



สมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่
เป็นหลังคาโรงเรือน

โดย

นายอาทิตย์ สารสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

สมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่
เป็นหลังคาโรงเรือน

โดย

นายอาทิตย์ สารสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**PERFORMANCE OF A SOLAR DRYING SYSTEM USING TRAY TYPE DRYING
CABINET AND ROOF - INTEGRATED SOLAR COLLECTOR**

By

Arthit Sansomboon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Physics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

49306209 : สาขาวิชาฟิสิกส์

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์ / ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ / แผงรับรังสีดวงอาทิตย์

อาทิตย์ สารสมบุรณ์ : สมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร.เสริม จันทร์ฉาย. 110 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน ตู้อบมีพื้นที่สำหรับวางผลิตภัณฑ์ 25.2 ตารางเมตร ส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นราบใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อนและมีแผ่นโพลีคาร์บอเนตปิดด้านบน โดยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีพื้นที่รวม 144 ตารางเมตรจะแบ่งเป็นสองแถววางอยู่บนโครงสร้างของหลังคาโรงเรือนที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 108 ตารางเมตร แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวทำหน้าที่เป็นหลังคาของโรงเรือนด้วย อากาศร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ จะถูกดูดด้วยพัดลม 2 ตัว และเป่าเข้าไปยังตู้อบแห้งซึ่งวางอยู่ในโรงเรือนดังกล่าว พัดลมดูดอากาศใช้กำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ 6 แผง ผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะระบบอบแห้งดังกล่าวโดยการอบแห้งกาแฟจำนวน 3 ครั้งและอบแห้งพริกจำนวน 2 ครั้ง ผลการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี นอกจากนี้พบว่าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทำงานได้ดีทั้งในด้านการผลิตอากาศร้อนสำหรับอบแห้งและการเป็นหลังคาโรงเรือน สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และตู้อบแห้ง และนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยพบว่าผลการคำนวณสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลอง

ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

49306209 : MAJOR : PHYSICS

KEY WORD : SOLAR ENERGY / SOLAR DRYER / SOLAR COLLECTOR

ARTHIT SANSOMBOON : PERFORMANCE OF A SOLAR DRYING SYSTEM USING
TRAY TYPE DRYING CABINET AND ROOF - INTEGRATED SOLAR COLLECTOR. THESIS
ADVISOR : ASSOC.PROF.SERM JANJAI, Ph.D. 110 pp.

In this work, the performance of a solar crop drying system comprising a drying tray cabinet and roof-integrated solar collectors was investigated. The drying cabinet is a parallel-flow tray type dryer with a drying area of 25.2 m^2 . Two arrays of the solar collectors with the total area of 144 m^2 were placed on the roof structure of a building with a working area of 108 m^2 . The solar collectors serve as both a roof of the building and solar air heaters of the drying system. The solar collectors supply hot air to the drying cabinet placed inside the building. Two dc-fans powered by six 50-watt solar cell modules were used to suck air from the solar collectors to the drying cabinet. Field-level tests for drying coffee and chili demonstrated that drying these products in this system resulted in a significant reduction of drying time as compared to natural sun drying. In addition, the solar collectors performed well both as the roof of the building and the solar air heaters. Finally, simulation models of the solar collectors and the drying cabinet were developed. The simulated air temperature at the outlet of the solar collectors agreed well with the measured temperature. The predicted and the observed moisture contents were also in good agreement.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ผู้วิจัยได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทรฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในด้านวิชาการและจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ จำนงค์ ชำรงมาศ หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ ที่ช่วยในการอำนวยความสะดวก สนับสนุนในด้านเครื่องมือและงานธุรการต่างๆ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย เทพา ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณ นิรุช ล้ำเลิศ และ คุณ ยุทธศักดิ์ บุญรอด ที่ช่วยแนะนำงานด้านการวัดและแบบจำลอง สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ และญาติๆ ที่สนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญรูป.....	ช
สัญลักษณ์.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
2 หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง.....	3
2.1.1 สมบัติของวัตถุดิบ.....	3
2.1.1.1 ความชื้นของวัตถุดิบ.....	3
2.1.1.2 ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัตถุดิบ.....	4
2.1.1.3 ความชื้นสมดุล	4
2.1.1.4 ความร้อนแฝง.....	5
2.1.2 สมบัติของอากาศชั้น	6
2.1.3 การอบแห้ง.....	7
2.1.4 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง.....	10
2.1.5 ประเภทของการอบแห้ง.....	11
2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	12
2.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ.....	12
2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ.....	14
2.3 งานวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านมา	15

บทที่	หน้า
3 การดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 รายละเอียดจิงระบบอบแห้ง	26
3.1.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์.....	26
3.1.2 ตู้อบแห้ง.....	31
3.1.3 ระบบระบายอากาศ.....	33
3.2 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง.....	38
3.2.1 อุปกรณ์การวัดและบันทึกข้อมูล.....	34
3.2.2 วิธีการทดลอง.....	39
3.2.3 ผลการทดลอง.....	41
ก) การทดลองอบกาแฟครั้งที่ 1	41
ข) การทดลองอบกาแฟครั้งที่ 2.....	45
ค) การทดลองอบกาแฟครั้งที่ 3.....	49
ง) การทดลองอบพริกครั้งที่ 1.....	53
จ) การทดลองอบพริกครั้งที่ 2.....	56
3.3.4 สรุปผลการทดลอง.....	60
4 การทดสอบระบบอบแห้งและการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	61
4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	61
4.1.1 แบบจำลองของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์.....	61
4.1.2 แบบจำลองของตู้อบแห้ง.....	72
4.2 การทดสอบแบบจำลอง.....	78
5 สรุป.....	85
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	90
ประวัติผู้วิจัย.....	119

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงแผนภูมิน้ำประเภตต่างๆในวัตถุขึ้น.....	4
2.2	แสดง sorption isotherm ของผลิตผลการเกษตรทั่วไป.....	5
2.3	แสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร.....	5
2.4	แสดงแผนภูมิอากาศชื้น และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง.....	7
2.5	แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง.....	8
2.6	แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตผลการเกษตรทั่วไป.....	9
2.7	แสดงอัตราการแห้งของผลิตผลการเกษตรระหว่างการอบแห้ง.....	9
2.8	แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง.....	13
2.9	แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม.....	13
2.10	แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และใช้พัดลมดูดอากาศ.....	14
2.11	แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ.....	15
2.12	แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell และ Kornsakoo (1976).....	16
2.13	แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย Wibulswas และคณะ (1977).....	16
2.14	แสดงเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่พัฒนาโดย Wibulswas และ Thaina (1980).....	17
2.15	แสดงโรงบ่มใบยาสูบซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม (Boon-Long et al., 1984).....	18
2.16	แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย Thongprasert และคณะ (1985).....	18
2.17	แสดงยังเก็บและอบแห้งข้าวซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Soponronnarit และคณะ (1986).....	19
2.18	แสดงยังเก็บและอบแห้งข้าวที่พัฒนาขึ้นโดย Praditwong และ Janjai (1990).....	20
2.19	แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Rakwichian และ Sudaprasert (1990).....	21
2.20	แสดงแสดงโรงอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell (1990).....	21
2.21	แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ คุชฎี (2534).....	22
2.22	แสดงเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นโดย Janjai และ Tung (2005).....	23
2.23	แสดงโครงสร้างระบบอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่เป็น หลังคาโรงเรือน.....	24
2.24	แสดงตู้อบแห้งภายในโรงอบแห้ง.....	25

รูปที่	หน้า
3.2	แสดงลักษณะของภายในแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ประกอบเป็นหลังคาโรงเรือน..... 27
3.3	แสดงลักษณะส่วนประกอบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ประกอบเป็นหลังคาโรงเรือน 28
3.4	แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อยู่บน โครงสร้างของโรงอบแห้ง..... 28
3.5	แสดงภาพถ่ายของท่ออากาศที่แนวบรรจบของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทั้งสองด้าน..... 29
3.6	แสดงขนาดและตำแหน่งของพื้นที่ใช้สอยใน โรงอบแห้ง 29
3.7	แสดงลักษณะของ โรงอบแห้ง..... 30
3.8	แสดงภาพถ่ายลักษณะของ โรงอบแห้ง..... 30
3.9	แสดงลักษณะของตู้อบแบบถาด..... 31
3.10	แสดงภาพถ่ายของตู้อบแบบและถาดวางผลิตภัณฑ์..... 32
3.10	แสดงภาพถ่ายของตู้อบแห้งที่อยู่ภายใน โรงอบ 32
3.11	แสดงท่ออากาศของระบบอบแห้งและทิศทางการไหลของอากาศ..... 33
3.12	แสดงภาพถ่ายของแผงโซลาเซลล์ที่ติดตั้งบริเวณชายคาของ โรงอบแห้ง..... 34
3.13	แสดงตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิบนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์..... 35
3.14	แสดงตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบ 35
3.15	แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ยี่ห้อ Electronik รุ่น EE23 36
3.16	แสดงภาพถ่ายเครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire ยี่ห้อ Airflow รุ่น TA5 37
3.17	แสดงภาพถ่ายไพราโนมิเตอร์ ยี่ห้อ KIPP&ZONENรุ่น CM3 37
3.18	แสดงภาพถ่ายเครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100 39
3.19	แสดงภาพถ่ายตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP 39
3.20	แสดงภาพถ่ายเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Sartorius รุ่นE2000 D 40
3.21	แสดงการแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคาด้าน ทิศเหนือและใต้จากการทดลองครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 9-10 ธันวาคม พ.ศ.2550 . 41
3.22	แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้..... 42
3.23	แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ 42

รูปที่	หน้า
3.24 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง	43
3.25 แสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบและ อากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง	43
3.26 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบ โดยตู้อบแห้งและตากแดด ตามธรรมชาติ	44
3.27 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคา ด้านทิศเหนือและใต้	46
3.28 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้	46
3.29 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ	47
3.30 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง	47
3.31 แสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบ และอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง	48
3.32 แสดงเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบ โดยตู้อบแห้งและตากแดด ตามธรรมชาติ	48
3.33 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคา ด้านทิศเหนือและใต้	50
3.34 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้	50
3.35 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผง รับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ	51
3.36 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง	51
3.37 แสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบ และอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง	52
3.38 แสดงเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบ โดยตู้อบแห้งและตากแดด ตามธรรมชาติ	52

รูปที่	หน้า
3.39 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผง รับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือและใต้	53
3.40 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผง รับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ	54
3.41 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง	54
3.42 แสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบแห้ง และ อากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง.....	55
3.43 แสดงการเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบ โดยตู้อบแห้งและตากแดด ตามธรรมชาติ.....	55
3.44 แสดงการแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคา ด้านทิศเหนือและใต้.....	57
3.45 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้.....	57
3.46 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับ รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ	58
3.47 แสดงการแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง.....	58
3.48 แสดงการแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบแห้ง และอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง.....	59
3.49 แสดงเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของพริกที่อบในตู้อบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ	59
4.1 แสดงการส่งผ่านความร้อนในแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ของระบบอบแห้ง.....	62
4.2 แสดงการแบ่งองค์ประกอบของแผงรับรังสีออกเป็นส่วนย่อยตามทิศทางการไหล ของอากาศ.....	69
4.3 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับส่วนแผงรับรังสี.	71
4.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในตู้อบแห้ง.....	72
4.5 แสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบ จำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 9-10 ธันวาคม 2550.....	76
4.6 แสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบ จำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 16-17 ธันวาคม 2550.....	77

รูปที่	หน้า
4.7	แสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 19-20 ธันวาคม 2550..... 77
4.8	แสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศ บริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบพริกระหว่างวันที่ 17-19 กันยายน 2550..... 78
4.9	แสดงการแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบพริกระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม 2550 78
4.10	แสดงผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 9-10 ธันวาคม 2550 79
4.11	ผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 16-17 ธันวาคม 2550 79
4.12	แสดงตัวอย่างผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดในช่วงวันที่ 19-20 ธันวาคม 2550 80
4.13	ผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์(พริก)ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 17-19 กันยายน 2550 80
4.14	แสดงตัวอย่างผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์(พริก)ที่อบแห้งโดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 22-24 กันยายน 2550 81

สัญลักษณ์

A_c	=	พื้นที่รับแสงของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [m^2]
A_N	=	ขนาดพื้นที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ด้านทิศเหนือ [m^2]
A_S	=	ขนาดพื้นที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ด้านทิศใต้ [m^2]
C_a	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม [$kJ/kg^\circ C$]
C_b	=	ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นดูดกลืนรังสี [$kJ/kg^\circ C$]
C_c	=	ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นฉนวนโปร่งแสง [$kJ/kg^\circ C$]
C_f	=	ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศภายในแผงรับรังสี [$kJ/kg^\circ C$]
C_p	=	ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ [$kJ/kg^\circ C$]
C_v	=	ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ [$kJ/kg^\circ C$]
C_w	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำ [$kJ/kg^\circ C$]
D_c	=	ระยะระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นฉนวน โปร่งแสง [m]
G_c	=	อัตราการไหลต่อพื้นที่ของอากาศภายในแผงรับรังสี [$kg/s\cdot m^2$]
G_d	=	อัตราการไหลต่อพื้นที่ของอากาศภายในตู้อบ [$kg/s\cdot m^2$]
H	=	อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง [kg/kg]
$h_{c,b-f}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับอากาศอบแห้ง [$W/m^2\cdot K$]
$h_{c,c-f}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างฉนวน โปร่งแสงกับอากาศอบแห้ง [$W/m^2\cdot K$]
$h_{c,p-f}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศอบแห้ง [$W/m^2\cdot K$]
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ [kJ/kg]
$h_{r,b-c}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับฉนวน โปร่งแสง [$W/m^2\cdot K$]
$h_{r,c-s}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากฉนวน โปร่งแสงไปยังท้องฟ้า [$W/m^2\cdot K$]
h_w	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม [$W/m^2\cdot K$]
I_N	=	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีด้านทิศเหนือ [W/m^2]
I_S	=	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีด้านทิศใต้ [W/m^2]

I_t	=	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ [W/m^2]
k	=	ค่าสภาพการนำความร้อนของอากาศ [W/m-K]
L_p	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำในผลิตภัณฑ์ [J/kg]
M	=	อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ [%]
M_d	=	ความชื้นฐานแห้ง [kg/kg]
M_c	=	ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ [%]
M_0	=	ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ [%]
M_w	=	ความชื้นฐานเปียก [kg/kg]
$M(t)$	=	ความชื้นขณะเวลาใดๆ [%]
m_w	=	ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหย [kg]
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของมวลอากาศ [kg/s]
$P_{v,\text{sur}}$	=	ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ [Pa]
P_v	=	ความดันไอน้ำในอากาศ [Pa]
S	=	พื้นที่หน้าตัดของตู้อบที่ตั้งฉากกับทิศการไหลของอากาศ [m]
t	=	เวลา [s]
T_a	=	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม [K]
T_b	=	อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี [K]
T_c	=	อุณหภูมิของแผ่นฉนวนโป๊วแสง [K]
T_{fc}	=	อุณหภูมิของอากาศภายในแผงรับรังสี [K]
T_{fi}	=	อุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ [K]
T_p	=	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ [K]
T_s	=	อุณหภูมิห้องฟ้า [K]
ΔT	=	ผลต่างของอุณหภูมิที่ไหลออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์กับอุณหภูมิที่ไหลเข้าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ [K]
v	=	ความเร็วลม [m/s]
W_c	=	ความกว้างของแผงรับรังสี [m]
W_d	=	ความยาวของถาด (m)
η	=	ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (%)

α_c	=	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแผ่นฉนวนโปร่งแสง [decimal]
δ_b	=	ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี [m]
δ_c	=	ความหนาของแผ่นฉนวนโปร่งแสง [m]
ρ	=	ความหนาแน่นของอากาศ [kg/m^3]
ρ_b	=	ความหนาแน่นของแผ่นดูดกลืนรังสี [kg/m^3]
ρ_c	=	ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนโปร่งแสง [kg/m^3]
$\rho_{s,p}$	=	ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของผลิตภัณฑ์แห้ง [$\text{kg}_{\text{solid}}/\text{m}^2$]
σ	=	ค่าคงที่สเตฟาน-โบลต์ซมานน์
ε_c	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นฉนวนโปร่งแสง [decimal]
ε_b	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี [decimal]

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตผลทางการเกษตรเขตร้อนที่สำคัญของโลก ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญได้แก่ กล้วยพืช ผักและผลไม้เมืองร้อนรวมถึงเครื่องเทศและสมุนไพร ผลิตผลทางการเกษตรเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องแปรรูปด้วยการตากแห้งหรืออบแห้งก่อนการบริโภคก่อนส่งไปจำหน่ายในประเทศหรือต่างประเทศ เกษตรกรและผู้ประกอบการส่วนใหญ่ในประเทศเหล่านี้ยังคงใช้วิธีตากแดดผลิตผลตามธรรมชาติ ถึงแม้ว่าวิธีการตากแห้งดังกล่าวจะไม่เสียค่าใช้จ่ายหรือมีค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อย แต่ผลิตผลมักจะเสียหายระหว่างการตากแห้ง เนื่องจากการเปียกฝน การรบกวนจากสัตว์และแมลงต่างๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ตากแห้งที่ได้มีคุณภาพต่ำ และบางครั้งอาจเกิดเชื้อราและสารพิษจำพวกอัลฟาทอกซิล ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถึงแม้ว่าในบางประเทศเริ่มมีการใช้เครื่องอบแห้งเชิงกล (mechanical dryer) แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวมักมีราคาแพงและต้องใช้น้ำมันหรือแก๊สเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีราคาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวยังก่อให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมด้วย

เนื่องจากประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตั้งอยู่ในแถบศูนย์สูตรจึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง (Janjai et al, 2005; Janjai, 2007; Janjai, 2008) ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความเป็นไปได้ทั้งเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศอื่นๆ ดังนั้นในโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศไทยกับประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนจึงได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยศิลปากรทำการพัฒนาระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสาธิตใช้งานในประเทศสปป.ลาว โดยในโครงการดังกล่าวมหาวิทยาลัยศิลปากรทำการจัดสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือนที่วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้จำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก ประเทศสปป.ลาว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งดังกล่าว ซึ่งจะได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาด และแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน
- 2) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งดังกล่าว

บทที่ 2

หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทางวิชาการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร และงานวิจัยพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านๆ มาตามรายละเอียดดังนี้

2.1 หลักการพื้นฐานของเทคโนโลยีการอบแห้ง

2.1.1 สมบัติของวัสดุชื้น (properties of moist materials)

2.1.1.1 ความชื้นของวัสดุชื้น

วัสดุชื้นประกอบด้วยของแข็ง (solid materials) และความชื้น โดยทั่วไปเป็นน้ำในสถานะของเหลว เราสามารถบอกปริมาณความชื้นของวัสดุชื้นในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียกหรือมาตรฐานแห้ง ดังนี้

$$M_w = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad (2.1)$$

$$M_d = \frac{m_w}{m_s} \quad (2.2)$$

เมื่อ M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก [kg/kg]

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง [kg/kg]

m_w = มวลของของน้ำ ในปริมาตรที่พิจารณา [kg]

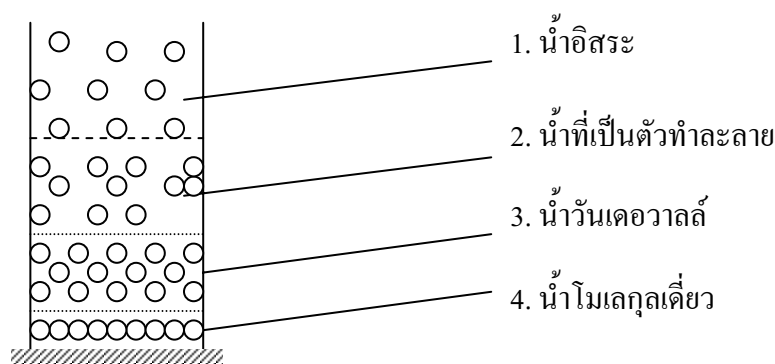
m_s = มวลของของแข็ง ในปริมาตรที่พิจารณา [kg]

ความชื้นมาตรฐานเปียกมักนิยมใช้ในการการค้า และสำหรับความชื้นมาตรฐานแห้งมักใช้ในการคำนวณ และการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์

2.1.1.2 ลักษณะการเกาะตัวของน้ำบนวัตถุขึ้น

น้ำที่เกาะตัวกับของแข็งในวัตถุขึ้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ชนิด คือ

- 1) น้ำอิสระ (free water)
- 2) น้ำที่เป็นตัวทำละลาย (solvent water)
- 3) น้ำที่เกาะตัวโดยแรงแวนเดอวาลส์ (water attached with Van de Waal force)
- 4) น้ำโมเลกุลเดี่ยว (mono-molecular water)

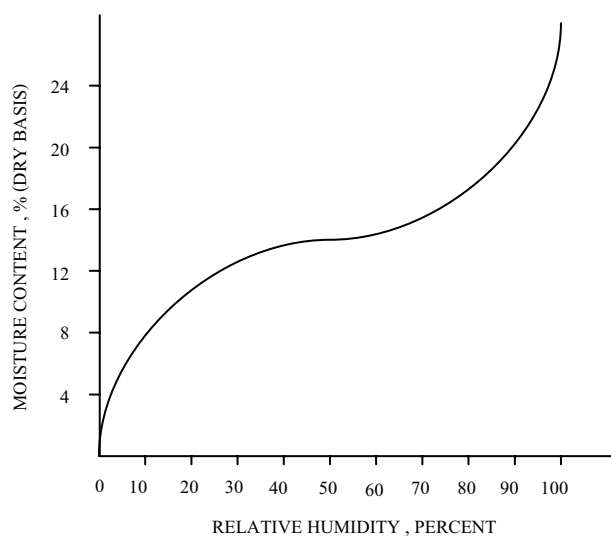


รูปที่ 2.1 แผนภูมิน้ำประเภทต่างๆ ในวัตถุขึ้น

การเกาะของน้ำอิสระจะอยู่ที่ชั้นนอกสุดของผิวของแข็ง ส่วนน้ำแบบอื่นจะอยู่ถัดลงมาจนถึงน้ำแบบน้ำโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งอยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสของของแข็ง ในการแยกน้ำแบบอิสระจะใช้พลังงานน้อยที่สุดส่วนน้ำแบบโมเลกุลเดี่ยวต้องใช้พลังงานในการแยกน้ำออกจากวัตถุขึ้นมากที่สุด

2.1.1.3 ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

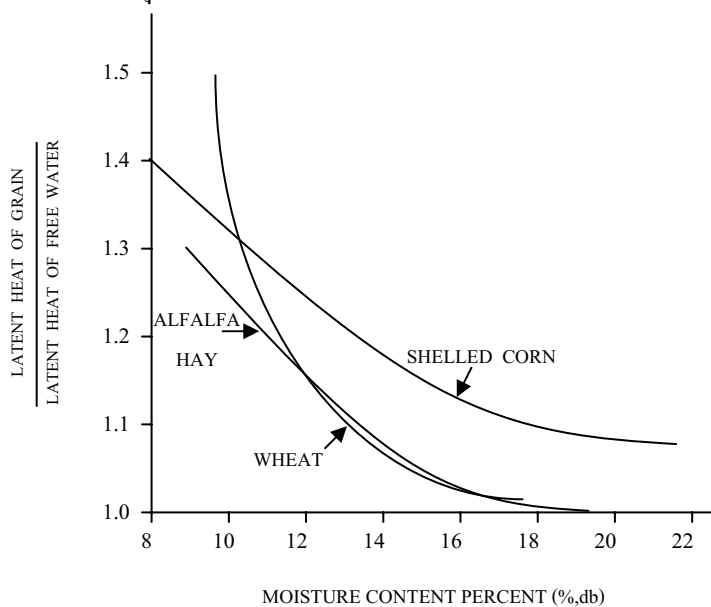
วัตถุขึ้นจะมีการดูดและคายความชื้นจากอากาศรอบๆ จนกระทั่งความชื้นมีค่าคงที่หรืออยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศแวดล้อมเรียกความชื้นนี้ว่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดลอง โดยทั่วไปกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในสภาวะสมดุลที่อุณหภูมิคงที่ จะเรียกว่า sorption isotherm ซึ่งของผลิตภัณฑ์เกษตรส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกราฟรูป sigmoid ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กราฟแสดง sorption isotherm ของผลิตผลการเกษตรทั่วไป

