไม่จำเป็นต้องเปิดตู้ออกจึงไม่มีการสูญเสียความร้อนจากตู้อบ

จากการทดลอง อบตู้เปล่าโดยใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิง ด้วยเตาชีวมวลแบบ up draft ซึ่งได้ทดลองเปิดวาล์วอากาศที่มุมต่างๆดังนี้

-ที่มุม 0 องศา พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงไปในอัตรา 12.48 kg / hr ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส

-ที่มุม 45 องศา พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงไปในอัตรา 19.88 kg / hr ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 165 องศาเซลเซียส

-ที่มุม 90 องศา พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงไปในอัตรา 20.84 kg / hr ซึ่งสามารถให้อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 210 องศาเซลเซียส

จากข้างต้น เราสามารถสรุปได้ว่า การปรับวาล์วอากาศที่มุม 90 องศาเหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองอบแห้ง เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้คืออุณหภูมิที่สูงแล้วอัตราการใช้เชื้อเพลิงก็ไม่ต่างจากการปรับวาล์วอากาศที่มุม 45 องศา

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องครั้งต่อไป ควรทดลองปรับปรุงและแก้ไขอุปกรณ์เพิ่มเติม ดังนี้

1. คิดตั้งและพัฒนากระบวนการควบคุมอุณหภูมิในห้องอบ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ควบคุมได้แม่นยำและสังเกตอุณหภูมิได้ง่าย
2. ในการอบอาจใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากการอบ เช่น เม็ดมะม่วงที่เหลือทิ้งจากการทำมะม่วงกวนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทน ไม้พินเพื่อลดราคาค้นทุนเชื้อเพลิง
3. พัฒนาเครื่องให้มีระบบการใช้ทั้งลมร้อนสลับกับการใช้ลมเย็นเพื่อให้ไล่ความชื้นได้ดีขึ้น

4. ในการป้อนเชื้อเพลิงหากขนาดของเชื้อเพลิงมีขนาดและน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน อาจใช้ระบบสายพานลำเลียงในการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อประหยัดแรงงานคนและเพื่อให้ได้อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่แน่นอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544, การประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. รายงานวิจัย.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547, รายงานโครงการพัฒนาความร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน, รายงานวิจัย.
- [3] กฤษพนธ์ เพ็ญศรี, 2546, **ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 142 หน้า.
- [4] ชนากานต์ อาสาสุจริต, 2538, การอบแห้งพริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สชีวมวล, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [5] ธเนศ อุทิศธรรม วีรชัย สุนทรรังสรรค์ ะพันธ์ ปิยะกุลดำรง, 2550, **ศักยภาพชีวมวลเหลือทิ้งในประเทศไทย**, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3, 23-25 พฤษภาคม 2550, โรงแรมไอยกสกาย จังหวัดกรุงเทพฯ.
- [6] ณัฐวุฒิ คุชฎี ชูรัตน์ ธารารักษ์ และนิรันดร์ สุวรรณสิทธิ์, 2550, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการวิจัยการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ในการเดินเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าบนพื้นที่เกาะ, เสนอการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [7] บวรพรรณ คดีการ, 2529, ตัวกรองที่เหมาะสมสำหรับผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านไม้, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [8] วิชัย พรกิตติวัฒน์, 2555, **วิกฤตพลังงานเชื่อมโยง AEC และไทย 3/4**, บทความวิชาการ.
- [9] วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, 2548, เทคโนโลยีอบแห้ง ในอุตสาหกรรมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1 : สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี.
- [10] วรณูช แข็งสว่าง, 2551, **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] ศิรินุช จินดารักษ์, 2548, **เอกสารประกอบการสอน รายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน**, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- [12] ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 2549, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, โครงการการศึกษาการพัฒนาเตาเผาชีวมวล ประสิทธิภาพสูงสำหรับอุตสาหกรรมชนบท กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
- [13] ศูนย์ส่งเสริมชีวมวล, 2550, **ความรู้พื้นฐานและศักยภาพชีวมวล**, เอกสารประกอบการบรรยาย Biomass Power Plant Technologies, 3 พฤษภาคม 2550, โรงแรมสยามซิตี้ กรุงเทพฯ.
- [14] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551, **การประเมินศักยภาพเชิงปริมาณ**, โครงการจัดทำระบบฐานข้อมูลพลังงานเพื่อวิเคราะห์และวางแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ.
- [15] สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ์, 2539, วิศวกรรมรถไฟเดินตาม กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 417 หน้า.
- [16] สำเร้ง จักรใจ, 2547, **การเผาไหม้**, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ, หน้า 76-77.
- [17] DEPPEN, Muri. 2003, AOAC International. In: CABALLERO, B., L.C. TRUGO and P.M. FINGLAS, eds. Encyclopedia of food sciences and nutrition. 2nd ed. Vol.1. Amsterdam : Academic Press, pp. 79-81.
- [18] Henderson, S.M. and Perry, R.L. 1974. Agricultural process engineering. 2nd ed. Pp 298-299.
- [19] Kaew-On, J. Waewsak, J., Mani, M. and Phethuayluk, S., 2006, "Biomass Conversion Technology: Gasification," *Thaksin Science Journal*, Vol. 2, pp. 56–67.