2.1.1.4 ความร้อนแฝง (latent heat)

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุขึ้นซึ่งมีค่าขึ้นกับชนิดและความชื้นของวัตถุ ตัวอย่างความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตร (Sodha et al.,1987)

ความร้อนแฝงของผลิตผลการเกษตรสามารถเขียนในรูปของสูตรเอมไพริคัลได้ ดังนี้

$$\frac{L}{L'} = 1 + a \exp(-bM_d) \quad (2.3)$$

เมื่อ L = ความร้อนแฝงของวัตถุขึ้น [J/kg]

L' = ความร้อนแฝงของน้ำ [J/kg]

M_d = ความชื้นของวัตถุมাত্রฐานแห้ง [%]

a, b = ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ

นอกจากนี้ยังมีสมบัติความร้อนอื่นๆ ของวัตถุขึ้นที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น ความร้อนจำเพาะ (specific heat) สภาพนำความร้อน (heat conductivity) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convective heat transfer coefficient) และพื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ เป็นต้น สมบัติเหล่านี้มักจะขึ้นกับความชื้นของวัตถุ และหาได้โดยการทดลอง

2.1.2 สมบัติของอากาศชื้น (properties of moist air)

อากาศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปสู่วัตถุขึ้น และพาความชื้นจากวัตถุนั้นออกมาภายนอก จะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งมีสมบัติแสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัว ดังนี้

- 1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db})
- 2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb})
- 3) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point temperature)
- 4) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, rh)
- 5) ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (humidity ratio)
- 6) เอนทัลปี (enthalpy)
- 6) ปริมาตรจำเพาะ (specific volume)

ตัวแปรทั้ง 7 มีความสัมพันธ์กันและสามารถแสดงเป็นแผนภูมิอากาศชื้น (psychometric chart) ดังรูปที่ 2.4 ในกระบวนการอบแห้ง สมบัติของอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงดังที่แสดงไว้ในแผนภูมิดังกล่าว

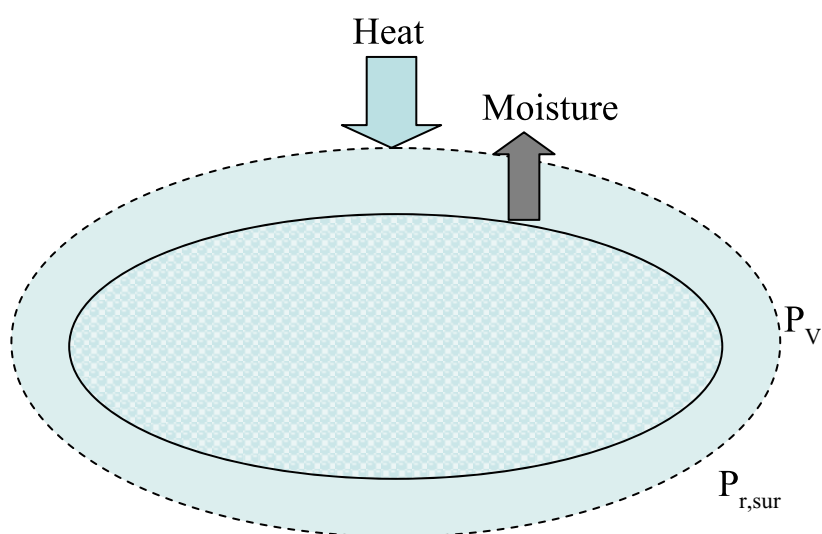
ถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุขึ้นไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันไอน้ำที่ผิววัตถุเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ หรือ

$$P_{v,sur} = P_v \quad (2.4)$$

โดยที่

$$P_{v,sur} = \text{ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ}$$

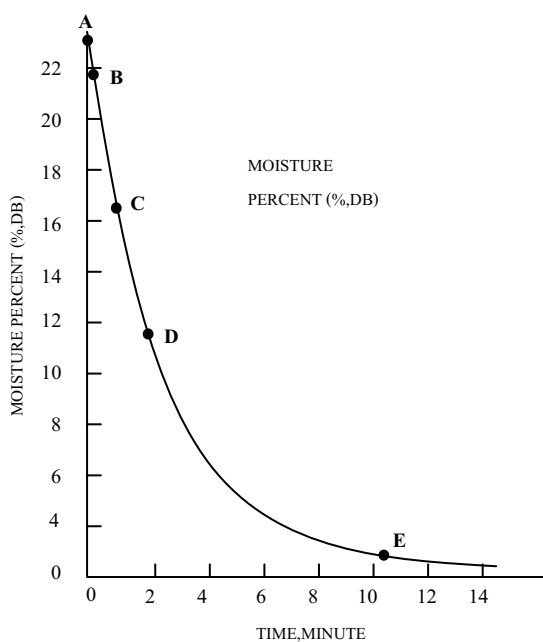
$$P_v = \text{ความดันไอน้ำในอากาศ}$$



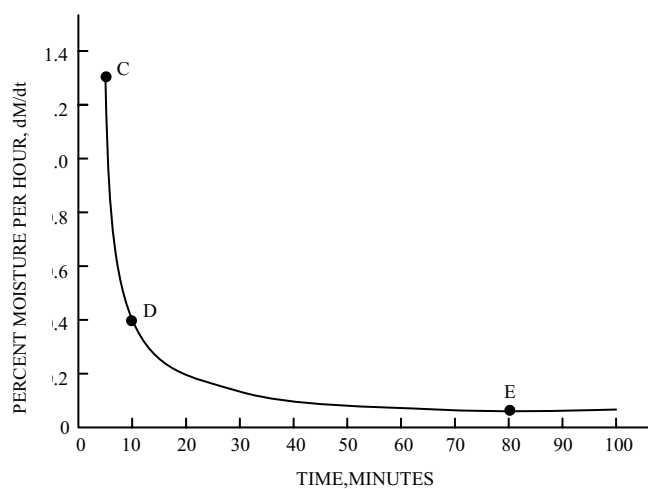
รูปที่ 2.5 การถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง

การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัตถุขึ้นออกมาที่ผิว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุนั้น ตัวอย่างกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การแพร่ (diffusion) การไหลภายในท่อเล็กในโครงสร้างของวัตถุ (capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (osmotic pressure) และการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง เป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมาก

ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การลดลงของความชื้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 หรือแสดงในรูปของอัตราการแห้ง (drying rate) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลิตผลการเกษตรทั่วไป (Sodha et al.,1987)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงอัตราการแห้งของผลิตผลการเกษตรระหว่างการอบแห้ง (Sodha et al.,1987)

โดยทั่วไปอัตราการแห้งของผลิตผลการเกษตรจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก ในช่วงอัตราการแห้งคงที่การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลิตผล ลักษณะ

การระเหยจะคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ เราสามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_c A}{L} (T_a - T_{sur}) \quad (2.5)$$

- เมื่อ dM/dt = อัตราการแห้ง [kg/s]
 h_c = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต (thermal conductance of air film) [$W/m^2 \cdot K$]
 A = พื้นที่ผิวของผลผลิต [m^2]
 L = ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต [J/kg]
 T_a = อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [K]
 T_{sur} = อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต [K]

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) โดยทั่วไปเราสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

$$dM/dt = -k(M - M_c) \quad (2.6)$$

- เมื่อ M_c = ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของผลผลิต [% , db]
 M = ความชื้นของผลผลิต [% , db]
 k = ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant) [s^{-1}]

2.1.4 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุได้แก่

- 1) อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ

2) ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุดิบได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

3) ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุดิบ ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณีอากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แต่ผลดังกล่าวจะมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.1.5 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งแบบพาความร้อน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การอบแห้งชั้นบาง (thin layer drying)

การอบแห้งแบบนี้ วัตถุดิบจะเรียงเป็นชั้นบางๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืช กรณีที่การอบเมล็ดพืชแบบชั้นบาง การลดลงของความชื้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{M(t) - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) \quad (2.7)$$

เมื่อ $M(t)$ = ความชื้นขณะเวลา t [% db]

M_e = ความชื้นสมดุล [% db]

M_o = ความชื้นเริ่มต้น [% db]

k = ค่าคงที่การอบแห้ง [s^{-1}]

2) การอบแห้งชั้นหนา (deep bed drying)

เป็นการอบแห้งที่วัตถุดิบซ้อนกันหลายชั้น ตัวอย่างเช่น การอบแห้งข้าวในเครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศเวดลุ่ม (in-bin drying) ในการคำนวณการลดลงของความชื้นในเครื่องอบแห้ง โดยทั่วไปจะพิจารณาว่า การอบแห้งชั้นหนาประกอบด้วย การอบแห้งชั้นบางหลายๆ ชั้น เรียงซ้อนกัน และทำการหาสมการสมดุลของมวลและพลังงานที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (Bakker-Arkema, 1974)

2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (solar drying)

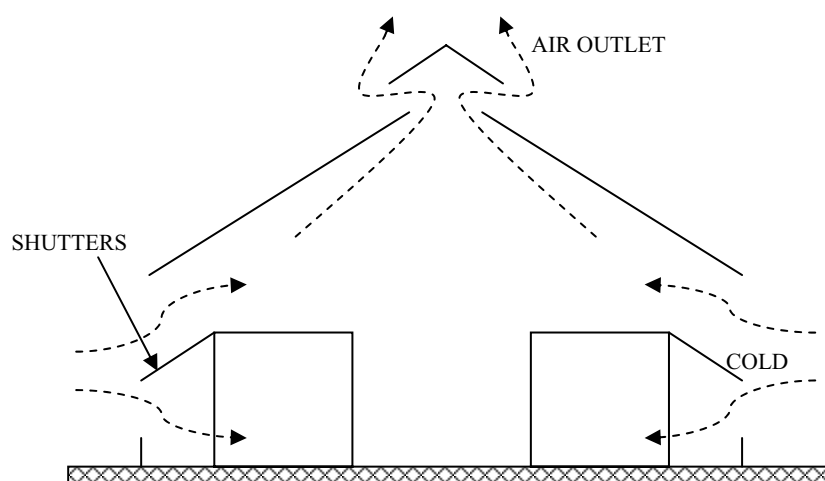
การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำจากผลผลิตซึ่งจะอาศัยการพาความร้อน โดยทั่วไปสามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ แบบการพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection drying) ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อน และแบบการพาความร้อนแบบบังคับอากาศ (forced-convection drying) ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลผลิต นอกจากนี้ ยังอาจแบ่งชนิดของการอบแห้งตามวิธีการรับรังสี โดยสามารถแบ่งได้ 3 แบบได้แก่ แบบรับรังสีโดยตรง (direct mode dryer) แบบรับรังสีโดยอ้อม (indirect mode dryer) และแบบผสม (mixed mode dryer) สำหรับรายละเอียดของเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆ จะกล่าวในรายละเอียดตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural-convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

ก. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (direct mode)

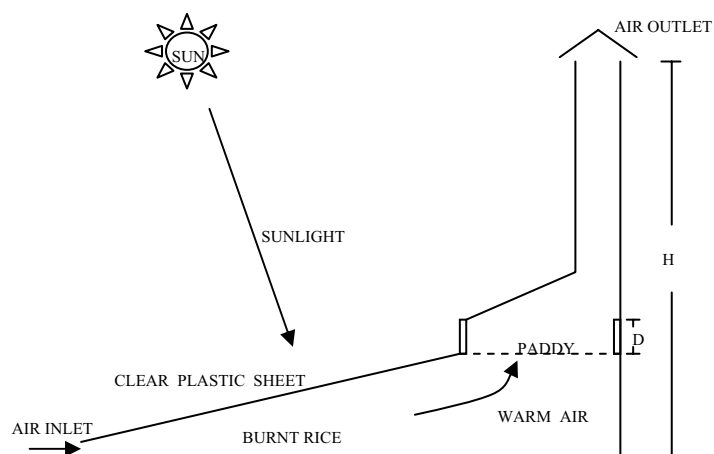
เครื่องอบแห้งแบบนี้ รังสีดวงอาทิตย์จะตกลงบนผลผลิตที่ต้องการอบแห้งโดยตรง ความชื้นจากผลผลิตจะถูกพาขึ้นไปด้านบนโดยการไหลของอากาศที่เกิดจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ รังสีดวงอาทิตย์จะส่งผ่านวัสดุโปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นพลาสติกหรือกระจกก็ได้ แผ่นโปร่งแสงดังกล่าวทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ทั้งยังป้องกันฝุ่นละออง ฝน และแมลงรบกวนต่างๆ ด้วย



รูปที่ 2.8 เครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง (Sodha et al.,1987)

จ. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection) อากาศร้อนที่ได้จะลอยตัวและไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง

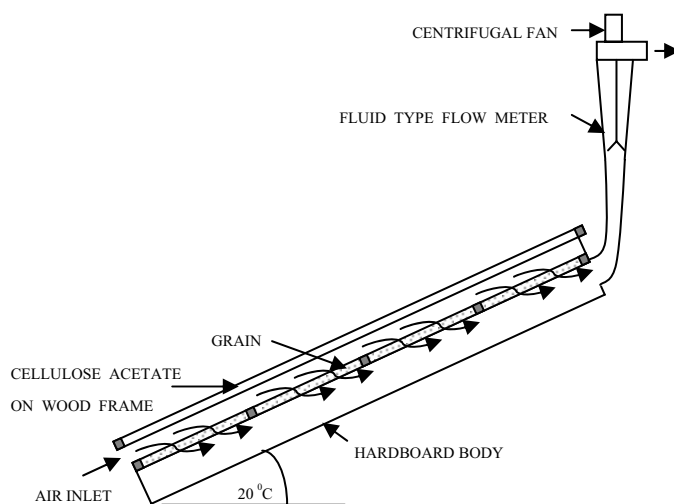


รูปที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (Bala,1998)

2.2.2 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced-convection solar dryer)

ก. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

เครื่องอบแห้งแบบนี้ ผลผลิตที่ต้องการอบแห้งจะรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อากาศร้อนจะถูกดูดผ่านผลิตภัณฑ์โดยอาศัยพัดลมดังตัวอย่างในรูป 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและใช้พัดลม (Sodha et al., 1987)

ข. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งทำหน้าที่ผลิตอากาศร้อน แล้วเป่าหรือดูดผ่านส่วนที่บรรจุผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่แยกส่วนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11



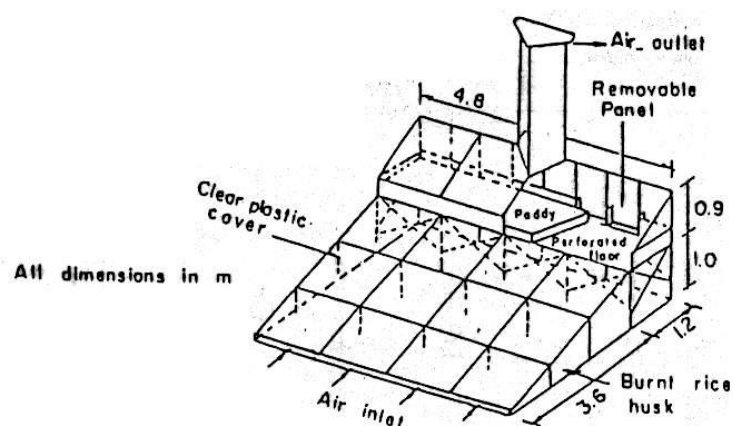
รูปที่ 2.11 เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดลมดูดอากาศ

2.3 งานวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านมา

จากศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และปัญหาการตากแห้งผลผลิตการเกษตร ในช่วงเวลา กว่า 20 ปีที่ผ่านมา จึงได้มีการวิจัยและการพัฒนาเครื่องอบแห้ง ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็น แหล่งกำเนิดความร้อนขึ้นหลายแบบซึ่งสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

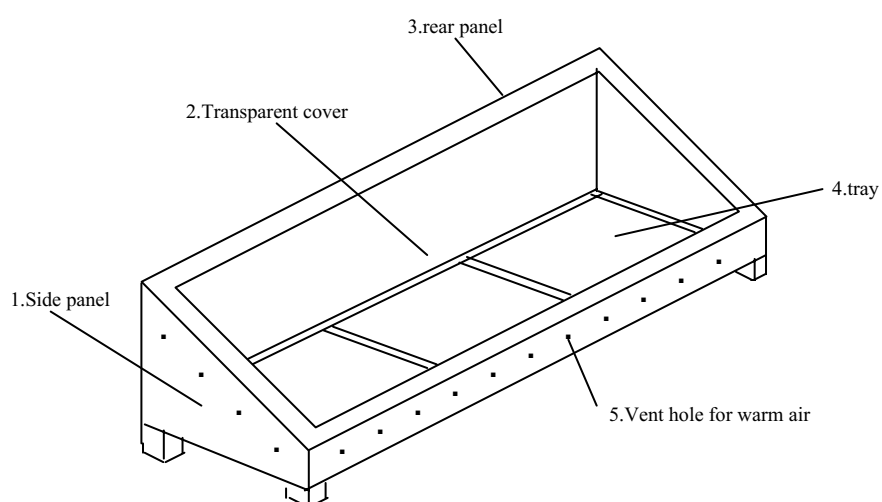
Exell และ Kornsakoo (1976) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีโครงสร้างเป็นแบบไม้ไผ่ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนผลิตอากาศร้อนทำด้วยพลาสติก และส่วนที่เก็บข้าวเปลือก ทำด้วยไม้ไผ่ยก พื้นให้อากาศร้อนไหลผ่านจากด้านล่าง เกิดการพาความร้อนโดยธรรมชาติ (natural convection) สามารถอบข้าวเปลือกได้ครั้งละ 1 ตัน ใช้เวลาประมาณ 1 วัน ในวันที่แสงแดดดี และ 2-3 วันในช่วงฤดู ฝน ลักษณะของเครื่องแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12

Exell (1980) ได้เสนอวิธีออกแบบและคำนวณขนาดของส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งที่ พัฒนาจากข้างต้นและได้นำไปทดลองใช้ แต่ไม่ได้รับความนิยมเพราะประโยชน์เชิงเศรษฐกิจที่ได้ ค่อนข้างน้อย และยังเกิดปัญหากับพลาสติกที่คลุมส่วนต่างๆ มักฉีกขาดง่าย เนื่องจากลมและการรบกวน จากสัตว์ต่างๆ ด้วย



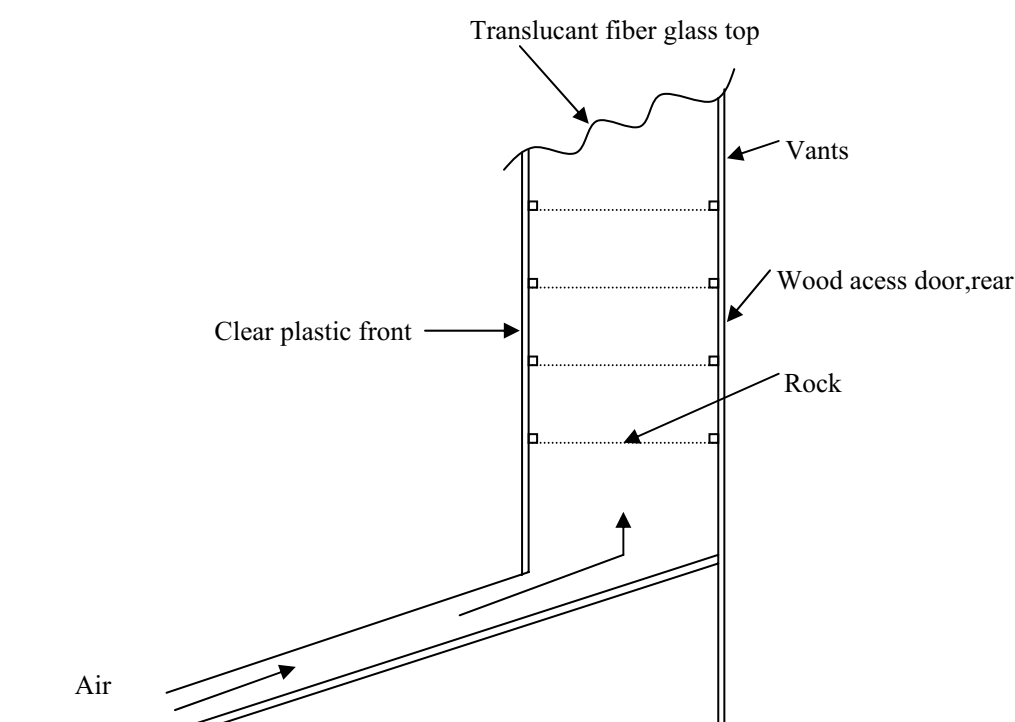
รูปที่ 2.12 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell และ Kornmsakoo (1976)

Wibulswas และคณะ (1977) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นตู้ โดยมีพื้นที่รับแสง 0.23 ตารางเมตร ปิดด้วยกระจกใสทำมุมเอียง 18 องศา กับแนวระดับ จากการทดลองอบผ้าชุบน้ำ พบว่ามีอัตราการแห้งประมาณ $4.2 \text{ kg/m}^2\text{-day}$ ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 2.13



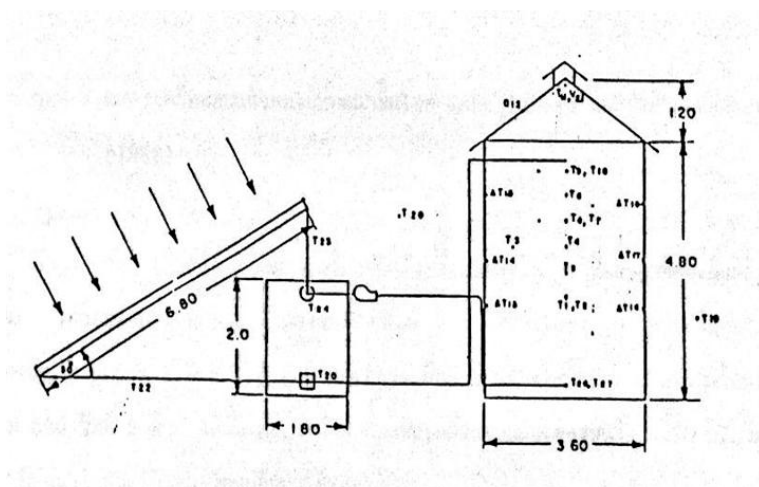
รูปที่ 2.13 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย Wibulswas และคณะ (1977)

Wibulswas และ Thaina (1980) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection drying) ซึ่งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 1.92 ตารางเมตร และภายในตู้อบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์ 5 ชั้น จากการทดสอบพบว่าใช้อัตราการแห้งประมาณ $5 \text{ kg/m}^2\text{-day}$ ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.14 เครื่องอบแห้งดังกล่าวมีความจุค่อนข้างน้อยจึงเหมาะที่จะใช้ในครัวเรือน



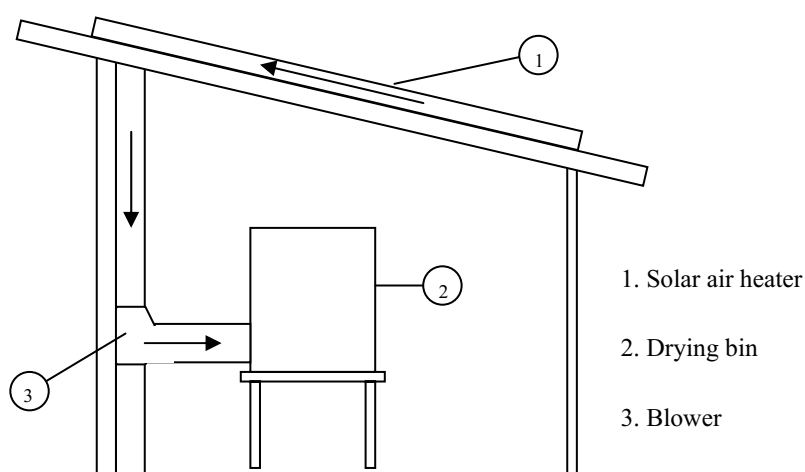
รูปที่ 2.14 เครื่องอบแห้งแบบตู้ที่พัฒนาโดย Wibulswas และ Thaina (1980)

Boon-Long และคณะ (1984) ได้ทำการดัดแปลงโรงบ่มใบยาสูบเพื่อใช้บ่มใบยาสูบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โรงอบดังกล่าวมีขนาด $3.6 \times 3.6 \times 4.8$ ลูกบาศก์เมตร ใช้แผงรับรังสีขนาด 38.5 ตารางเมตร และมีระบบพลังงานเสริมเป็นก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงและยังมีถังเก็บความร้อนขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร ภายในบรรจุหินก้อนเล็กๆ อากาศร้อนจากแผงรับแสงจะถูกดูดเข้าไปในโรงอบด้วยเครื่องเป่าอากาศ 2 ตัว ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1.50 กิโลวัตต์ และ 0.76 กิโลวัตต์ จากการทดสอบพบว่าต้องใช้พลังงานความร้อนโดยเฉลี่ยจากแหล่งพลังงานเสริม 28.9 MJ ต่อ กิโลกรัมของยาสูบแห้ง การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยประหยัดเชื้อเพลิง 16 % ลักษณะโรงบ่มดังกล่าว แสดงไว้ดังรูป 2.15



รูปที่ 2.15 โรงบ่มใบยาสูบซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม (Boon-Long et al., 1984)

Thongprasert และคณะ(1985) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced convection drying) ซึ่งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 3.74 x 4.48 เมตร มีพัดลมดูดอากาศร้อนผ่านชั้นของข้าวเข้าไปในถัง ลักษณะของเครื่องอบแห้งแสดงไว้ในรูปที่ 2.16

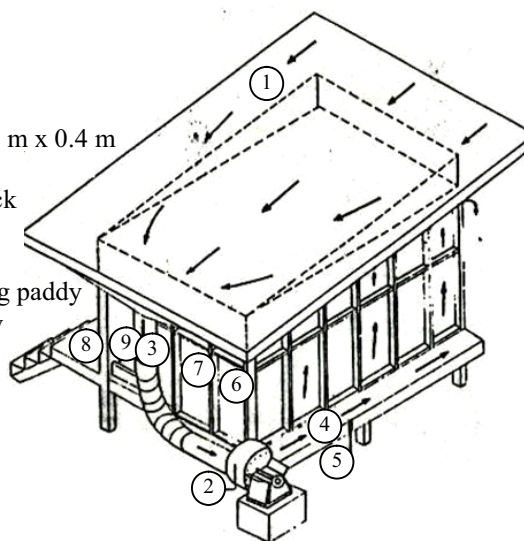


รูปที่ 2.16 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย Thongprasert และคณะ (1985)

จากการนำเครื่องอบไปทดสอบอบข้าว 1 ตัน จากความชื้น 17-21 %(wb) ให้ลดลงเหลือ 14 %(wb) จะใช้เวลาในการอบ 1-4 วัน ต่อการอบ 1 จวด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจพบว่า เครื่องอบนี้จะคุ้มต่อการลงทุน เมื่อพิจารณาการสูญเสียของเมล็ดข้าว เทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ

Soponronnarit และคณะ (1986) ได้พัฒนาตู้เก็บข้าวที่สร้างด้วยไม้ หลังคาเป็นสังกะสี ที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยได้พัฒนาหลังคาที่เป็นสังกะสีให้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน อากาศร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีจะถูกดูด เข้าไปด้านล่างของตู้เก็บข้าวและเป่าผ่านมวลข้าว ตู้ดังกล่าวสามารถเก็บข้าวที่อบแล้ว ได้ 10 ตัน เครื่องดูดอากาศขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล จากการทดสอบอบข้าวหน้าปี และนาปรังพบว่า ตู้ดังกล่าวสามารถช่วยลดความชื้นของข้าวในอัตรา 0.64% ต่อชั่วโมง ตู้ข้าวนี้ จะคุ้มต่อการลงทุน โดยจะต้องอบข้าวทั้งหน้าปีและนาปรัง โดยระยะเวลาคุ้มทุนอยู่ในช่วง 2.3 – 14.8 ปี ลักษณะของตู้ดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

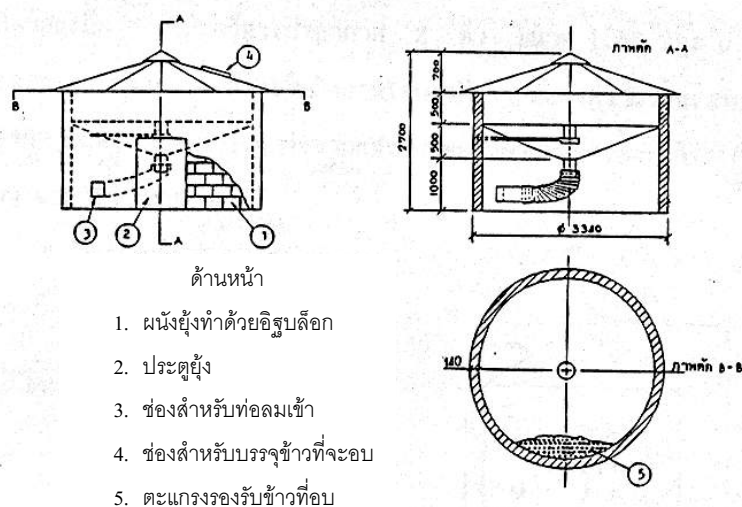
- 1) Flat plate collector
 - 2) Centrifugal fan
 - 3) Air duct $\varnothing$ 0.3 m
 - 4) Rectangular air duct 0.15 m x 0.4 m
 - 5) Sliding valve
 - 6) Gypsum board 8 mm thick
 - 7) Wall support
 - 8) Rest floor
 - 9) Sliding gate for uploading paddy
- ← Direction of air flow



รูปที่ 2.17 ตู้เก็บและอบแห้งข้าวซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Soponronnarit และคณะ (1986)

Praditwong และ Janjai (1990) ได้พัฒนาตู้เก็บและอบข้าวแห่งที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ลักษณะของตู้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกก่อด้วยอิฐบล็อกพิเศษ ซึ่งออกแบบโดยรองศาสตราจารย์สถาพร เขียวมล แห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อิฐบล็อกดังกล่าวสามารถสร้างเป็นตู้เก็บข้าวได้โดยไม่ต้องอาศัยเหล็กหรือปูนซีเมนต์เชื่อมต่อ ทำให้สะดวกและประหยัดแรงงานในการก่อสร้าง ตัวตู้แบ่งเป็น 2 ชั้น โดยที่ชั้นบนใช้สำหรับอบข้าวและชั้นล่างใช้เป็นที่สำหรับเก็บข้าวที่อบแห้งแล้ว ทำให้ไม่ต้องเสียแรงงานในการขนย้ายข้าวที่อบเสร็จแล้ว อากาศ

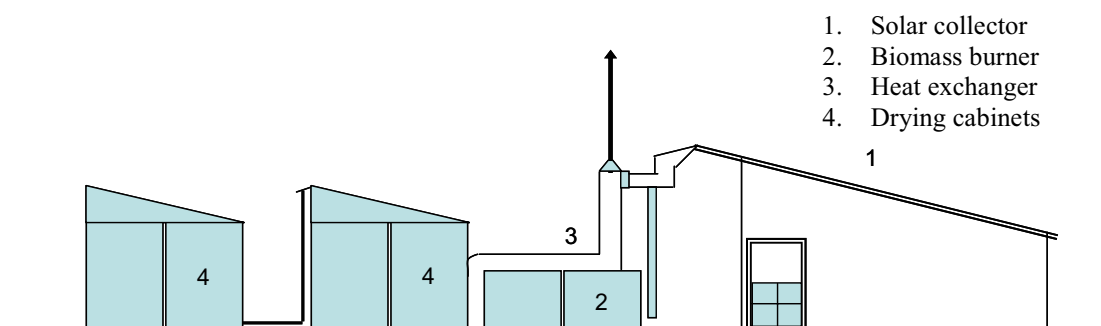
ร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบไม่มีกระจกปิด ขนาดพื้นที่ 30 ตารางเมตร โดยอากาศร้อนจากแผงรับรังสีจะถูกดูดโดยเครื่องเป่าอากาศ (blower) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์และเป่าอากาศร้อนผ่านมวลข้าวจากด้านล่าง ยิ่งข้าวนี้ใช้อบข้าวได้ครั้งละ 1-2 ตัน และเก็บข้าวแห้งได้ 5 ตัน เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี (annual cost analysis) พบว่ายิ่งอบแห้งข้าวนี้จะคุ้มทุนภายในเวลา 5-8 ปี ลักษณะของยิ่งอบข้าวแห้งดังกล่าว แสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ยิ่งเก็บและอบแห้งข้าวที่พัฒนาขึ้น โดย Praditwong และ Janjai (1990)

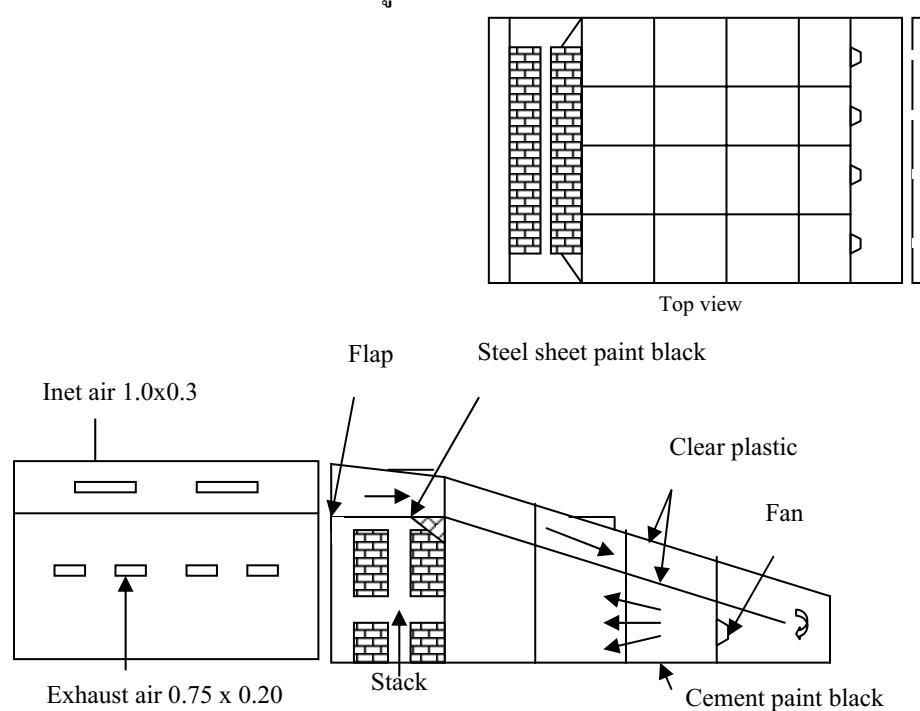
นอกจากนี้ Janjai และ Doe (1991) ยังได้พัฒนาวิธีคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งดังกล่าวไว้ด้วย

Rakwichian และ Sudaprasert (1990) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรมสำหรับอบผลไม้ ซึ่งมีห้องอบที่สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยตรงและรับอากาศร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 30 ตารางเมตร ซึ่งสร้างแยกออกจากห้องอบ อีกทั้งมีแหล่งพลังงานเสริมจากก๊าซหุงต้มและจากวัสดุเหลือใช้การเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เครื่องอบดังกล่าวสามารถอบกล้วยที่ความชื้น 75 %(wb) จำนวน 1,500 กิโลกรัม ให้เหลือความชื้นที่ 25 %(wb) โดยใช้เวลา 4-5 วัน จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนต่อการลงทุน พบว่ามีค่าเกิน 1 ลักษณะของเครื่องอบแสดงไว้ในรูปที่ 2.19



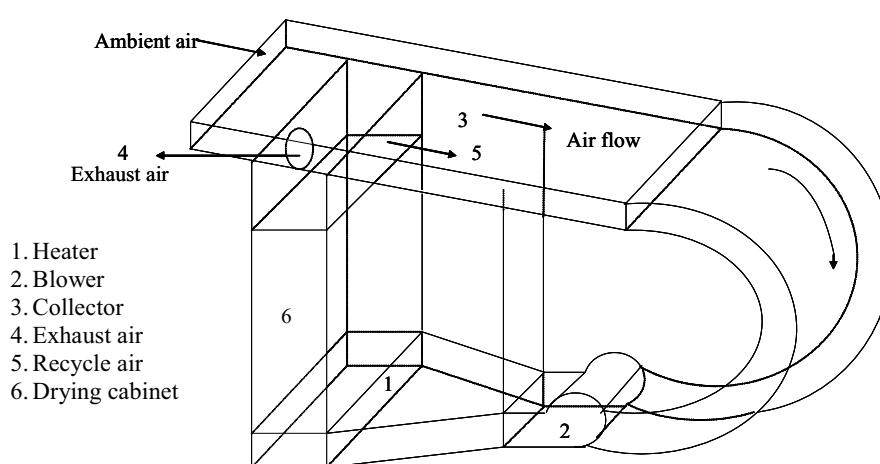
รูปที่ 2.19 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น โดย Rakwichian และ Sudaprasert (1990)

Exell (1990) ได้พัฒนาโรงอบแห้งไม้พลังงานแสงอาทิตย์ (timber drying kilns) สามารถอบไม้ได้ครั้งละ 20 ลูกบาศก์เมตร มีพัดลมขนาดมอเตอร์ 0.76 กิโลวัตต์ จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่ดูดอากาศร้อนจากหลังคาซึ่งเป็นแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์และมีระบบหมุนเวียนอากาศร้อนนำกลับมาใช้ใหม่ โรงอบแห้งดังกล่าวสามารถลดความชื้นของไม้จาก 50-55 % เหลือ 20-24% โดยใช้เวลา 2-3 อาทิตย์ ลักษณะของโรงอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.20



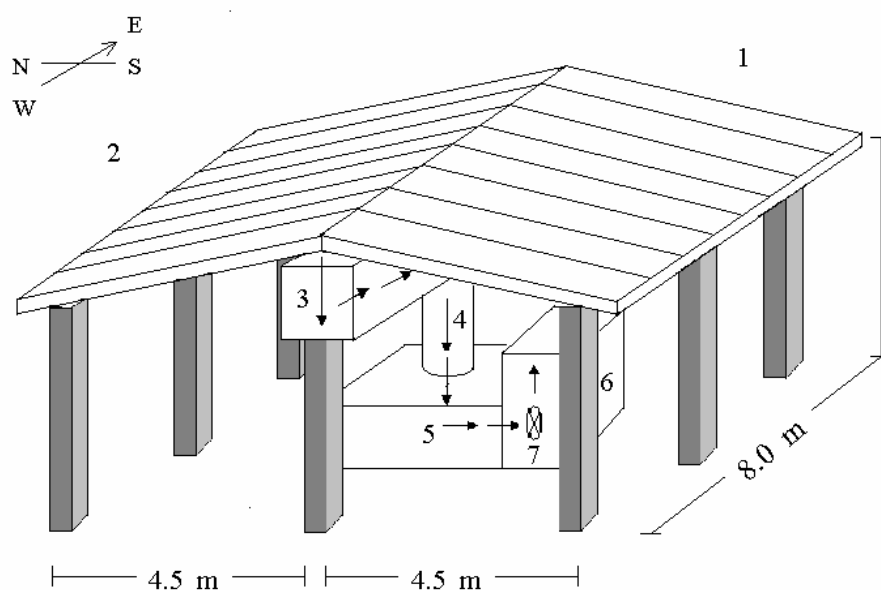
รูปที่ 2.20 โรงอบแห้งที่พัฒนาขึ้น โดย Exell (1990)

ณัฐวุฒิ คุษฎี (2534) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม ซึ่งประกอบด้วย แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร ห้องอบมีขนาด 0.6 X1.0 X1.0 ลูกบาศก์เมตร มีหลอดต้านทานความร้อน ขนาด 830 วัตต์ จำนวน 3 ตัว มีเครื่องเป่าอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.76 กิโลวัตต์ และมีระบบไหลเวียนของอากาศที่นำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ จากการทดสอบพบว่า สามารถช่วยประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการอบด้วยไฟฟ้า 33 % และมีเวลาคู่มือ 4.8 ปี ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ คุษฎี (2534)

Janjai และ Tung (2005) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งสมุนไพรและเครื่องเทศโดยใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เป็นหลังคาโรงเรือน โดยลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงดังรูป

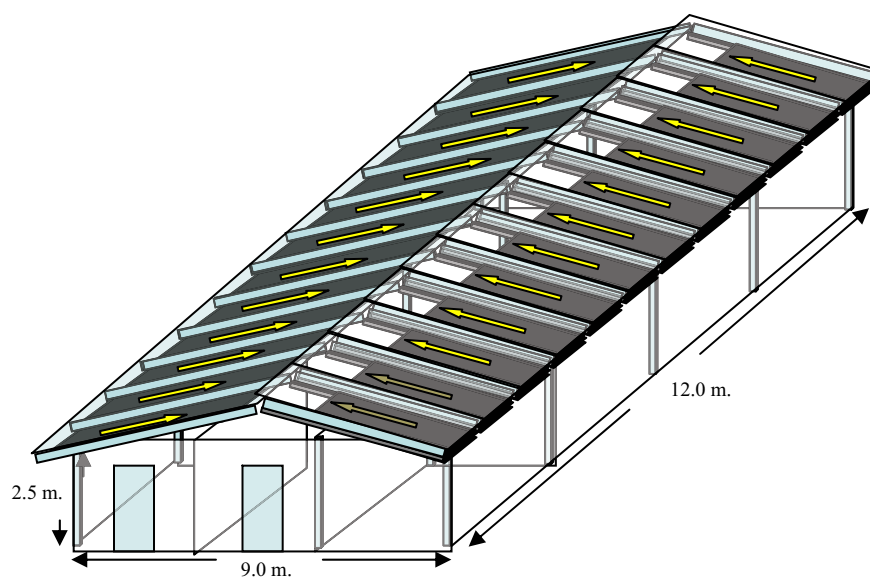


รูปที่ 2.22 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นโดย Janjai และ Tung (2005)

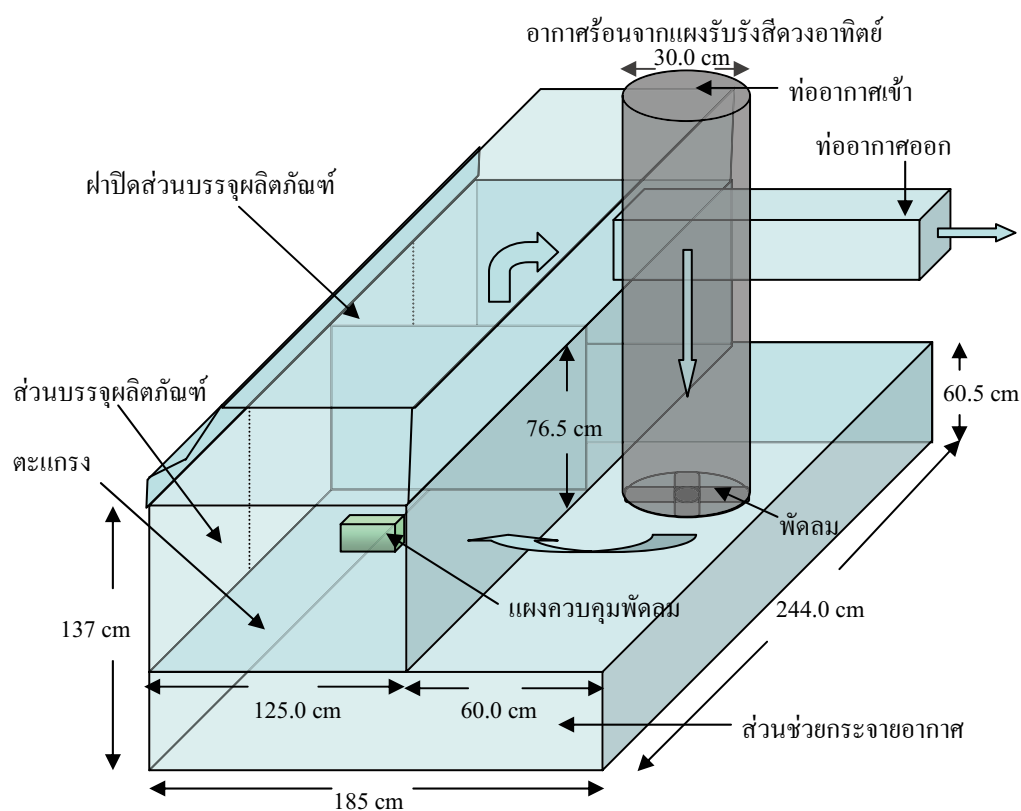
เครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งดอกกระเจี๊ยบ 200 กิโลกรัม ให้แห้งในเวลาประมาณ 4 วัน แต่เนื่องจากวัสดุโปร่งแสงที่ปิดด้านบนของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งทำด้วยไฟเบอร์กลาสมีการเสื่อมสภาพ เกิดการร่นมัวหลังจากใช้งานไปนานๆ

Janjai et al (2008) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน โดยปรับปรุงจากงานของ Janjai and Tung (2005) งานที่ปรับปรุงประกอบด้วยการออกแบบแผงรับรังสีใหม่ที่ใช้แผ่นโพลีคาร์โบเนต แทนการใช้ไฟเบอร์กลาสและปรับปรุงโรงเรือนให้เป็นสถานที่ใช้เตรียมผลิตภัณฑ์สดและเก็บผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วย

ลักษณะของระบบบอบแห้งของ Janjai et al (2008) แสดงดังรูปที่ 3.23-3.24



รูปที่ 2.23 โครงสร้างระบบบอบแห้งแบบใช้ความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่เป็นหลังคา
โรงเรือน Janjai et al (2008)



รูปที่ 2.24 ตู้อบแห้งภายในโรงอบแห้ง (Janjai et al, 2008)

เนื่องจากระบบอบแห้งที่มี (Janjai et al, 2008) ใช้ตู้อบแห้งแบบ bin type ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่อบจะกองทับกันเป็นชั้นหนา (deep – bed drying) ถ้าใส่ผลิตภัณฑ์จำนวนมากจะเกิดปัญหาความสม่ำเสมอของการแห้งของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องใช้พัดลมที่มีกำลังสูงเพื่อเป่าอากาศร้อนผ่านผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในโครงการความร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างประเทศไทยและประเทศ สปป.ลาว คณะผู้ดำเนินโครงการจึงได้ออกแบบตู้อบแห้งใหม่ ซึ่งเป็นแบบถาด (tray type dryer) และบังคับให้อากาศไหลขนานกับถาด ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งดังกล่าว ดังรายละเอียดในบทต่อไป

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

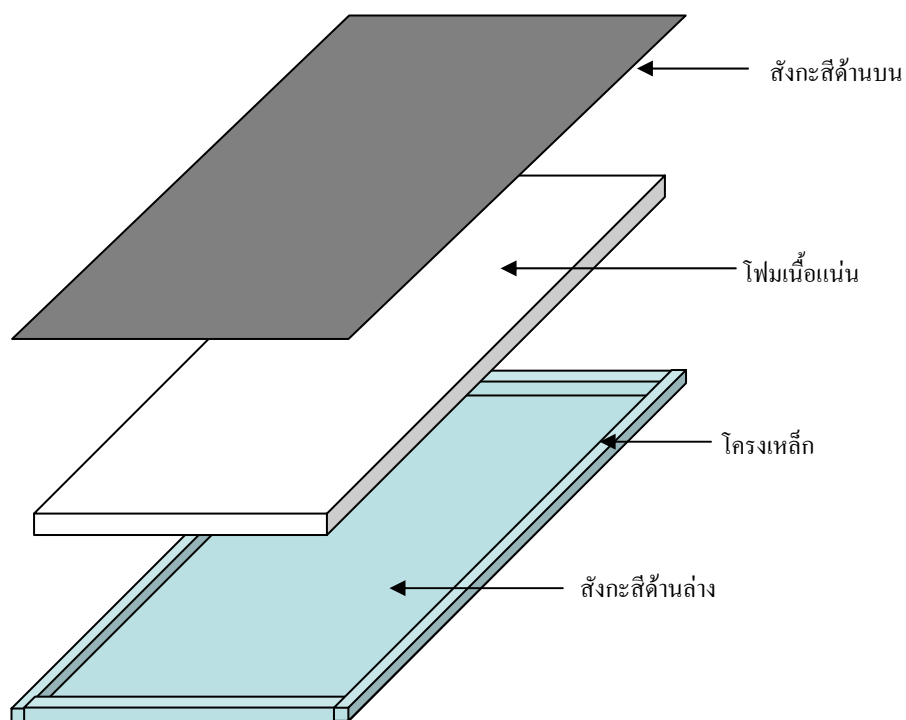
ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะทำการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน ซึ่งติดตั้งสาธิตใช้งานที่วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้จำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบอบแห้งและการทดสอบสมรรถนะตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1 รายละเอียดของระบบอบแห้ง