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – ชื่อสกุล นายสุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์
2. วัน เดือน ปี เกิด 01 พฤษภาคม 2525
3. ที่อยู่ปัจจุบัน 23/220 ม.1 ต. โปไร่หวาน อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
โทรศัพท์ 0-3249-3266 โทรสาร 0-3249-3266
อีเมลล์ : sunantasak@hotmail.com
4. ที่ทำงานปัจจุบัน สาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
5. ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์
6. ประสบการณ์การทำงาน
พ.ศ. 2549-พ.ศ. 2551 ผู้ช่วยวิจัย ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน สาขาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ต.ป่าพะยอม
อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง
7. ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2551 วท.ม. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ
พ.ศ. 2547 ค.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
8. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ - พลังงานทดแทน
- การจัดการและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน
9. รายวิชาที่สอน - ฟิสิกส์พื้นฐาน
- ฟิสิกส์ 1
- ฟิสิกส์ 2
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2
- ฟิสิกส์ของคลื่น
- วิทยาศาสตร์พลังงานเบื้องต้น
- อุดุณิยวิทยา

10. ประวัติการได้รับทุนวิจัย

ปี	ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	สถานะ	งบประมาณ (บาท)
2549	การผลิตไฟฟ้าโดยเครื่องยนต์ชีวมวลสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชุมชนขนาดเล็ก	งบประมาณแผ่นดิน	ผู้ร่วมวิจัย	1,710,000
2550	การพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับการทำนาข้าวในจังหวัดพัทลุง	งบประมาณแผ่นดิน	ผู้ร่วมวิจัย	800,000
2550	การประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	ผู้ร่วมวิจัย	8,000,000
2551	การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลขนาด 10 kWp ด้วยกระบวนการแก๊ส ชิฟเคชั่น โดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา	สกว.	ผู้ร่วมวิจัย	200,000
2551	การพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมสำหรับระบบประปาหมู่บ้านในพื้นที่ชนบทห่างไกลของจังหวัดพัทลุง	สกว.	ผู้ร่วมวิจัย	200,000
2554	การศึกษาการใช้ชีวมวลในภาคเศรษฐกิจต่างๆและชีวมวลที่ยังไม่ใช้ประโยชน์ในจังหวัดเพชรบุรี	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	หัวหน้าโครงการ	450,000
2556	การผลิตไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ชีวมวลสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชุมชนขนาดเล็กในจังหวัดเพชรบุรี	งบประมาณแผ่นดิน (วช.)	หัวหน้าโครงการ	1,644,000
2557	โครงการวิจัยกากของเหลือจากตาลโตนดมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไฟฟ้าชีวมวล	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	ผู้ร่วมวิจัย 30%	499,680

2558	การผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	หัวหน้าโครงการ	800,000
2559	การใช้ไดโอดเปล่งแสงเพื่อลดจับหมึกกล้วยในการประมงพื้นบ้าน	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	ผู้ร่วมวิจัย 30%	811,800
2559	การพัฒนาแก้วบิสมัทบอโรซิลิเกตที่เติม Nd ³⁺ และ Er ³⁺ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเปล่งแสงย่านอินฟราเรด	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)	ผู้ร่วมวิจัย	489,376

11. ผลงานตีพิมพ์

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ลงวารสารระดับชาติ

1. สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. (2553). พลังงานลม. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 7, 69-74.
2. สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. (2554). การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานเชื้อเพลิงแกลบในจังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 8, 3-7.
3. สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. (2554). คุณลักษณะทางเชื้อเพลิงของแกลบในจังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 8, 8-13.

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ

International Journal

1. **Ravangvong, S.**, Waewsak, J., Mani, M. Buaphet, P. and Panichayunon, P., 2007, "The Design and Testing of a Steam Biomass Gasification System" **International Conference on Engineering Applied Science and Technology**, 21-23 November, Bangkok, Thailand. pp. 24-27.
2. Jompob Waewsak, Muantakan Phuetroj and **Sunantasak Ravangvong**, 2008, "Micro-Siting of Wind Energy along the Gulf of Thailand" **World Renewable Energy Congress X and Exhibition**, 19-25 July, Glasgow, Scotland, UK.

International Paper

1. S. Rakpanicha, **S.Ravangvong**, P. Meejitpaisan and J.Kaewkhao., 2015, “**Effect of Nd³⁺ Ion Bismuth Borosilicate Glass Properties**” ICG Annual Meeting 2015, 20th-23rd September, 2015, Thailand.
2. S. Rakpanich, **S. Ravangvong**, P. Meejitpaisan and J. Kaewkhao., 2015, “**Physiccal, Optical and Luminescence Properties of Er³⁺-doped Bismuth Borosilicate Glasses**” 2nd International Conference on Applied Physics and Meterial Applications (ICAPMA2015) 28-29 MAY 2015, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand.