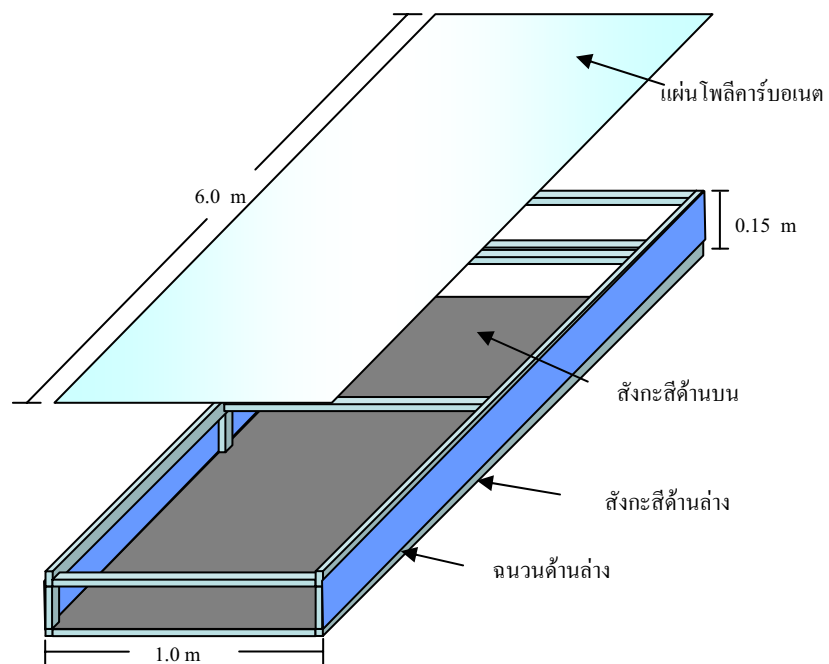
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ตู้อบแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้เป็นหลังคาโรงเรือน มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ตู้อบแห้งแบบถาด และระบบระบายอากาศ แต่ละส่วนมีองค์ประกอบดังนี้

3.1.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์

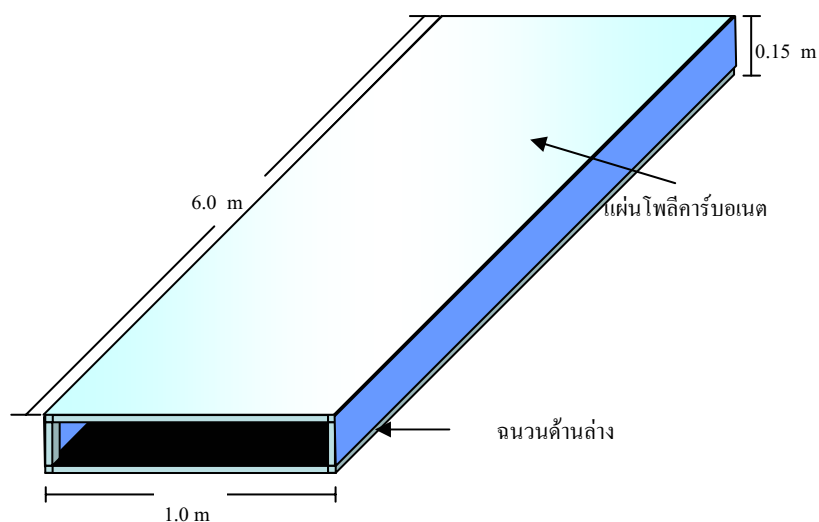
แผงรับรังสีดวงอาทิตย์แต่ละแผงจะประกอบด้วยแผ่นฉนวนด้านล่าง ช่องไหลผ่านของอากาศ และแผ่นโพลีคาร์บอเนตปิดด้านบน โดยแผ่นฉนวนด้านล่างทำจากแผ่นสังกะสี 2 ชั้น ระหว่างชั้นทั้ง 2 เป็นแผ่นโฟม โดยด้านบนของแผ่นฉนวนทาด้วยสีดำเพื่อช่วยดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (รูปที่ 3.1) โครงของแผงรับรังสีทำด้วยเหล็กกล่องซึ่งทาสีกันสนิม แผงรับรังสีดวงอาทิตย์แต่ละแผงมีขนาดกว้าง 1.00 เมตร ยาว 6.00 เมตร และหนา 0.15 เมตร (รูปที่ 3.2 และ 3.3)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของแผ่นฉนวนด้านหลัง



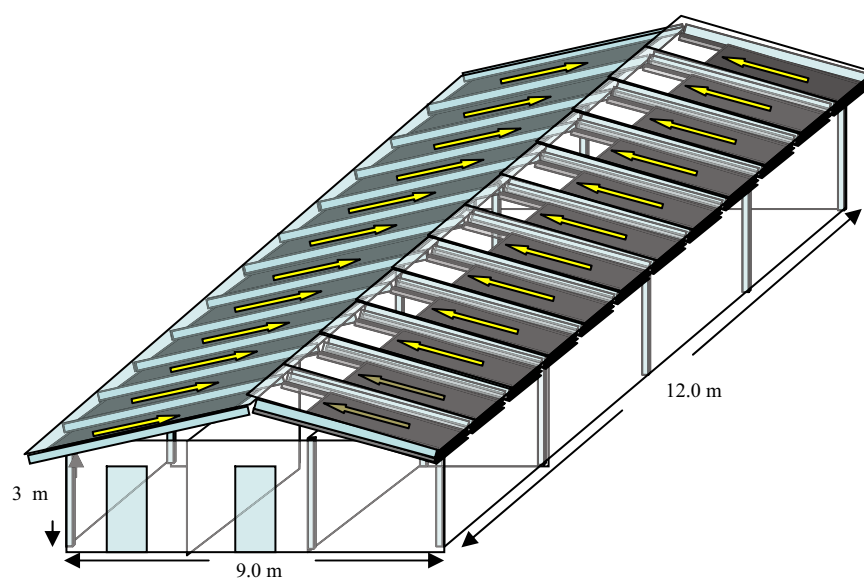
รูปที่ 3.2 ลักษณะของภายในแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ประกอบเป็นหลังคาโรงเรียน



รูปที่ 3.3 ลักษณะส่วนประกอบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ประกอบเป็นหลังคาโรงเรือน

แผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะวางบนโครงสร้างของหลังคาของโรงอบแห้งซึ่งมีแนวยาวในทิศ ตะวันออก ตะวันตก และมีมุมเอียงของหลังคาประมาณ 30 องศา (รูปที่ 3.4) โดยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะวางเรียงต่อกันทั้งสองด้านของหลังคาด้านละ 12 แผง บริเวณที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์มาบรรจบกันจะมีท่ออากาศ (รูปที่ 3.5) เพื่อดูดอากาศร้อนลงไปยังตู้อบแห้งที่อยู่ในโรงอบแห้ง

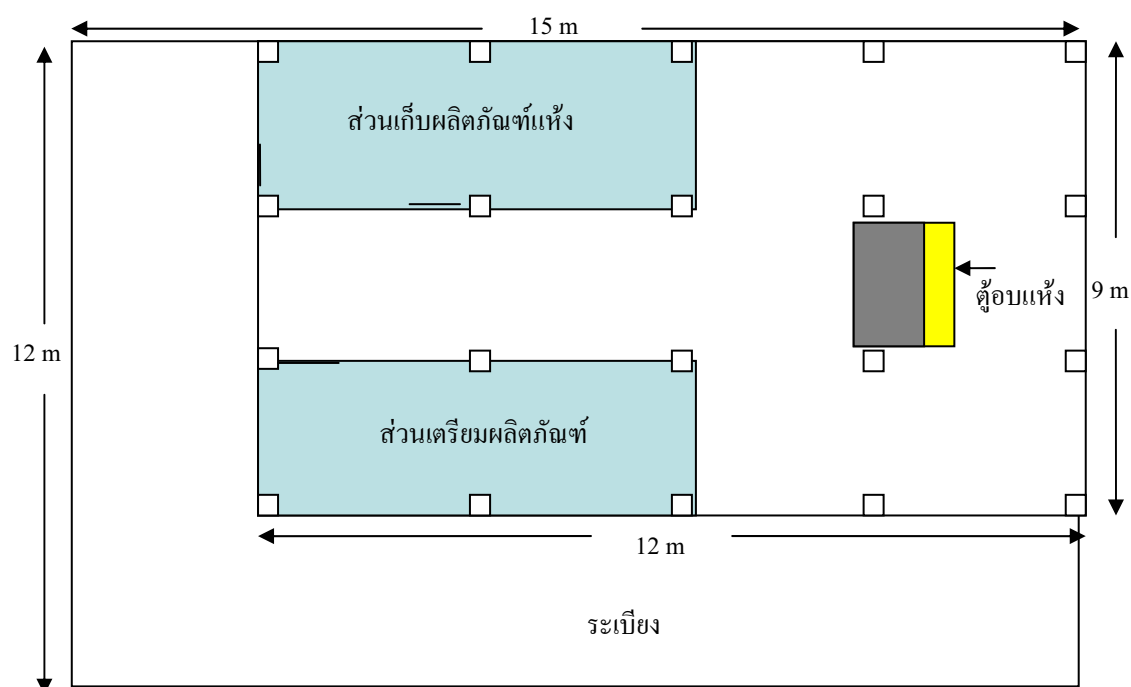
โรงอบแห้งดังกล่าวเป็นอาคารชั้นเดียวขนาดพื้นที่ใช้สอย 9.0 x 12.0 ตารางเมตร (รูปที่ 3.5) ภายในแบ่งเป็นส่วนสำหรับวางตู้อบแห้ง ห้องเตรียมผลิตภัณฑ์สดและห้องเก็บผลิตภัณฑ์แห้ง (รูปที่ 3.6 และ 3.7)



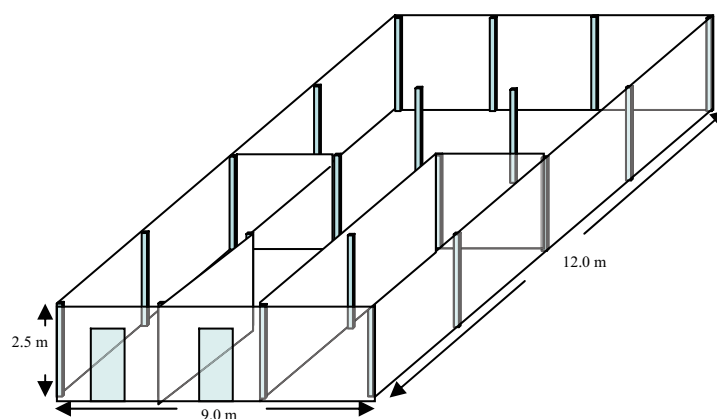
รูปที่ 3.4 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อยู่บนโครงสร้างของโรงอบแห้ง



รูปที่ 3.5 ท่ออากาศที่แนวบรรจบของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทั้งสองด้าน



รูปที่ 3.6 ขนาดและตำแหน่งของพื้นที่ใช้สอยในโรงอบแห้ง



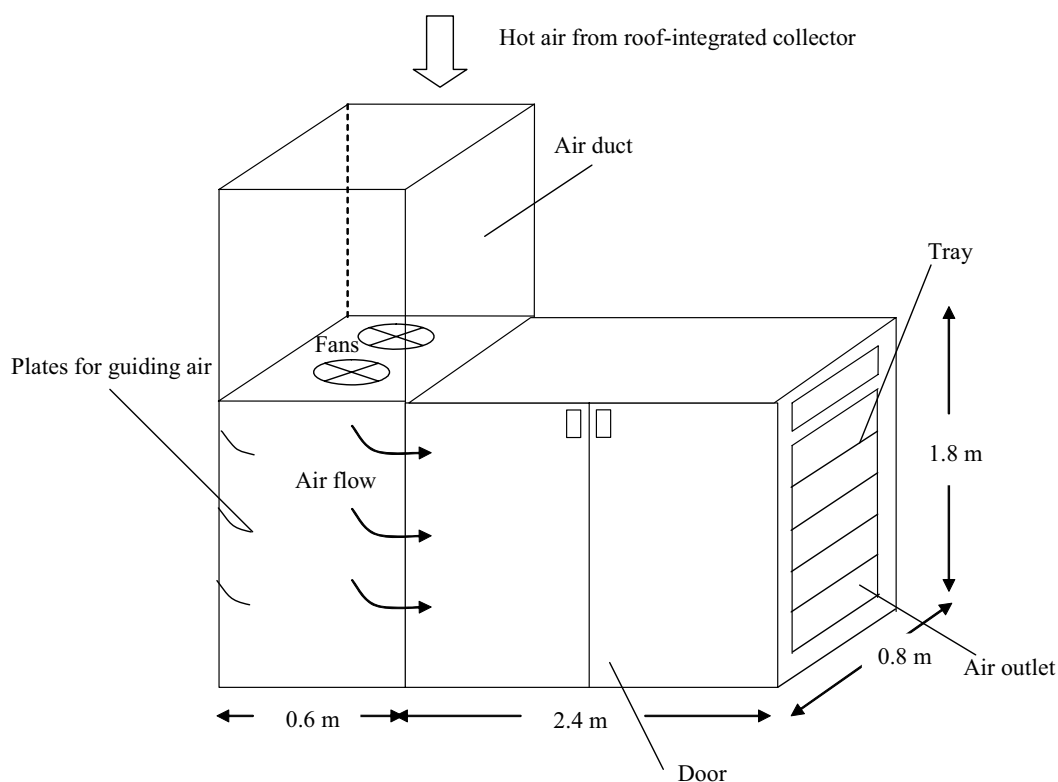
รูปที่ 3.7 ลักษณะของโรงอบแห้ง



รูปที่ 3.8 ลักษณะของโรงอบแห้งที่มีหลังคาเป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่สร้างเสร็จแล้ว

3.1.2 ตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้งของระบบอบแห้งนี้เป็นแบบถาดโดยวางผลิตภัณฑ์เป็นชั้นบางจำนวน 28 ถาด แต่ละถาดมีความกว้าง 0.75 เมตร ยาว 1.2 เมตร มีพื้นที่สำหรับวางผลิตภัณฑ์รวม 25.2 ตารางเมตร ตู้อบจะมีท่อนำอากาศต่อมาจากหลังคาโรงอบแห้งที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ภายในตู้มีพัดลมแบบ axial fan ที่ทำงานด้วยมอเตอร์กระแสตรง (dc motor) โดยพัดลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตรจำนวน 2 ตัว อากาศที่ถูกดูดจะปะทะกับแผ่นบังคับทิศทางลมเพื่อเบี่ยงเบนทิศการไหลของอากาศให้เข้าไปยังถาดวางผลิตภัณฑ์ โดยด้านหน้ามีประตูปิดและเปิด สำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าออก



รูปที่ 3.9 ลักษณะของตู้อบแบบถาด



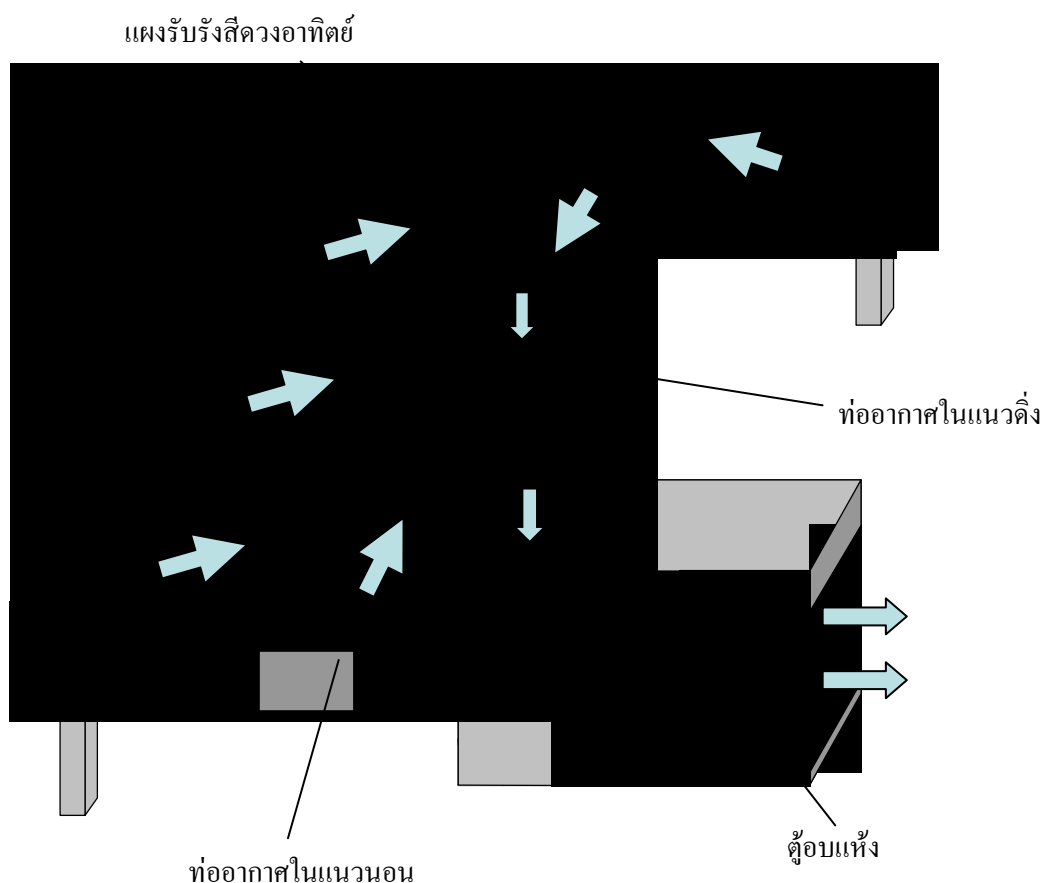
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของตู้อบและถาดวางผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของตู้อบแห้งที่อยู่ภายในโรงอบ

3.1.3 ระบบระบายอากาศ

ระบบอบแห้งนี้ใช้พัดลมซึ่งทำงานด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 72 วัตต์จำนวน 2 ตัว ซึ่งติดตั้งอยู่ในท่ออากาศเพื่อใช้ดูดอากาศร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทั้งสองด้านจะถูกดูดมารวมกันและไหลเข้าไปยังท่ออากาศในแนวตั้งของหลังคาโรงอบแห้ง และมีท่อดูดอากาศในแนวตั้งต่อกับท่ออากาศในแนวนอน เพื่อนำอากาศลงมายังตู้อบแห้ง (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 ท่ออากาศของระบบอบแห้งและทิศทางการไหลของอากาศ

พัดลมดูดอากาศของระบบอบแห้งจะใช้การสเปไฟฟ้าจากแผงโซลาเซลล์ ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 6 แผง โดยต่อกันแบบขนาน โดยแผงโซลาเซลล์ดังกล่าวจะติดตั้งบริเวณชายคาของโรงอบแห้งทำมุมเอียงประมาณ 30 องศา หันหน้าไปยังทิศใต้ (รูป 3.12)



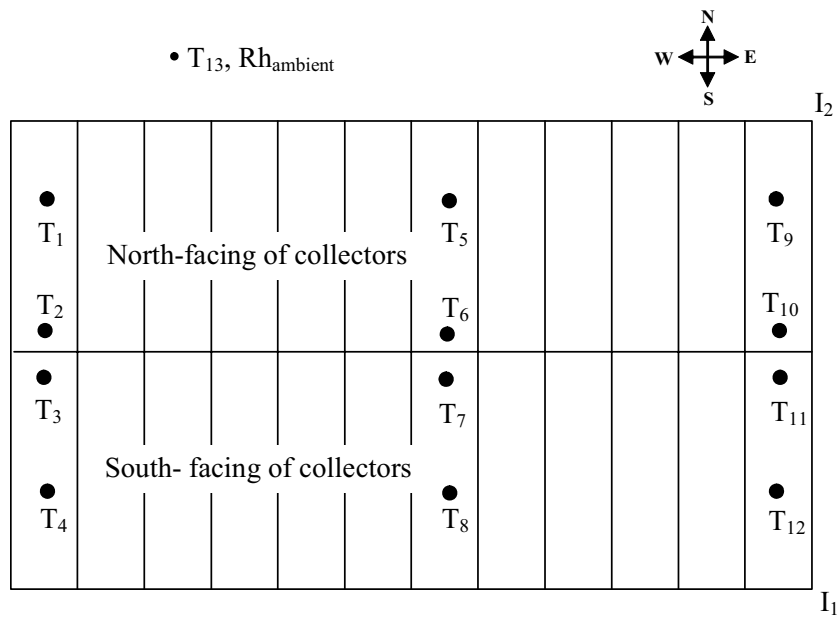
รูปที่ 3.12 ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบริเวณชายคาของโรงอบแห้งเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายอากาศของระบบอบแห้ง

3.2 การทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้ง

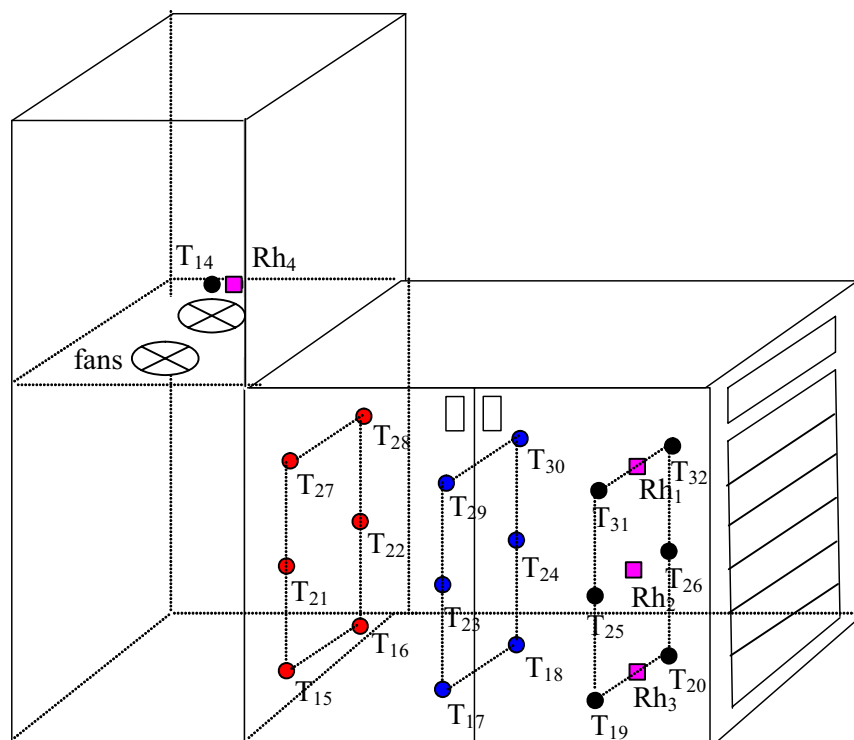
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยการใช้ระบบแห้งดังกล่าวอบแห้งกาแฟจำนวน 3 ครั้ง และอบพริกจำนวน 2 ครั้ง ตามรายละเอียดดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์การวัดและบันทึกข้อมูล

ในการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจำเป็นต้องทราบข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่จุดต่างๆ ของระบบ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ติดตั้งเครื่องมือวัดตามจุดต่างๆ ดังแผนภูมิในรูปที่ 3.12 ถึง 3.14



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิบนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์
ซึ่งเป็นหลังคาของโรงอบ



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งของจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในเครื่องอบ

อุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

- 1) เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (type K) ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของระบบ
- 2) เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire ยี่ห้อ Airflow รุ่น TA5 ใช้สำหรับวัดความเร็วลม
ขาเข้าเครื่องอบที่บริเวณท่ออากาศ
- 3) ไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) ยี่ห้อ KIPP & ZONEN รุ่น CM 11 สำหรับวัดความเข้ม
รังสีดวงอาทิตย์ จะใช้ 2 เครื่องวางบนระนาบของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ทั้ง 2 ด้าน
ของหลังคา
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น E2000 D ใช้สำหรับชั่งน้ำหนัก
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่อบเพื่อนำมาหาความชื้น
- 5) เครื่องวัดความชื้น ยี่ห้อ Elektronik รุ่น EE23 จำนวน 4 เครื่อง
- 6) ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP จะใช้สำหรับหามวลแห้งของ
ผลิตภัณฑ์ที่อบ
- 7) เครื่องบันทึกข้อมูลแบบตัวเลข (data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100 จะใช้สำหรับ
บันทึกข้อมูลอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากไพราโนมิเตอร์
และความชื้นจากเครื่องวัดความชื้น



รูปที่ 3.15 เครื่องวัดความชื้นสัมผัสยี่ห้อ Elektronik รุ่น EE23



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ hot wire ยี่ห้อ Airflow รุ่น TA5



รูปที่ 3.17 ไพราโนมิเตอร์ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น CM3



รูปที่ 3.18 เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DC100



รูปที่ 3.19 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP



รูปที่ 3.20 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น E2000 D

3.2.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งจะใช้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือกาแฟและพริกแดงใหญ่ กรณีของกาแฟ หลังจากเตี้ออกจากต้นแล้วเกษตรกรจะทำการปอกเปลือกออกเหลือแต่เมล็ดกาแฟ ผู้วิจัยได้กาแฟดังกล่าวมาทำการอบจำนวน 3 ครั้งและพริกแดงใหญ่จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 100 กิโลกรัม กาแฟที่อบจะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 55 %(wb) และพริกที่อบจะมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 81 %(wb) โดยในการทดลองแต่ละครั้ง จะดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ที่จะอบและตัวอย่างที่เตรียมไว้ทั้งในเครื่องอบและนำผลิตภัณฑ์วางบนถาดในตู้อบ
- 2) นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้ใส่กล่องบรรจุตัวอย่างที่มีรูพรุน แล้วนำไปวางภายในตู้อบแห้งในตำแหน่งต่างๆ พร้อมทั้งแบ่งผลิตภัณฑ์ อีกส่วนหนึ่งใส่ตะแกรงตากแดด ด้านนอกสำหรับเปรียบเทียบผลการทดลอง
- 3) เปิดพัดลมให้ทำงานแล้วบันทึกข้อมูลโดยจะชั่งน้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ทุกๆ 3 ชั่วโมง โดยข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะบันทึกค่าทุก 1 วินาที แล้วนำมาเฉลี่ยทุกๆ 10 นาที เพื่อนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์
- 4) ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 - 4 จนกว่าผลิตภัณฑ์จะแห้ง
- 5) นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหามวลแห้ง

ในการหาความชื้นของผลิตภัณฑ์จะอาศัยสมการ

$$M(t) = \frac{m_p(t) - m_s}{m_p(t)} \quad (3.1)$$

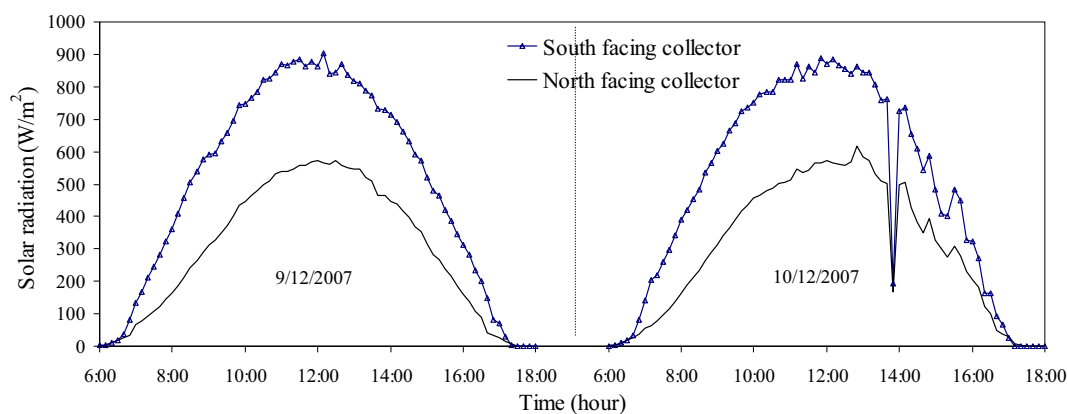
โดย $M(t)$ = ความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาใดๆ [%wb]
 $m_p(t)$ = มวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด [kg]
 m_s = มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ [kg]

3.2.3 ผลการทดลอง

1) การทดลองอบกาแฟ

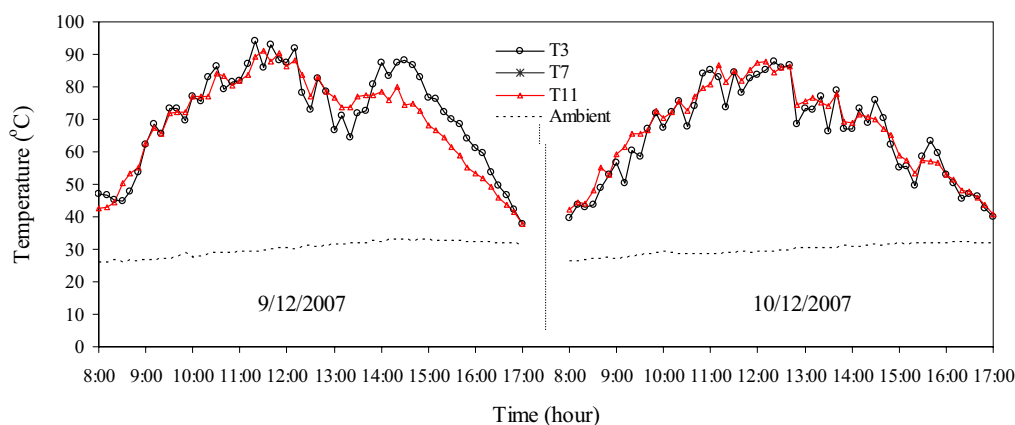
ก) การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 ดำเนินการในช่วงวันที่ 9-10 ธันวาคม พ.ศ. 2550

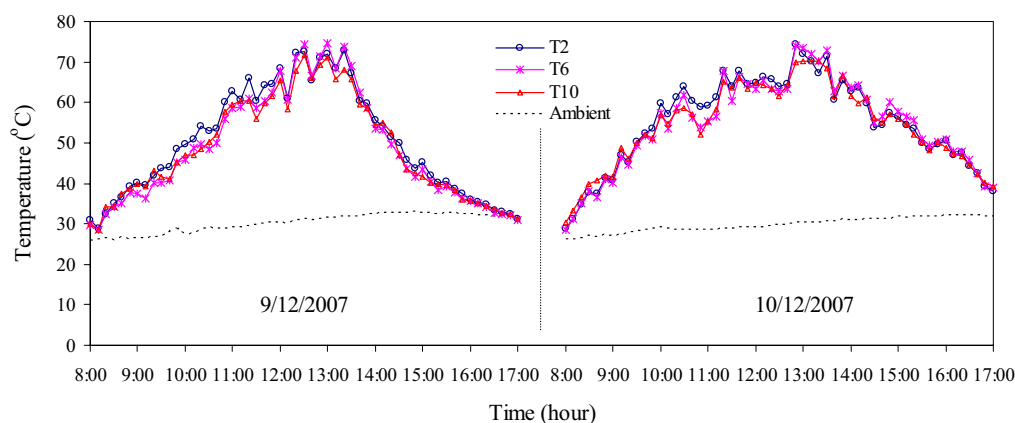


รูปที่ 3.21 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคาด้านทิศเหนือและใต้จากการทดลองครั้งที่ 1 ระหว่างวันที่ 9-10 ธันวาคม พ.ศ.2550

จากรูป 3.21 เนื่องจากเดือนธันวาคมระนาบของดวงอาทิตย์จะอยู่ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรของโลก ดังนั้นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางทิศใต้จึงได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือ วันที่ 9 ธันวาคม 2550 ท้องฟ้าปราศจากเมฆส่งผลให้รังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจนสูงที่สุดประมาณ 900 วัตต์ต่อตารางเมตรในเวลา 12.00 น. และลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงเวลา 17.00 น. วันที่ 10 ธันวาคม 2550 ในช่วงเช้าท้องฟ้าปราศจากเมฆรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงที่สุดในเวลา 12.00 น. หลังจากนั้นเริ่มมีเมฆเป็นบางส่วนทำให้ค่ารังสีดวงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอ



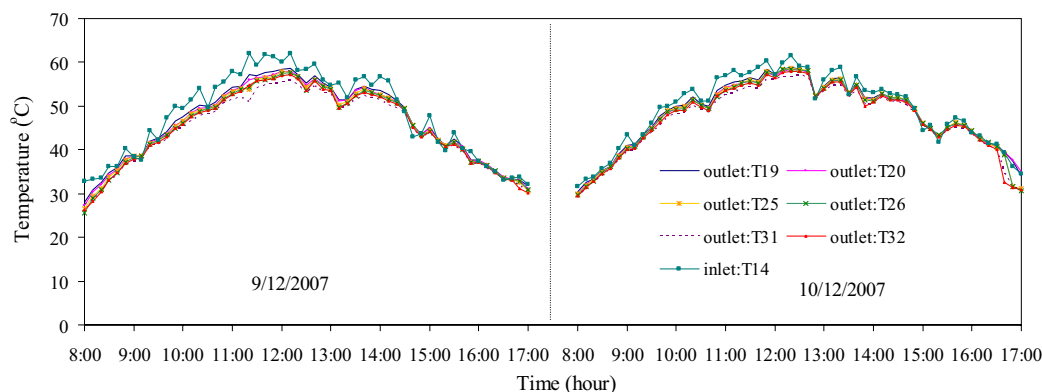
รูปที่ 3.22 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้



รูปที่ 3.23 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ

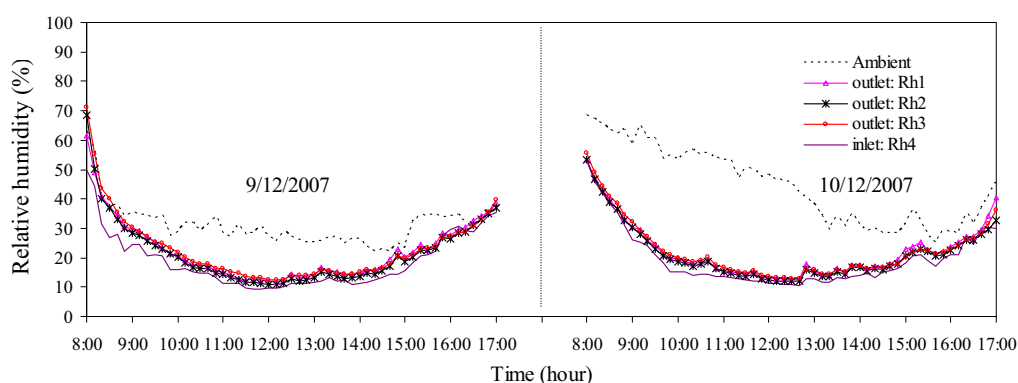
จากรูป 3.22-3.23 แสดงอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางทิศใต้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้จึงมีค่ามากกว่าอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ

จากนั้นอุณหภูมิอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะลดลง 2-3 องศาเซลเซียส เนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่ท่อนำอากาศก่อนจะมายังตู้อบ การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบ มีความสอดคล้องกับความชื้นสัมพัทธ์ที่เข้าและออกจากตู้อบ ดังรูปที่ 3.24-3.25



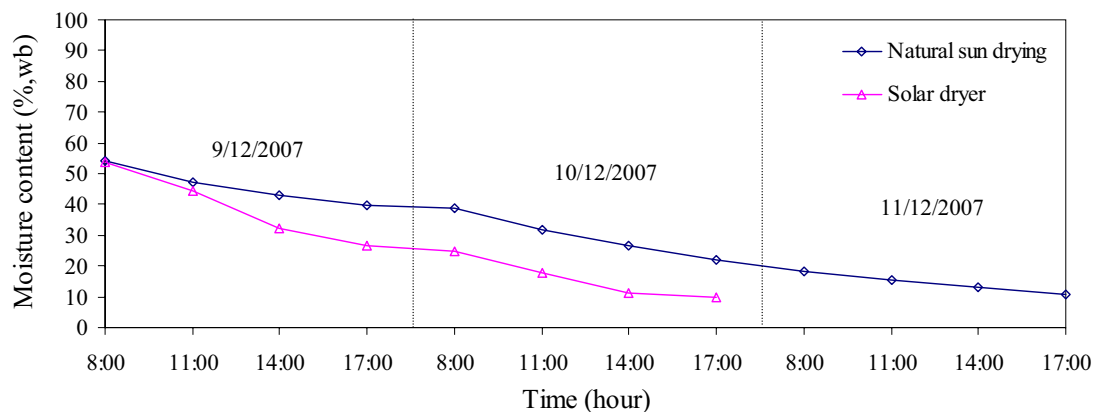
รูปที่ 3.24 การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง

อุณหภูมิภายในตู้อบสูงที่สุดในตอนเที่ยงวันประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นสัมพัทธ์ที่น้อยที่สุดในตอนเที่ยงวันประมาณ 10% ในวันท้องฟ้าปราศจากเมฆอุณหภูมิในตู้อบจะเพิ่มขึ้นจนถึงเที่ยงวัน เมื่อพิจารณากราฟของความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะเห็นว่ามีค่าลดลงจากช่วงเช้าจนถึงค่าต่ำสุดในตอนเที่ยงและเพิ่มขึ้นในตอนเย็น เมื่อเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม จะพบว่าอากาศภายในเครื่องอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศแวดล้อม ทำให้อากาศภายในเครื่องอบแห้งมีศักยภาพในการอบแห้งสูงกว่าอากาศแวดล้อม



รูปที่ 3.25 การแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบและอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง

ในวันท้องฟ้าปราศจากเมฆสามารถอบกาแฟที่มีความชื้นเริ่มต้น 53%(wb) ให้เหลือ 10% (wb) ในเวลาสองวันหรือ 18 ชั่วโมงที่มีแสงแดด ส่วนการตากแดดตามธรรมชาติเหลือความชื้นประมาณ 22% (wb) ในเวลาที่เท่ากันดังรูป 3.26



รูปที่ 3.26 การเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบโดยตู้อบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ

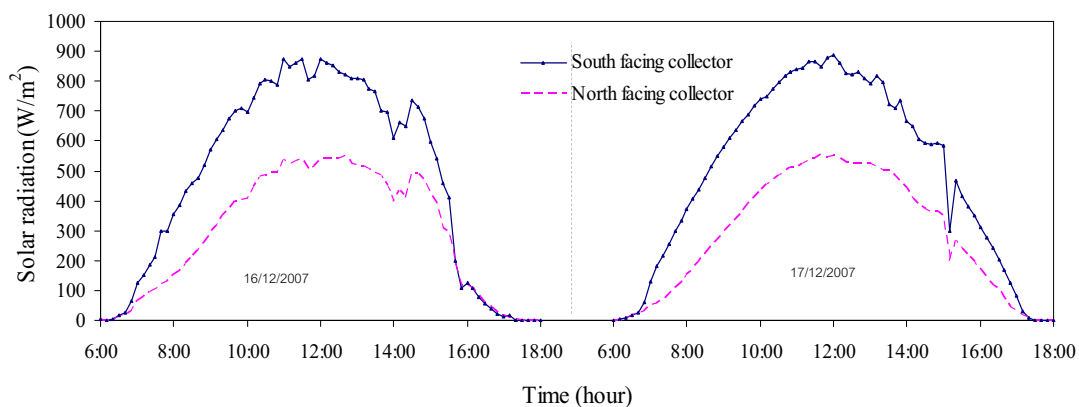
จากรูป 3.26 วันแรกสังเกตได้ว่าความชื้นจะลดลงช้าๆในช่วงเช้าและจะลดเร็วขึ้นในช่วงบ่าย ในวันที่สองสังเกตได้ว่าความชื้นของกาแฟค่อนข้างจะคงที่ในช่วงเย็นความชื้นสุดท้ายที่ได้การคือ 10% (wb) และสำหรับกาแฟที่ตากแดดตามธรรมชาติความชื้นอยู่ที่ประมาณ 18%(wb) และยังคงลดลงต่อไป

ข) การทดลองครั้งที่ 2

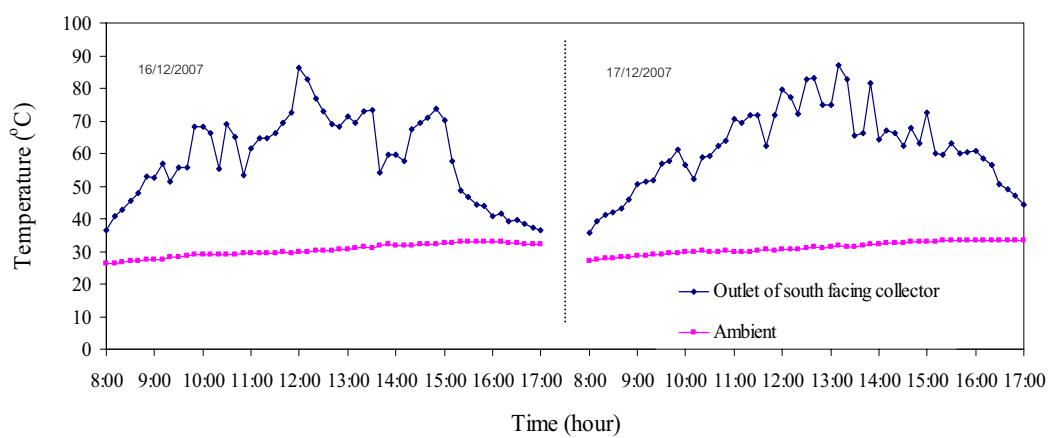
การทดลองครั้งที่ 2 ดำเนินการทดลองระหว่างวันที่ 16-17 ธันวาคม 2550 โดยใช้กาแฟสด จำนวน 100 กิโลกรัม ในวันแรกท้องฟ้าแจ่มใสตลอดทั้งวัน สำหรับวันที่สองท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใสมีเมฆเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 15:30-16:00น ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรูปที่ 3.27

พิจารณาอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้ กับอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ ในวันต่างๆพบว่าในวันแรกอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือมีค่าสูงสุดประมาณ 70°C และอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้มีค่าสูงสุดประมาณ 83°C ในวันที่สองอุณหภูมิของอากาศที่แผ่รังสีจะมีค่าใกล้เคียงกับวันแรก โดยอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ มีค่าสูงสุดประมาณ 70°C และอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้มีค่าสูงสุดประมาณ 80°C ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ถึง 3.29 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าตู้อบจะแปรตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน (รูปที่ 3.30) ในด้านของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จากกราฟรูปที่ 3.31 จะเห็นว่าอากาศที่ได้รับจากแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ไหลเข้าตู้อบจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศแวดล้อมมาก และเมื่อไหลผ่านผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากได้รับความชื้นจากผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิที่ลดลง

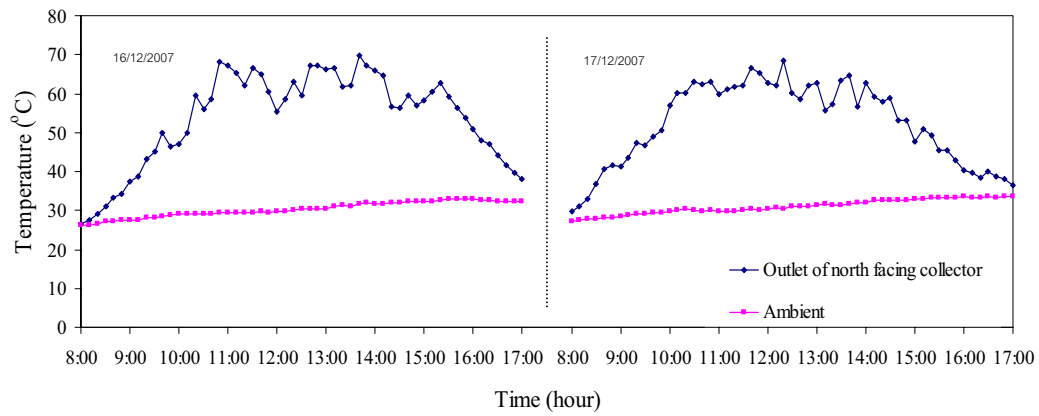
พิจารณาความชื้นของกาแฟในวันแรกจะลดลงค่อนข้างช้าจากนั้นในวันที่ 2 จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยความชื้นลดลงจนถึงประมาณ 10 % (wb) ในตอนเย็นของวันที่ 2 ของการอบ หลังจากอบแห้งแล้วได้กาแฟแห้ง 40 กิโลกรัม โดยกาแฟที่อบในตู้จะแห้งเร็วกว่าตัวอย่างที่ตากแดดตามธรรมชาติ



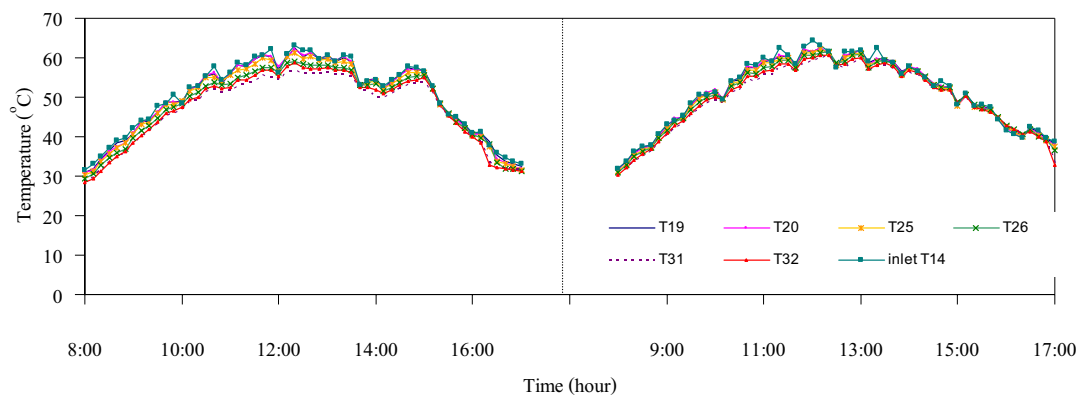
รูปที่ 3.27 การแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคาด้านทิศเหนือและใต้



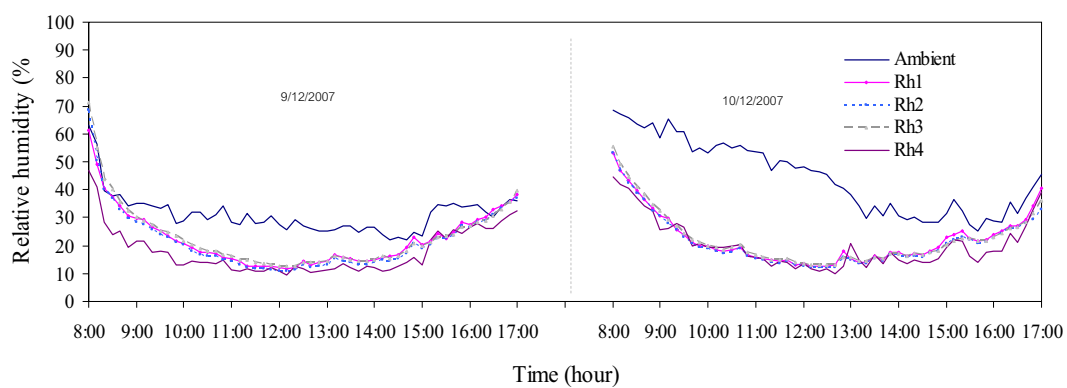
รูปที่ 3.28 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้