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในระดับชาติ

1. **ศุภนันทศักดิ์ ระวังวงศ์** จอมภพ แวศักดิ์ มารีนา มะหนิ ภรพนา บัวเพชร และ ปิติ พานิชายุนนท์, 2550, “ประสิทธิภาพของกระบวนการไอน้ำ-แก๊สซิฟิเคชันอุณหภูมิสูงจากเชื้อเพลิงแกลบในแก๊สซิฟิเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลง,” *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3*, 23-25 พ.ค., กรุงเทพฯ, หน้า ENETT2550-018 1/5-5/5
2. **Ravangvong, S.**, Waewsak, J., Mani, M. Buaphet, P. and Panichayunon, 2007, “The Composition and Heating Value of Product Gases by Steam Gasification of Rubber Wood-Sawdust,” *The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand (STT. 2007)*, 19-21 October, Nakhon Si Thammarat, Thailand, pp. 303 (โปสเตอร์)
3. จอมภพ แวศักดิ์ มารีนา มะหนิ ภรพนา บัวเพชร ปิติ พานิชายุนนท์ และ **ศุภนันทศักดิ์ ระวังวงศ์**, 2550, “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน,” *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 17*, 20-21 ก.ย., สงขลา.
4. **ศุภนันทศักดิ์ ระวังวงศ์** จอมภพ แวศักดิ์ มารีนา มะหนิ ภรพนา บัวเพชร และ ปิติ พานิชายุนนท์, 2550, “การวิเคราะห์ศักยภาพทางพลังงานของเชื้อเพลิงแกลบและขี้เถ้าในพื้นที่ภาคใต้ตอนกลางของประเทศไทย,” *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 17*, 20-21 ก.ย., สงขลา.

5. สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์ จอมภพ แวศักดิ์ มารีนา มะหนิ ภรพนา บัวเพชร และ ปิติ พานิชายนนท์, 2550, “โปรดิเวเซอร์แก๊สจากแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบและชี้เลี้ยงร่วมกับไอน้ำ,” *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 17*, 20-21 ก.ย., สงขลา
6. J. Waewsak, C. Chancham, S. Ravangvong, M. Mani, N. Nankongnab, Y. Tirawanichakul S. Tirawanichakul and T. Thepaya and N. Matan.,2007, “Onshore Wind Power in Southern Thailand : A Preliminary Study” **The 33nd Congress on Science and Technology of Thailand (STT. 2007)**, 18-20 October, Nakhon Si Thammarat, Thailand. pp. 307-310.
7. สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์ จอมภพ แวศักดิ์ มารีนา มะหนิ และ นพนันท์ นานคงเนบ. (2551) “ศักยภาพของพลังงานลมตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทย กรณีศึกษาสถานีวิจัยพลังงานลมจะนะ จังหวัดสงขลา”, *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 9*, 14-15 มี.ค., ชลบุรี. หน้า 221-226.
8. Ravangvong, S., Waewsak, J., Mani, M., Phethuayluk, S. and Buaphet, P., 2006, “Thermal Performance of a Small Scale Physic Nut Dryer,” **The 32nd Congress on Science and Technology of Thailand (STT. 2006)**, 10-12 October, Bangkok, Thailand. pp.297-300.
9. Ravangvong, S., Waewsak, J., Mani, M. Buaphet, P. and Panichayunon, P., 2007, “Efficiency of High Temperature Steam-Gasification from Rice Husk in a Fixed Bed Downdraft Gasifier,” **The 3rd Conference on Energy Network of Thailand**, 23-25 May, Bangkok, Thailand. pp.1/5 – 5/5.
10. สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์ สุภาดา ขุนณรงค์ สุวีรัตน์ เทมววรรณ และ นิรุช ล้าเลิศ. (2556) “โปรดิเวเซอร์แก๊สจากแก๊สซิไฟเออร์ชนิดเบดหยุดนิ่งเปลวไฟไหลลงโดยใช้เชื้อเพลิงแกลบและชี้เลี้ยงร่วมกับไอน้ำ,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๕*, 8-10 พ.ค., นครนายก.
11. สุนันท์ศักดิ์ ระวังวงศ์ สุภาดา ขุนณรงค์ สุวีรัตน์ เทมววรรณ และ นิรุช ล้าเลิศ. (2557) “การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลโดยอาศัยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน,” *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24*, 20-24 พ.ค., สงขลา.

12. อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล* และสุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์. (2557). การศึกษาความเหมาะสมที่จะนำวัสดุเหลือใช้จากตาลโตนดไปเป็นวัสดุเชื้อเพลิงชีวมวล., การสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7, 12-14 พ.ย. ประจวบคีรีขันธ์.
13. สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์* สมมาส แก้วล้วน และ อารีย์ น้อยสำราญ. (2558) “การผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลสำหรับกระบวนการอบมะม่วงกวน,” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25, 10-12 มิ.ย., สงขลา.