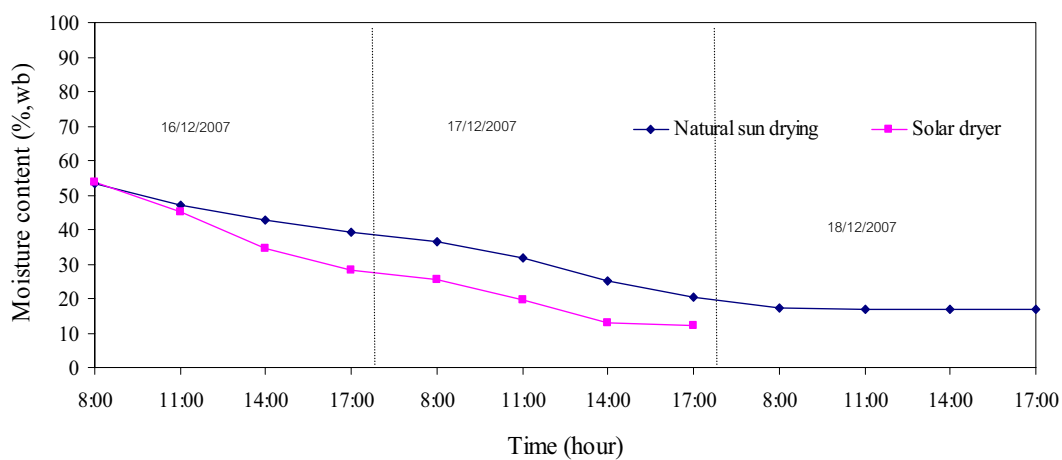
รูปที่ 3.29 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.30 การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง



รูปที่ 3.31 การแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบ และอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง



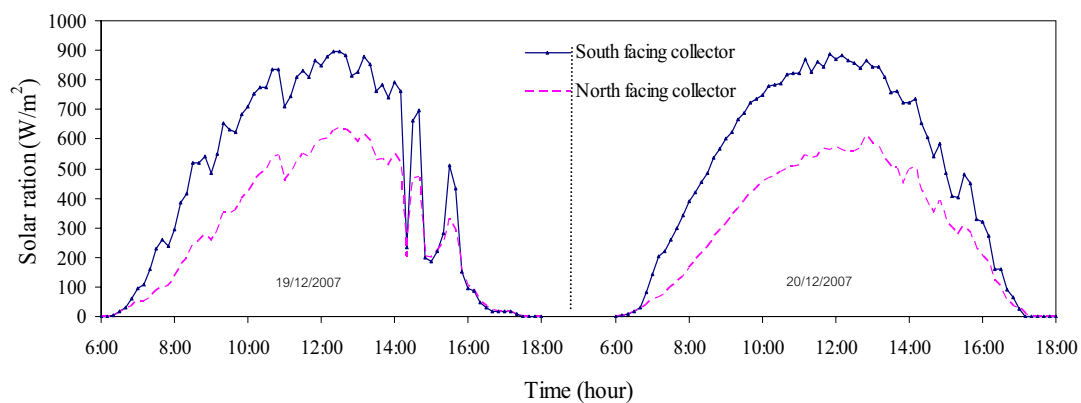
รูปที่ 3.32 เปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบโดยตู้อบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ

ค) การทดลองครั้งที่ 3

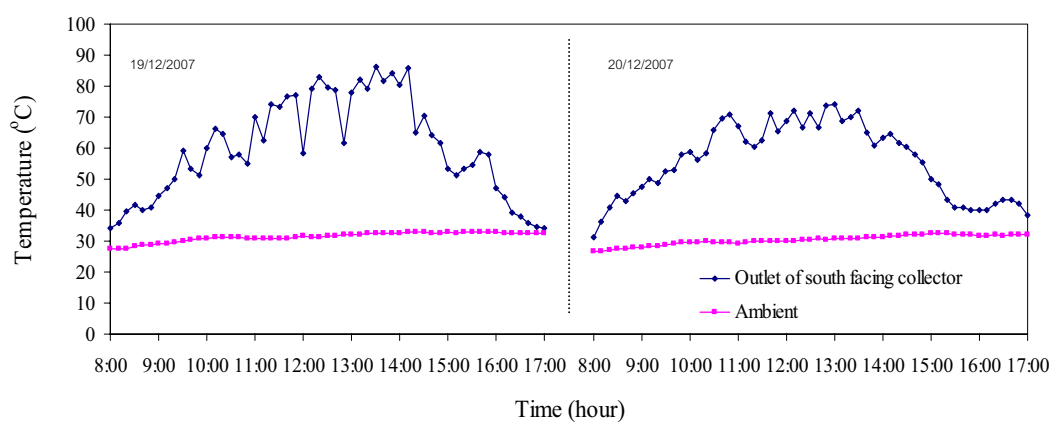
การทดลองครั้งที่ 3 ดำเนินการทดลองระหว่างวันที่ 19-20 ธันวาคม 2550 โดยใช้ กาแฟสด จำนวน 100 กิโลกรัม ในวันแรกท้องฟ้ามีเมฆตลอดทั้งวันและมีฝนตกในช่วงเวลาประมาณ 14:00-15:30น สำหรับวันที่สอง ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใสเกือบตลอดทั้งวันมีเมฆมากในช่วงเวลา 15:00-16:00น ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรูปที่ 3.33

พิจารณาอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้ กับอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ พบว่าในวันแรกอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือมีค่าสูงสุดประมาณ 70°C และอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้มีค่าสูงสุดประมาณ 83°C ในวันที่สองอุณหภูมิของอากาศที่แผ่รังสีจะมีค่าใกล้เคียงวันแรกโดยอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือมีค่าสูงสุดประมาณ 73°C และอุณหภูมิที่แผ่รังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้มีค่าสูงสุดประมาณ 76°C ดังแสดงในรูปที่ 3.34 ถึง 3.35 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าตู้อบจะแปรตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูงที่สุดในวันแรกประมาณ 62°C และวันที่สองมีค่าสูงที่สุดประมาณ 60°C (รูปที่ 3.36) ในด้านของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จากกราฟรูปที่ 3.37 จะเห็นว่าอากาศที่ได้รับจากแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ไหลเข้าตู้อบจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศแวดล้อมมากตามกราฟรูปที่ 3.37

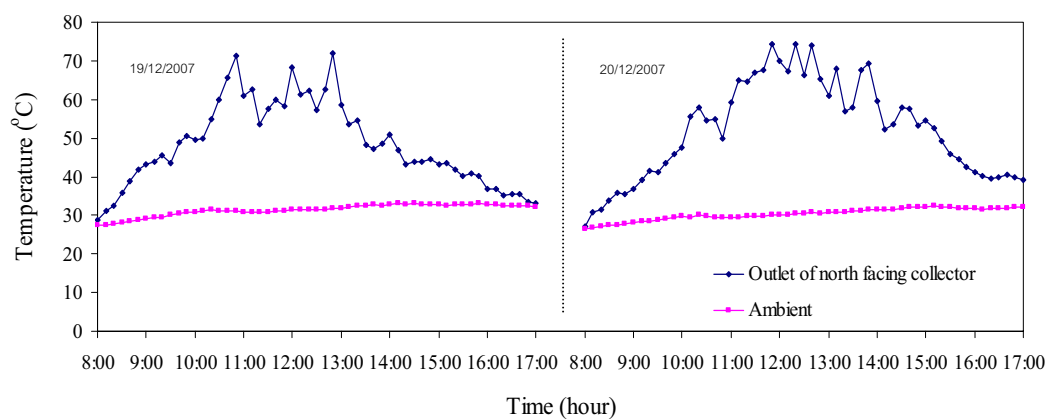
ความชื้นของกาแฟในวันแรกจะลดลงค่อนข้างช้าในตอนเช้าและลดลงเหลือประมาณ 30 % (wb) ในเวลา 18.00น จากนั้นในวันที่สองจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วโดยความชื้นลดลงจนถึงประมาณ 10 % (wb) หลังจากอบแห้งแล้วได้กาแฟแห้งประมาณ 40 กิโลกรัม โดยกาแฟที่ตากแดดตามธรรมชาติยังคงลดลงต่อไป



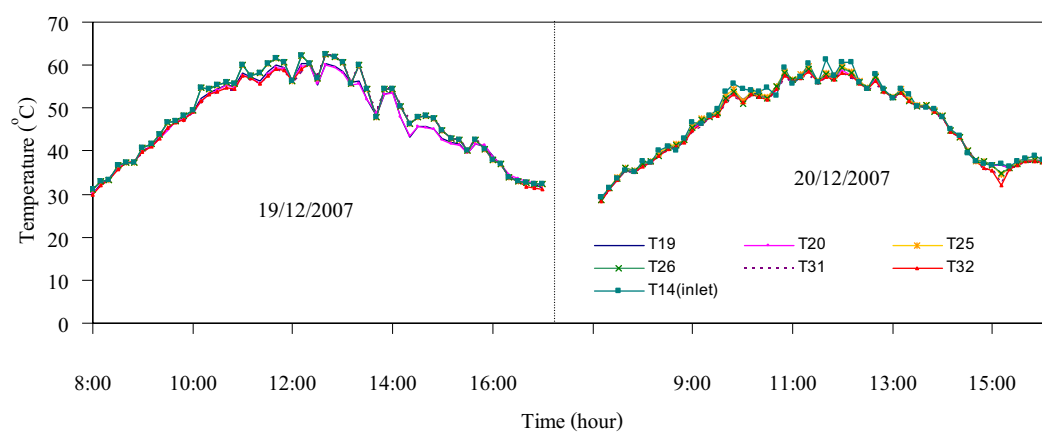
รูปที่ 3.33 การแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคาด้านทิศเหนือและใต้



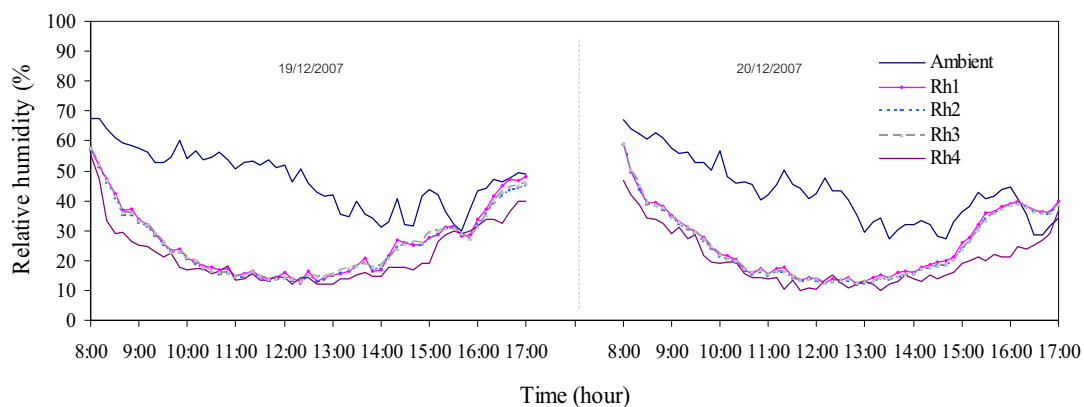
รูปที่ 3.34 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้



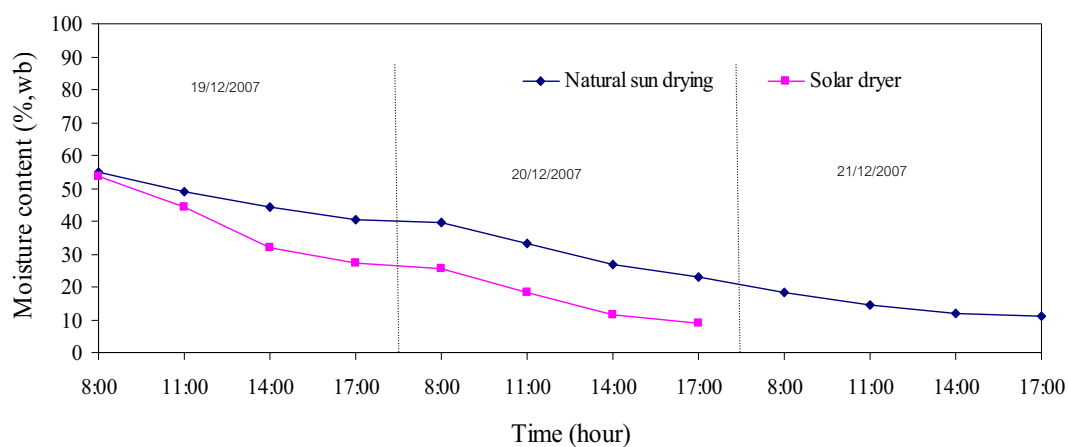
รูปที่ 3.35 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.36 การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง



รูปที่ 3.37 การแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าสู่ตู้อบ และอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง

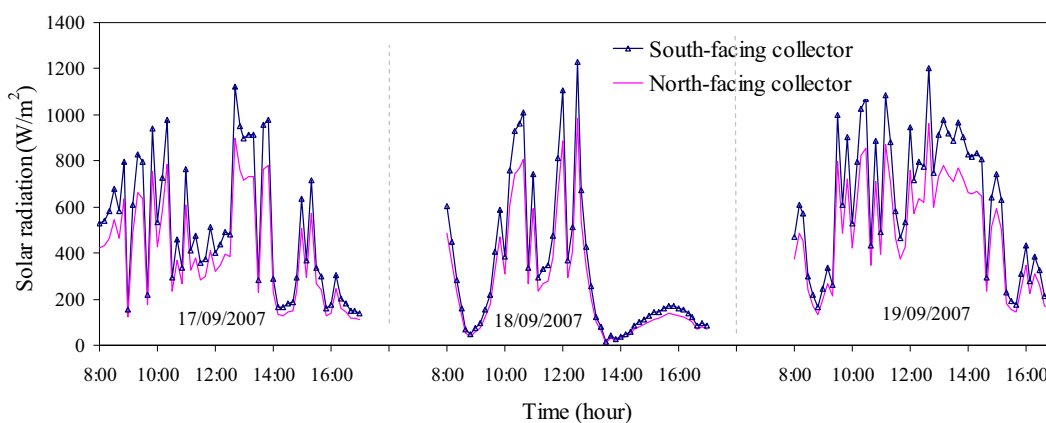


รูปที่ 3.38 เปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบโดยตู้อบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ

2) การทดลองอบพริก

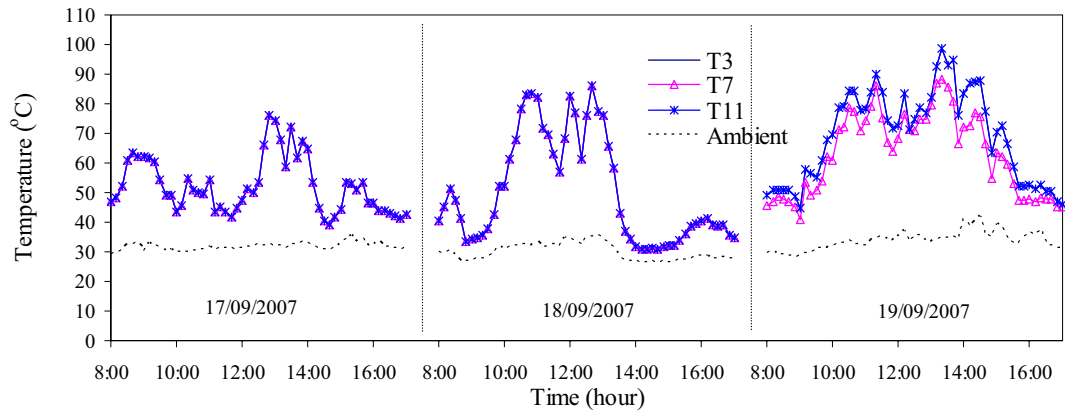
ก) การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 ดำเนินการระหว่างวันที่ 17-19 กันยายน 2550 เนื่องจากการทดลองครั้งนี้อยู่ในช่วงเดือนกันยายนซึ่งมีฝนตกชุกและมีเมฆมาก ดังแสดงผลการทดลองตามรูปที่ 3.39-3.43 ค่าของรังสีดวงอาทิตย์ที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือและใต้แสดงดังรูปที่ 3.39



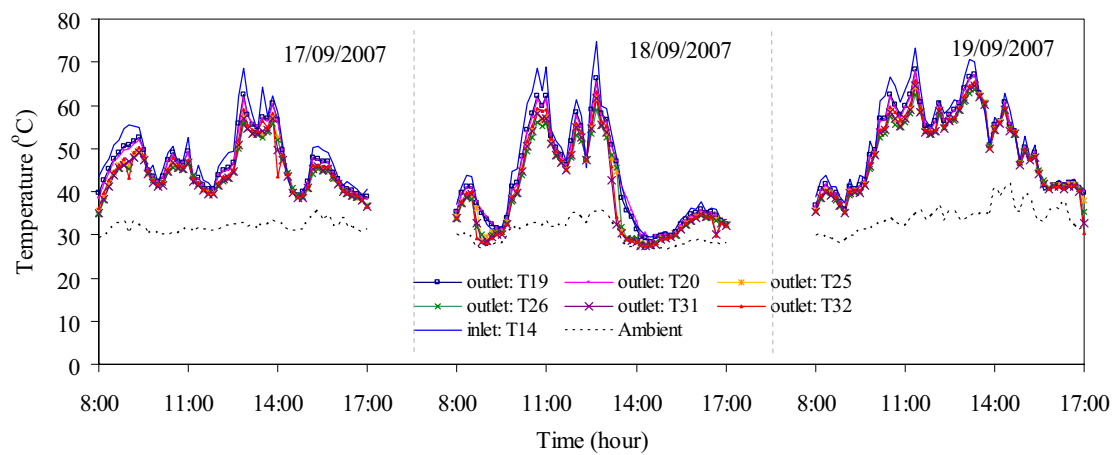
รูปที่ 3.39 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือและใต้

จากรูปที่ 3.39 ในเดือนกันยายนระนาบของดวงอาทิตย์จะอยู่ใกล้กับระนาบศูนย์สูตร ดังนั้นค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับแสงทางด้านเหนือและทางด้านใต้มีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าค่าของรังสีดวงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอขึ้นกับปริมาณเมฆ ส่งผลให้อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าไม่สม่ำเสมอ ดังรูป 3.40-3.41

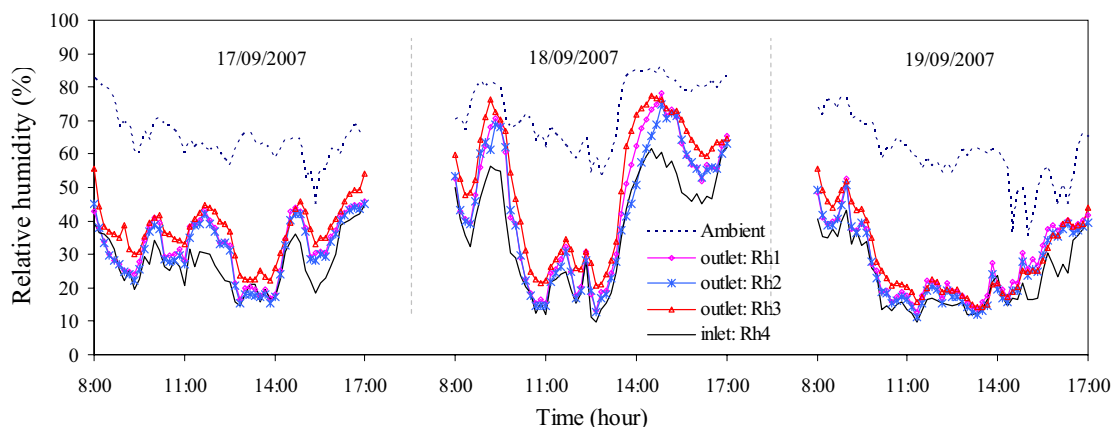


รูปที่ 3.40 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผง
รับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ

อุณหภูมิอากาศที่เข้าและออกจากตู้อบแห้งและอุณหภูมิแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน
ตู้อบและความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมแสดงดังรูปที่ 3.41-3.42



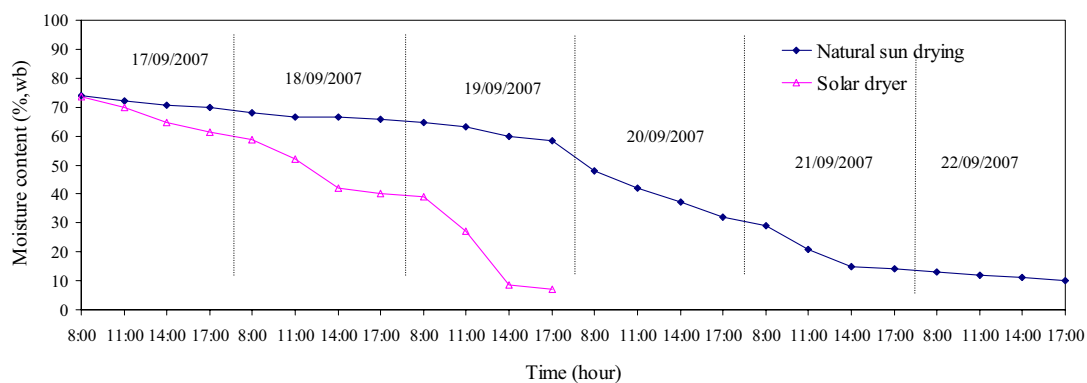
รูปที่ 3.41 การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง



รูปที่ 3.42 การแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าตู้อบแห้งและ อากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้ง

อุณหภูมิของอากาศในตู้อบแห้งจะสูงที่สุดตอนเที่ยงวัน ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำที่สุด อุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมมีค่าต่ำกว่าและสูงกว่าในตู้อบตามลำดับ

ความชื้นของพริกที่ใช้อบเริ่มต้นที่ 74 %(wb) และจะลดลงเหลือ 10 %(wb) ในเวลาสามวัน หรือ 27 ชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์ ส่วนตัวอย่างที่ตากแดดตามธรรมชาติใช้เวลาถึงหกวันดังแสดงในรูปที่ 3.43



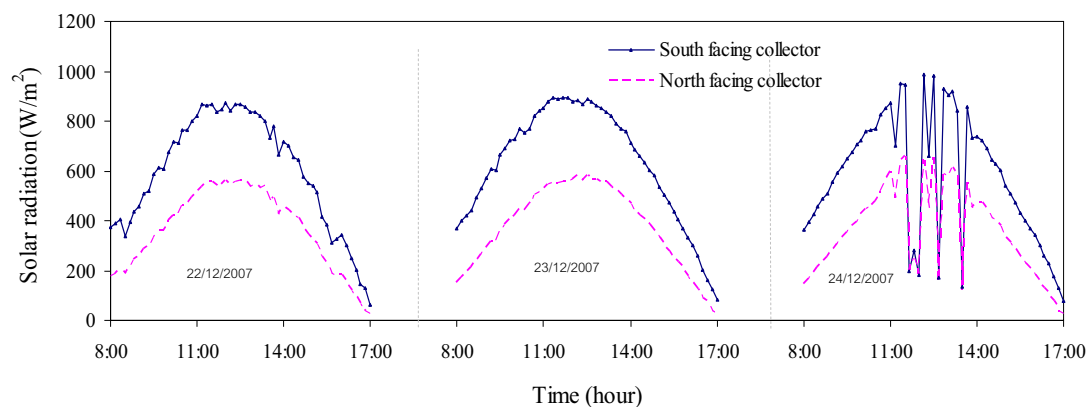
รูปที่ 3.43 การเปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของกาแฟที่อบ โดยตู้อบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ

ข) การทดลองครั้งที่ 2

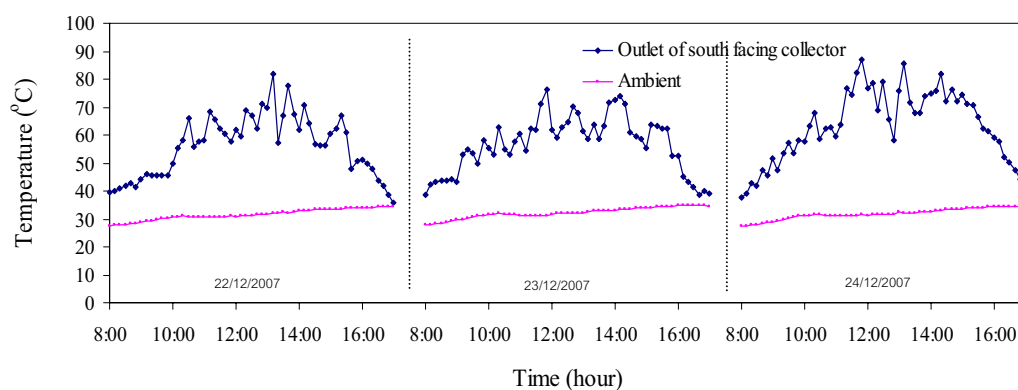
การทดลองครั้งที่ 2 ดำเนินการทดลองระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม 2550 โดยใช้พริก จำนวน 100 กิโลกรัม ในวันแรกและวันที่สองห้องฟามีเมฆบางส่วนตลอดทั้งวัน สำหรับวันที่สาม ห้องฟามีเมฆมากและมีฝนตกในช่วงเวลาประมาณ 11:30-13:30น ซึ่งสังเกตได้จากกราฟความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรูปที่ 3.44

พิจารณาอุณหภูมิที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้กับอุณหภูมิที่แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ ในวันต่างๆ อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งสามวันมีค่าไม่สม่ำเสมอโดยเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ โดยอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือประมาณ $7-8^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.45 ถึง 3.46 เมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าตู้อบจะแปรตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 3.47 ถึง 3.48

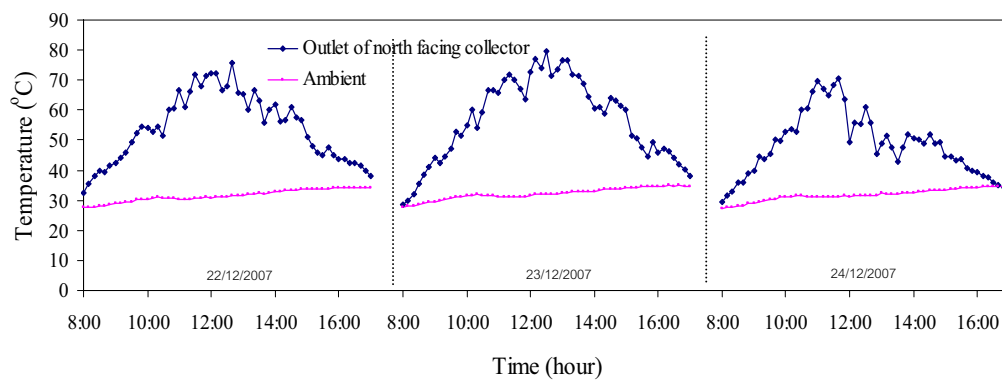
โดยความชื้นของพริกจะลดลงจนถึงประมาณ 16 % (wb) ในตอนเย็นของวันที่ 2 ของการอบ หลังจากอบแห้งแล้วได้พริกแห้ง 31 กิโลกรัม โดยพริกที่อบในตู้จะแห้งเร็วกว่าตัวอย่างที่ตากแดดตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 3.49



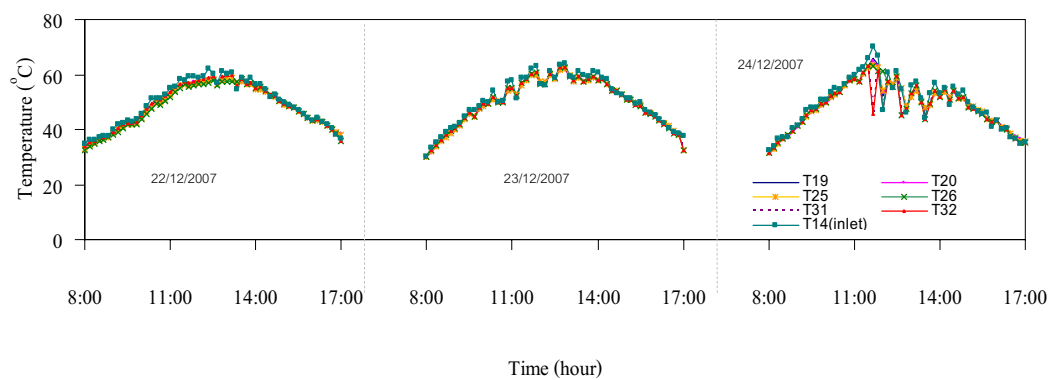
รูปที่ 3.44 การแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์บนหลังคาด้านทิศเหนือและใต้



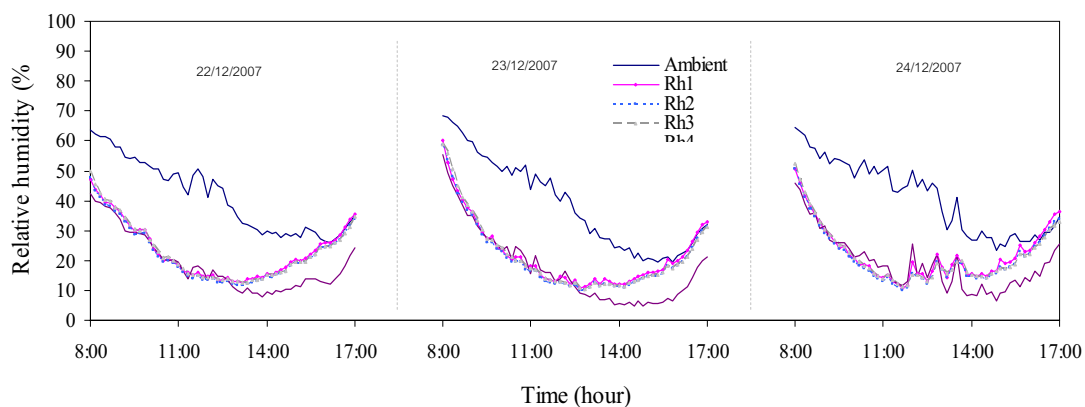
รูปที่ 3.45 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้



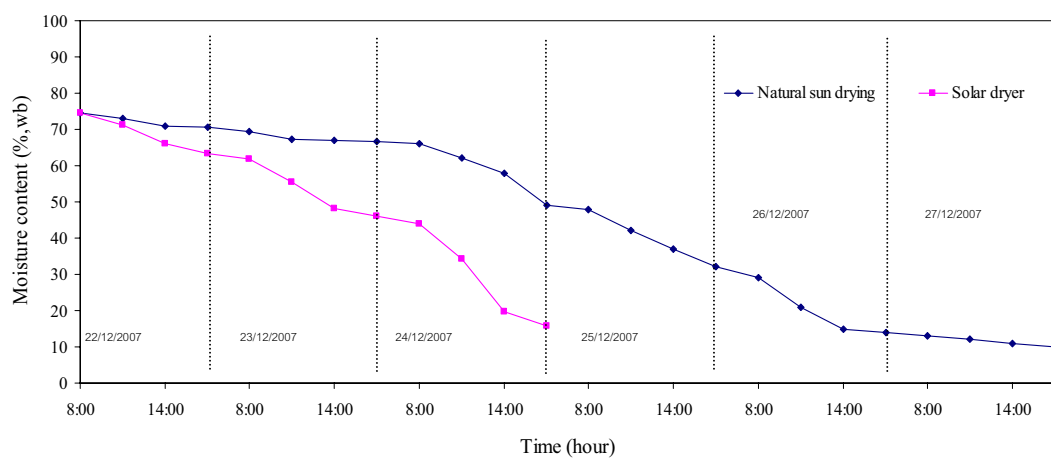
รูปที่ 3.46 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทางด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.47 การแปรค่าของอุณหภูมิที่เข้าและออกจากตู้อบแห้ง



รูปที่ 3.48 การแปรค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม อากาศที่ไหลเข้าสู่ตูอบแห้งและอากาศที่ไหลออกจากตูอบแห้ง



รูปที่ 3.49 เปรียบเทียบความชื้นกับเวลาของพริกที่อบในตูอบแห้งและตากแดดตามธรรมชาติ

3.3.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งกาแฟจำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเดือนธันวาคม 2550 และทดลองอบแห้งพริกแดงจำนวน 2 ครั้ง ในช่วงเดือนกันยายน 2550 และเดือนธันวาคม 2550 ผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งทำงานได้ดีถึงแม้ว่าในบางช่วงท้องฟ้าจะมีเมฆมาก โดยอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะแปรค่าในช่วง $40^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของการอบแห้ง พบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบกาแฟจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 55 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 10 %wb โดยใช้เวลา 2 วัน และพริกความชื้นเริ่มต้นประมาณ 74 %wb ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 14 %wb โดยใช้เวลา 3 วัน การอบกาแฟและพริกในเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาการเปียกฝนและแมลงรบกวนได้ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้ใช้เวลาในการอบน้อยและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ

บทที่ 4

การทดสอบระบบอบแห้งและการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้อากาศร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงอบแห้งต้องใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้ง ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวจึงขึ้นกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ในการทำนายสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในสภาวะต่างๆ ที่ละเอียดถูกต้องจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้ง ตามรายละเอียดดังนี้

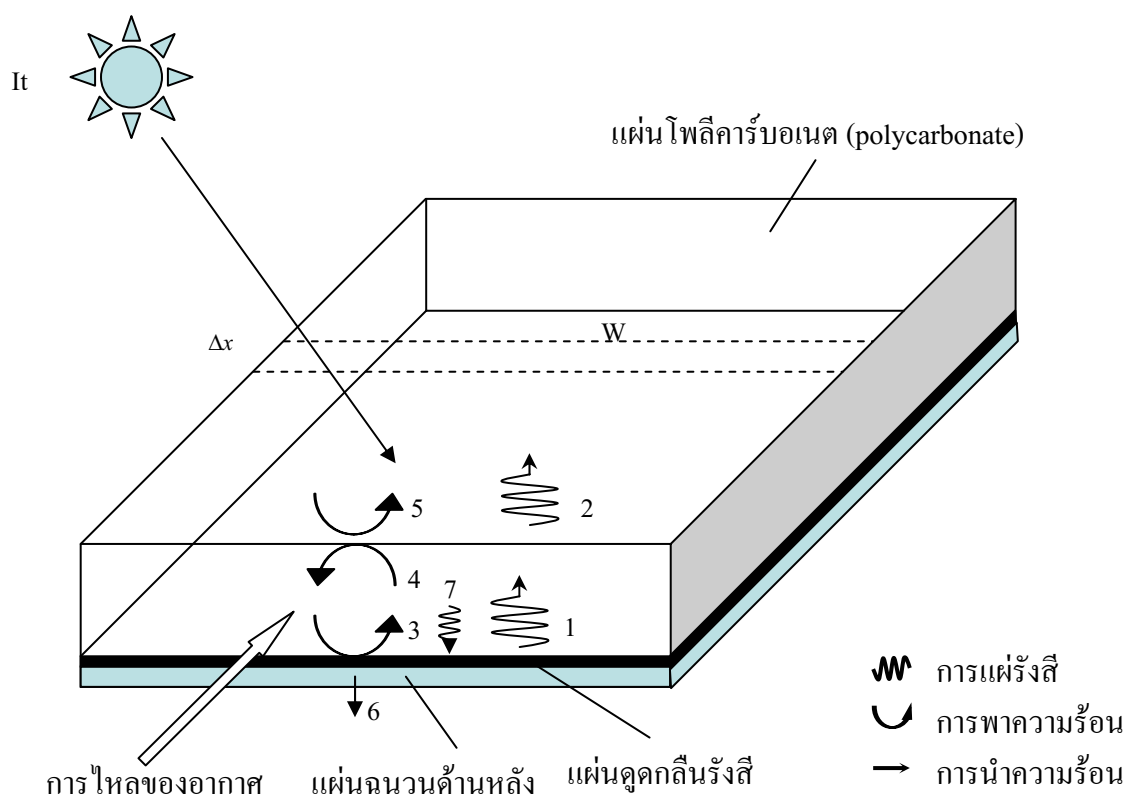
4.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้อากาศร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงอบแห้งสามารถแบ่งองค์ประกอบด้วย ส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และส่วนของตู้อบแห้ง ดังนั้นผู้วิจัยจะทำการสร้างแบบจำลองของแต่ละส่วนโดยตั้งสมมติฐานว่าสมบัติทางความร้อนของอากาศองค์ประกอบต่างๆ ของระบบ และของผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

4.1.1 แบบจำลองของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

4.1.1.1 การเขียนสมการสมดุลทางความร้อน

แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นราบ (flat plate solar collector) โดยอากาศที่ไหลผ่านจะรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสี และการสูญเสียความร้อนด้วยวิธีต่างๆ ไปยังสิ่งแวดล้อมตามแผนภูมิในรูปที่ 4.1 และสมดุลพลังงานในส่วนต่างๆ ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ สามารถเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 แสดงการส่งผ่านความร้อนในแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้อากาศร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงอบแห้ง

- 1). การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดुकกลืนรังสีไปยังแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- 2). การแผ่รังสีจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต ไปยังท้องฟ้า
- 3). การพาความร้อนจากแผ่นดुकกลืนรังสีไปยังอากาศภายในแผงรับรังสี
- 4). การพาความร้อนจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังอากาศภายในแผงรับรังสี
- 5). การพาความร้อนจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังอากาศแวดล้อม
- 6). การสูญเสียความร้อนจากแผ่นรับรังสีทางด้านหลัง
- 7). การดुकกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของแผ่นดुकกลืนรังสี

1) สมการสมดุลพลังงานของแผ่นโพลีคาร์บอเนต

เอนทาลปีของแผ่นฉนวนโปร่งแสงที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา Δt

- = การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างแผ่นฉนวนกลิ้งรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- + การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างอากาศในแผงรับรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- + ความร้อนที่สูญเสียไปจากการพาความร้อนเนื่องจากลม
- + การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับท้องฟ้า
- + รังสีดวงอาทิตย์ที่ดูดกลืนโดยแผ่นฉนวนกลิ้งรังสี

แทนค่าแต่ละเทอมจะได้สมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \rho_c \delta_c \Delta x W_c C_c (T_c + \frac{dT_c}{dt} \Delta t) - \rho_c \delta_c \Delta x W_c C_c T_c \\ = h_{r,b-c} \Delta x W_c (T_b - T_c) \Delta t + h_{c,f-c} \Delta x W_c (T_{fc} - T_c) \Delta t \\ + h_w \Delta x W_c (T_a - T_c) \Delta t + h_{r,c-s} \Delta x W_c (T_s - T_c) \Delta t + \Delta x W_c \alpha_c I_t \Delta t \end{aligned}$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\rho_c \delta_c C_c \frac{dT_c}{dt} = h_{r,b-c} (T_b - T_c) + h_{c,f-c} (T_{fc} - T_c) + h_w (T_a - T_c) + h_{r,c-s} (T_s - T_c) + \alpha_c I_t \quad (4.1)$$

เมื่อ	C_c	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นฉนวนโปร่งแสง (J/kg-K)
	$h_{c,f-c}$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างฉนวนโปร่งแสงกับอากาศอบแห้ง (W/m ² -K)
	$h_{r,b-c}$	คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นฉนวนกลิ้งรังสีกับโพลีคาร์บอเนต (W/m ² -K)
	$h_{r,c-s}$	คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังท้องฟ้า (W/m ² -K)
	h_w	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากลม (W/m ² -K)
	I_t	คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผ่นฉนวนกลิ้งรังสี (W/m ²)
	t	คือ เวลา (s)
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (K)

T_b	คือ อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (K)
T_c	คือ อุณหภูมิของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (K)
T_{fc}	คือ อุณหภูมิของอากาศภายในแผงรับรังสี (K)
T_s	คือ อุณหภูมิท้องฟ้า (K)
W_c	คือ ความกว้างของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)
x	คือ ระยะทางตามความยาวของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)
ρ_c	คือ ความหนาแน่นของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (kg/m^3)
δ_c	คือ ความหนาของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (m.)
α_c	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (decimal)

2) สมการสมดุลพลังงานของอากาศภายในแผงรับรังสี

เอนทาลปีของอากาศที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา Δt ในระยะทาง Δx

$$= \text{การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างโพลีคาร์บอเนตในแผงรับรังสีกับอากาศในแผงรับรังสี} \\ + \text{การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับอากาศในแผงรับรังสี}$$

เนื่องจากอากาศมีค่าความร้อนจำเพาะต่ำ จึงไม่คิดการสะสมความร้อนของอากาศ ดังนั้นจึงเขียนสมการดุลพลังงานของอากาศได้ดังนี้

$$D_c G_c W_c (C_f + C_v H_c) (T_{fc} + \frac{dT_{fc}}{dx} \Delta x) \Delta t - D_c G_c W_c (C_f + C_v H) T_{fc} \Delta t \\ = \Delta x W h_{c,f-c} (T_c - T_{fc}) \Delta t + \Delta x W h_{c,b-f} (T_b - T_{fc}) \Delta t$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$D_c G_c C_f \frac{dT_{fc}}{dx} = h_{c,c-f} (T_c - T_{fc}) + h_{c,b-f} (T_b - T_{fc}) \quad (4.2)$$

เมื่อ	C_f	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศภายในแผงรับรังสี (J/kg-K)
	C_v	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ (J/kg-K)
	D_c	คือ ระยะระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต(m)

G_c	คือ อัตราการไหลต่อพื้นที่ของอากาศภายในแผงรับรังสี ($\text{kg/m}^2\text{-s}$)
H_c	คือ ความชื้นของอากาศ (kg/kg)
$h_{c,c-f}$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างโพลีคาร์บอเนตกับอากาศในแผงรับรังสี ($\text{W/m}^2\text{-K}$)
$h_{c,b-f}$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับอากาศในแผงรับรังสี ($\text{W/m}^2\text{-K}$)
t	คือ เวลา (s)
T_b	คือ อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (K)
T_{fc}	คือ อุณหภูมิของอากาศภายในแผงรับรังสี (K)
W_c	คือ ความกว้างของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)
x	คือ ระยะทางตามความยาวของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)

3) สมการสมดุลพลังงานของแผ่นดูดกลืนรังสี

เอนทาลปีของแผ่นฉนวนดูดกลืนรังสีที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลา Δt

- = การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับอากาศในแผงรับรังสี
- + การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- + ความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนผ่านฉนวนด้านหลัง
- + รังสีดวงอาทิตย์ที่ดูดกลืนโดยแผ่นดูดกลืนรังสี

แทนค่าแต่ละเทอมลงไปแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \rho_b \Delta x W_c \delta_b C_b \left(T_b + \frac{dT_b}{dt} \Delta t \right) - \rho_b \Delta x W_c \delta_b C_b T_b \\ &= h_{c,f-b} \Delta x W_c (T_{fc} - T_b) \Delta t + h_{r,b-c} \Delta x W_c (T_c - T_b) \Delta t + u_b \Delta x W_c (T_a - T_b) \Delta t + \Delta x W_c (\tau \alpha) I_t \Delta t \end{aligned}$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\rho_b \delta_b c_b \frac{dT_b}{dt} = h_{c,b-f}(T_{fc} - T_b) + h_{r,b-c}(T_c - T_b) + U_b(T_a - T_b) + (\tau\alpha)I_t \quad (4.3)$$

เมื่อ	C_b	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแผ่นดูดกลืนรังสี (J/kg-K)
	$h_{c,f-b}$	คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศไปยังแผ่นดูดกลืนรังสี (W/m ² -K)
	$h_{r,b-c}$	คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต(W/m ² -K)
	I_t	คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผ่นดูดกลืนรังสี (W/m ²)
	t	คือ เวลา (s)
	T_a	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (K)
	T_b	คือ อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (K)
	T_c	คือ อุณหภูมิของแผ่นโพลีคาร์บอเนต(K)
	T_{fc}	คือ อุณหภูมิของอากาศภายในแผงรับรังสี (K)
	u_b	คือ สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่างจากแผ่นดูดกลืนรังสีผ่าน แผ่นฉนวนด้านหลัง (W/K)
	W_c	คือ ความกว้างของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)
	x	คือ ระยะทางตามความยาวของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (m)
	ρ_b	คือ ความหนาแน่นของแผ่นดูดกลืนรังสี (kg/m ³)
	δ_b	คือ ความหนาของแผ่นดูดกลืนรังสี (m)
	$(\tau\alpha)$	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนและส่งผ่านรังสีของระบบที่ประกอบด้วยแผ่นโพลี คาร์บอเนตและแผ่นดูดกลืนรังสี (decimal)

4.1.1.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ก) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตกับท้องฟ้า ($h_{r,c-s}$) หาได้จากสมการ (Duffie and Beckman, 1991)

$$h_{r,c-s} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad (4.4)$$

โดยที่อุณหภูมิท้องฟ้าสามารถหาได้จาก $T_s = 0.552 T_a^{1.5}$
สำหรับสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต ($h_{r,b-c}$) หาได้จาก (Duffie and Beckman, 1991)

$$h_{r,b-c} = \frac{\sigma (T_b^2 + T_c^2) (T_b + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_b} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (4.5)$$

เมื่อ σ คือ ค่าคงที่สเตฟาน โบลต์ซมานน์ (Stefan-Boltzmann's constant)

ε_c คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (decimal)

ε_b คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของแผ่นดูดกลืนรังสี (decimal)

ข) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังอากาศแวดล้อมเนื่องจากลม (h_w) จะหาจาก (Duffie and Beckman, 1991) ซึ่งเขียนได้ดังสมการ

$$h_w = 5.7 + 3.8 V_w \quad (4.6)$$

เมื่อ V_w คือ ความเร็วลม, (m/s)

สำหรับสำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศในแผงรับรังสีกับแผ่นดูดกลืนรังสี $h_{c,f-b}$ และระหว่างอากาศในแผงรับรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนตจะหา $h_{c,f-c}$ ได้จากสมการที่ 4.7 โดยถือว่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองมีค่าเท่ากัน

$$h_{c,f-b} = h_{c,f-c} = h_c = \frac{Nu \, k}{D_h} \quad (4.7)$$

เมื่อ	h_c	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2-K)
	Nu	คือ ค่า Nusselt number
	k	คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของอากาศ ($W/m-K$)
	D_h	คือ ค่า hydraulic diameter (m) ซึ่งหาได้จาก

$$D_h = \frac{4WD}{2(W+D)} \quad (4.8)$$

เมื่อ	W	คือ ความกว้างของแผงรับรังสี (m)
	D	คือ ระยะระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นโพลีคาร์บอเนต (m)

โดย Nu จะหาได้จากสมการของ Kays and Crawford (1980) ดังสมการ

$$Nu = 0.0158 \, Re^{0.8} \quad (4.9)$$

เมื่อ	Re	คือ ค่า Reynolds number ซึ่งหาได้จากสมการ
-------	------	---

$$Re = \frac{D_h V \rho}{\nu} \quad (4.10)$$

เมื่อ	V	คือ อัตราเร็วของอากาศภายในแผงรับรังสี (m/s)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
	ν	คือ viscosity ของอากาศ (m^2/s)

ค) สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง

สำหรับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่างของแผ่นฉนวนด้านหลัง (U_b) จะหาได้จากสมการ

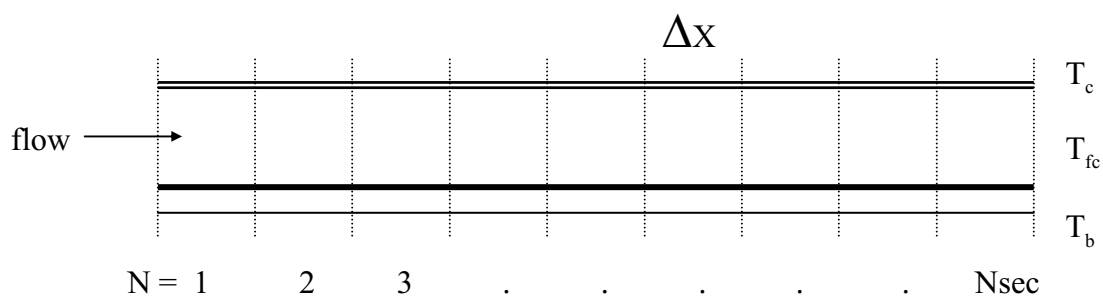
$$U_b = \frac{k_b}{L_b} \quad (4.11)$$

เมื่อ k_b คือ ค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวน (W/m-K)

L_b คือ ความหนาของแผ่นฉนวนกันรังสี (m)

4.1.1.3 การหาผลเฉลย (solution) ของสมการแบบจำลอง

เนื่องจากการหา solution สมการ 4.1-4.4 โดยวิธี analytic ทำได้ยาก ผู้วิจัยจึงแก้สมการดังกล่าวโดยวิธี finite difference method โดยการแบ่งแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ตามความยาวเป็นระยะทางสั้นๆ ΔX (รูปที่ 4.2) และแปลงสมการ 4.1-4.4 ให้อยู่ในรูปของสมการ finite difference ดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงการแบ่งองค์ประกอบของแผงรับรังสีออกเป็นส่วนย่อยตามทิศทางการไหลของอากาศ

$$\rho_c \delta_c C_c \frac{T_{c,t+\Delta t} - T_{c,t}}{\Delta t} = h_{r,b-c} (T_{b,t+\Delta t} - T_{c,t+\Delta t}) + h_{c,f-c} (T_{fc,t+\Delta t} - T_{c,t+\Delta t}) + h_{w,c-a} (T_{a,t+\Delta t} - T_{c,t+\Delta t}) + h_{r,c-s} (T_{s,t+\Delta t} - T_{c,t+\Delta t}) + \alpha_c I_{t,t+\Delta t} \quad (4.12)$$

$$D_c G_c C_f 0.5 \left[\frac{T_{fc,x+\Delta x,t+\Delta t} - T_{fc,x-\Delta x,t+\Delta t}}{2 \Delta x} + \frac{T_{fc,x+\Delta x,t} - T_{fc,x-\Delta x,t}}{2 \Delta x} \right] = h_{c,b-f} (T_{b,x,t+\Delta t} - T_{fc,x,t+\Delta t}) + h_{c,c-f} (T_{c,x,t+\Delta t} - T_{fc,x,t+\Delta t}) \quad (4.13)$$

$$\rho_b \delta_b C_b \frac{T_{b,t+\Delta t} - T_{b,t}}{\Delta t} = h_{c,b-f} (T_{fc,t+\Delta t} - T_{b,t+\Delta t}) + h_{r,b-c} (T_{c,t+\Delta t} - T_{b,t+\Delta t}) + U_b (T_{a,t+\Delta t} - T_{b,t+\Delta t}) + \tau \alpha > I_{t,t+\Delta t} \quad (4.14)$$

จากสมการที่ 4.12 – 4.14 เขียนใหม่ในรูปสมการเชิงเส้นของตัวแปร T_c, T_f และ T_b ที่เวลา $t + \Delta t$ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\rho_c \delta_c C_c}{\Delta t} + h_{r,b-c} + h_{c,f-c} + h_{w,c-a} h_{r,c-s} \right) T_{c,t+\Delta t} - h_{r,b-c} T_{b,t+\Delta t} - h_{c,f-c} T_{fc,t+\Delta t} \\ & = \frac{\rho_c \delta_c C_c}{\Delta t} T_{c,t} + h_{w,c-a} T_{a,t+\Delta t} + h_{r,c-s} T_{s,t+\Delta t} + \alpha_c I_{t,t+\Delta t} \end{aligned} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} & - h_{c,c-f} T_{c,x,t+\Delta t} + (h_{c,c-f} + h_{c,b-f}) T_{fc,x,t+\Delta t} - h_{c,b-f} T_{b,x,t+\Delta t} \\ & - \left(\frac{0.25 \text{ DGC } f}{\Delta x} \right) T_{fc,x-\Delta x,t+\Delta t} + \left(\frac{0.25 \text{ DGC } f}{\Delta x} \right) T_{fc,x+\Delta x,t+\Delta t} \\ & = - \left(\frac{0.25 \text{ DGC } f}{\Delta x} \right) T_{fc,x+\Delta x,t} + \left(\frac{0.25 \text{ DGC } f}{\Delta x} \right) T_{fc,x-\Delta x,t} \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$\begin{aligned} & - h_{r,b-c} T_{c,t+\Delta t} - h_{c,b-f} T_{fc,t+\Delta t} + \left(\frac{\rho_b \delta_b C_b}{\Delta t} + h_{c,b-f} + h_{r,b-c} + U_b \right) T_{b,t+\Delta t} \\ & = \left(\frac{\rho_b \delta_b C_b}{\Delta t} \right) T_{b,t} + U_b T_{a,t+\Delta t} + (\tau \alpha) I_{t,t+\Delta t} \end{aligned} \quad (4.17)$$

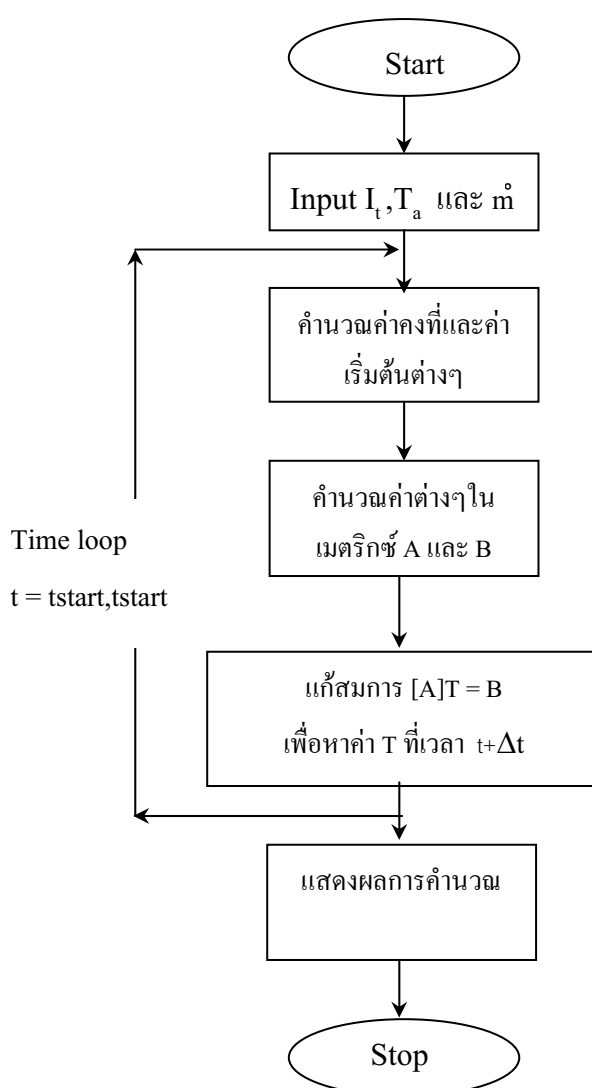
จากนั้นผู้วิจัยจะประยุกต์สมการ (4.15)-(4.17) กับทุก section ของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่ $N = 1, \dots, N_{\text{ssect}}$ ($N_{\text{ssect}} = 12$) ซึ่งจะได้สมการ finite difference ทั้งหมด 36 สมการ โดยมีตัวแปรเป็น อุณหภูมิของแผ่นโพลีคาร์บอเนต (T_c) อุณหภูมิของอากาศ (T_{fc}) อุณหภูมิของแผ่นดูดกลืนรังสี (T_b) ของทุก section สมการดังกล่าวสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,36} \\ a_{2,1} & \dots & a_{2,36} \\ \dots & & \\ \dots & & \\ a_{12,1} & \dots & a_{36,36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{c1,1} \\ T_{fc1,2} \\ \cdot \\ \cdot \\ T_{b12,12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{36} \end{bmatrix}$$

เมื่อทำการ convert metric ครั้งที่ 1 จะได้อุณหภูมิ T_c, T_{fc}, T_b ของทุก section ที่เวลา $t + \Delta t$ และทำอย่างนี้เรื่อยไป เริ่มจากตอนเช้า 8:00น จนถึง 17:00น โดยใช้ $\Delta t = 600$ วินาที

4.1.1.4 การเขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณในการหาผลเฉลย

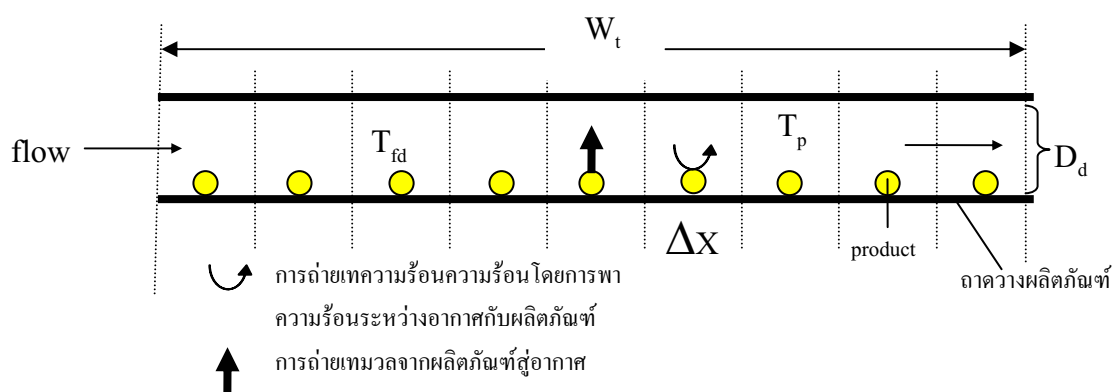
เนื่องจากการหาค่าอุณหภูมิขององค์ประกอบต่างๆ ของแผงรับรังสีตามวิธีที่กล่าวไปแล้วต้องคำนวณหลายขั้นตอน และต้องทำซ้ำทุกๆ เวลา Δt ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาษาฟอร์แทรน โดยมีลำดับขั้นตอนการคำนวณตามแผนภูมิในรูปที่ 4.3 ดังนี้



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับส่วนแผงรับรังสี

4.1.2 แบบจำลองของตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้งเป็นแบบถาดโดยวางผลิตภัณฑ์เป็นชั้นบางบนถาดและอากาศร้อนจะเป่าผ่านขนานกับถาด การถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นในตู้อบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และสามารถเขียนในรูปสมการ ตามรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงการถ่ายเทความร้อนและมวลภายในตู้อบแห้ง

1. สมดุลพลังงานของอากาศในตู้อบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของอากาศในระยะทาง ΔX ในช่วงเวลา Δt = ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการพาความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศ

$$D_d G_d W_d (C_f + C_v H) (T_{fd} + \frac{\partial T_{fd}}{\partial X} \Delta X) \Delta t - D_d G_d W_d (C_f + C_v H) T_{fd} \Delta t \quad (4.18)$$

$$= \Delta X W_d h_{c,p-f} (T_p - T_{fd}) \Delta t$$

สามารถเขียนได้เป็น

$$D_d G_d (C_f + C_v H) \frac{\partial T_{fd}}{\partial X} = h_{c,p-f} (T_p - T_{fd}) \quad (4.19)$$

เมื่อ D_d คือ ความสูงของช่องว่างระหว่างถาด (m)

G_d คือ อัตราการไหลต่อพื้นที่ของอากาศภายในตู้อบ [kg/s-m^2]

W_d คือ ความยาวของถาด (m)

C_f คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศภายในแผงรับรังสี [$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$]

- C_v คือ ความจุความร้อนจำเพาะของไอน้ำ [$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$]
 H คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง [kg/kg]
 T_{fd} คือ อุณหภูมิของอากาศภายในตู้อบ [K]
 $h_{c,p-f}$ คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับอากาศอบแห้ง [$\text{W/m}^2\text{-K}$]
 T_p คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ [K]

2. สมดุลพลังงานของผลิตภัณฑ์ภายในตู้อบ

การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของผลิตภัณฑ์ = ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ออกสู่อากาศ + ความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างอากาศกับไอน้ำที่ระเหยออกมา + ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการพาความร้อนระหว่างอากาศกับผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned} \Delta x W_d \rho_{s,p} (C_p + C_w M) (T_p + \frac{\partial T_p}{\partial t} \Delta t) + \Delta x W_d \rho_{s,p} (C_p + C_w M) T_p \\ = h_{fg} D_d G_d \frac{\partial H}{\partial x} \Delta x \Delta t + C_v (T_{fd} - T_p) D_d G_d \frac{\partial H}{\partial x} \Delta x \Delta t \\ + \Delta x W_t h_{c,p-f} (T_{fd} - T_p) \Delta t \end{aligned} \quad (4.20)$$

สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} \rho_{s,p} (C_p + C_w M) \frac{\partial T_p}{\partial t} = [h_{fg} + C_v (T_p - T_{fd})] D_d G_d \frac{\partial H}{\partial x} \\ + h_{c,p-f} (T_{fd} - T_p) \end{aligned} \quad (4.21)$$

- เมื่อ $\rho_{s,p}$ คือ ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ของผลิตภัณฑ์แห้ง [$\text{kg}_{\text{solid}}/\text{m}^2$]
 h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ [kJ/kg]
 C_w คือ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ [$\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$]

3. สมดุลความชื้นของอากาศในตู้อบแห้ง

ความชื้นที่เพิ่มขึ้นในอากาศ = ความชื้นที่หายไปจากผลิตภัณฑ์

$$D_d G_d W_d \Delta t \left(H + \frac{\partial H}{\partial x} \Delta x \right) - D_d G_d W_d \Delta t H = \rho_{s,p} \Delta x W_d M - \rho_{s,p} \Delta x W_d \left(M + \frac{\partial M}{\partial t} \Delta t \right) \quad (4.22)$$

สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$D_d G_d \frac{\partial H}{\partial x} = - \rho_{s,p} \frac{\partial M}{\partial t} \quad (4.23)$$

4. สมการการอบแห้งชั้นบางของผลิตภัณฑ์

กรณีของพริกใช้สมการอบแห้งชั้นบางของ Page และใช้สัมประสิทธิ์ของ Hossain (2003)

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-pt^Q) \quad (4.24)$$

เมื่อ M_e คือ ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ (decimal, db)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (decimal, db)

p และ Q เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ (T) และความชื้นสัมพัทธ์ (rh) และความเร็วลม (v) ดังนี้

$$p = 0.00955 + 0.000372T - 3.20 \times 10^{-6}T^2 - 0.01127rh + 0.012408rh^2 + 0.004737V - 0.00381V^2 \quad (R^2=0.955)$$

$$Q = 4.89468 - 0.137459T + 0.001345T^2 + 0.386002rh - 1.142445V + 0.920444V^2 \quad (R^2=0.957)$$

สำหรับสมการความชื้นสมดุลของพริกจะใช้สมการของ Hossain (2003) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$M_e = -65.2206 - 0.06922T + 0.022734T^2 - 29.4079rh + 68.31193rh^2 - 63.4257V + 56.42796V^2 \quad (R^2=0.946)$$

กรณีของกาเฟลงใช้สมการการอบแห้งชั้นบางของ (Berbert et al, 1995) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp\left[-105.756t^{0.60564} e^{-2751.51/T}\right] \quad (4.25)$$

เมื่อ M_0 และ M_e คือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสมดุลของกาเฟตามลำดับ T คืออุณหภูมิของอากาศ

ที่ใช้ออบแห้ง K และ t คือ เวลาที่ใช้ในกาอบแห้ง

ความชื้นสมดุล (M_e) สามารถคำนวณได้จาก (Berbert et al, 1995) :

$$M_e = 1.1281[-\ln(1 - rh)/(T + 40.535)]^{0.5405} \quad (4.26)$$

เมื่อ rh คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%) และ T คือ อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)

5. วิธีการหาผลเฉลยของสมการตู้อบแห้ง

ผู้วิจัยจะทำการแก้ระบบสมการ ที่ประกอบด้วย 4.19, 4.21, 4.23, 4.24 และ 4.25 โดยวิธี finite difference โดยจะแบ่งภาควางผลิตตามแนวการไหลของอากาศเป็น section ที่มีความยาว Δx (รูปที่ 4.4) จากนั้นจะแปลงระบบสมการดังกล่าวให้อยู่ในรูปสมการ finite difference ดังต่อไปนี้

$$D_d G_d W_d (C_f + C_v H) \left[\frac{T_{fd,x+\Delta x,t+\Delta t} - T_{fd,x,t+\Delta t}}{\Delta x} \right] = h_{c,p-f} (T_{p,t+\Delta t} - T_{fd,t+\Delta t}) \quad (4.27)$$

$$\rho_{s,p} (C_p + C_w M_t) \left[\frac{T_{p,t+\Delta t} - T_{p,t}}{\Delta t} \right] = [h_{fg} + C_v (T_p - T_{fd})] D_d G_d \left[\frac{H_{x+\Delta x,t+\Delta t} - H_{x,t+\Delta t}}{\Delta x} \right] + h_{c,pf} (T_{fd,t+\Delta t} - T_{p,t+\Delta t})$$

(4.28)

$$D_d G_d \left[\frac{H_{x+\Delta x, t+\Delta t} - H_{x, t+\Delta t}}{\Delta x} \right] = -P_{s,p} \left[\frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \right] \quad (4.29)$$

ส่วนสมการการอบแห้งชั้นบางสามารถแปลงได้ดังนี้

- กรณีของพริก

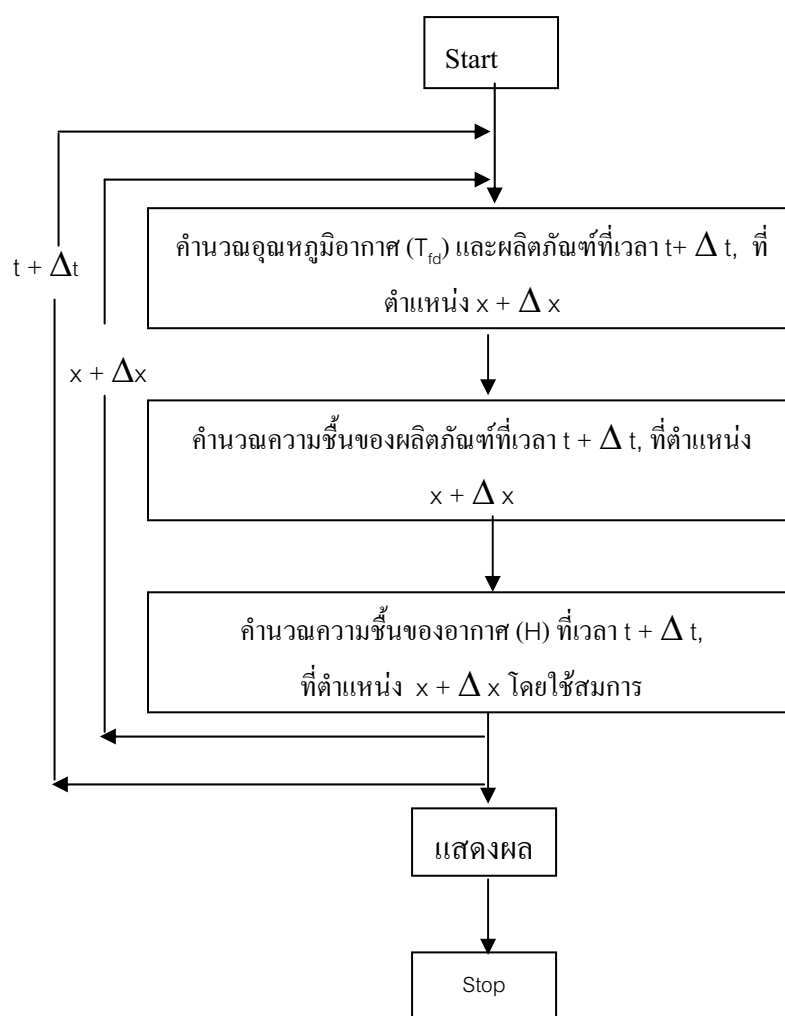
$$M_{t+\Delta t} = M_{e,t+\Delta t} + (M_0 - M_{e,t+\Delta t}) \exp \left[-k_{t+\Delta t} (t + \Delta t)^{n_{t+\Delta t}} \right] \quad (4.30)$$

- กรณีของกาแฟ

$$M_{t+\Delta t} = M_{e,t+\Delta t} + (M_0 - M_{e,t+\Delta t}) \exp \left[-105.756 (t + \Delta t) e^{-2751.51 / T_{t+\Delta t}} \right] \quad (4.31)$$

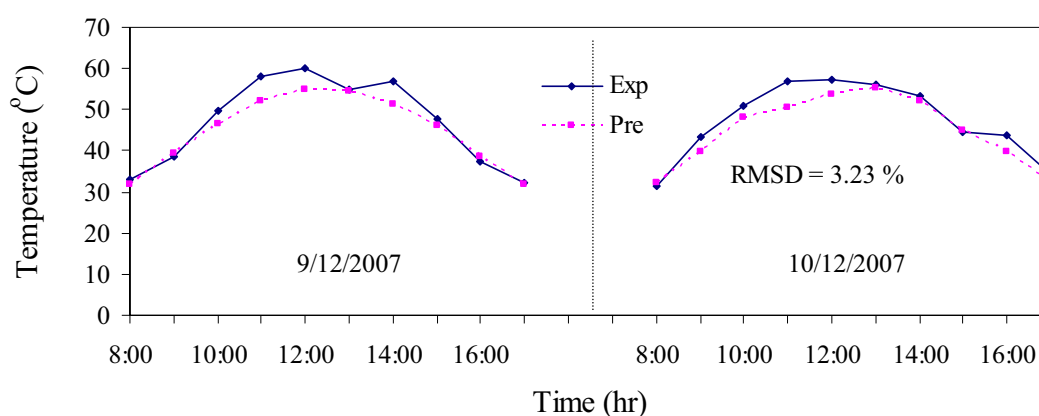
ในการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณอุณหภูมิของอากาศในตู้อบ (T_{fd}) อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (T_p) ที่เวลา $t + \Delta t$ ที่ section 1 จากนั้นจะใช้อุณหภูมิที่ได้คำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยใช้สมการอบแห้งชั้นบาง และนำค่าความชื้นที่ได้ไปคำนวณความชื้นของอากาศ (H) ที่เวลา $t + \Delta t$ จากนั้นใช้กระบวนการเดิมไปคำนวณอุณหภูมิและความชื้นที่ section ถัดไป จนถึง section สุดท้าย หลังจากนั้นจะเริ่มคำนวณที่ section 1 ใหม่ โดยเพิ่มเวลาเป็น $t + 2 \Delta t$ จะทำเช่นนี้ซ้ำจนได้ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์

ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Fortran ใช้ในการคำนวณโดยมีลำดับการคำนวณตามแผนภูมิดังนี้



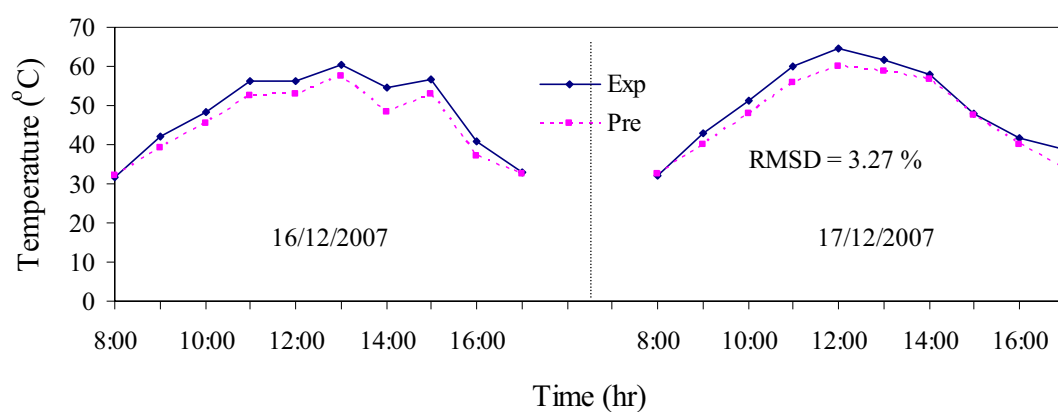
4.2 การทดสอบแบบจำลอง

ในการทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น ผู้วิจัยจะทำการจำลองแบบการทำงานของระบบแห่งทั้งระบบ แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับทดลอง สำหรับค่าตัวแปรต่างๆในแบบจำลอง กรณีตัวแปรทางเรขาคณิต เช่นขนาดขององค์ประกอบของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะใช้ขนาดที่เป็นจริง สำหรับสมบัติทางความร้อน เช่น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ จะคำนวณตามสูตรที่กล่าวไปแล้ว โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในสูตรจากเอกสารอ้างอิงต่างๆ ในด้านของสมบัติของพริกจะใช้ตามรายงานของ Hossain (2003) และข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมจะใช้ค่าที่ได้จากการวัดจริงที่ทำการทดลอง โดยการ simulation จะทำทุกๆ 10 นาทีเท่ากับช่วงเวลาการเก็บข้อมูล ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสี แสดงไว้ในรูปที่ 4.5-4.9 และผลการเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์แสดงไว้ในรูปที่ 4.10-4.14

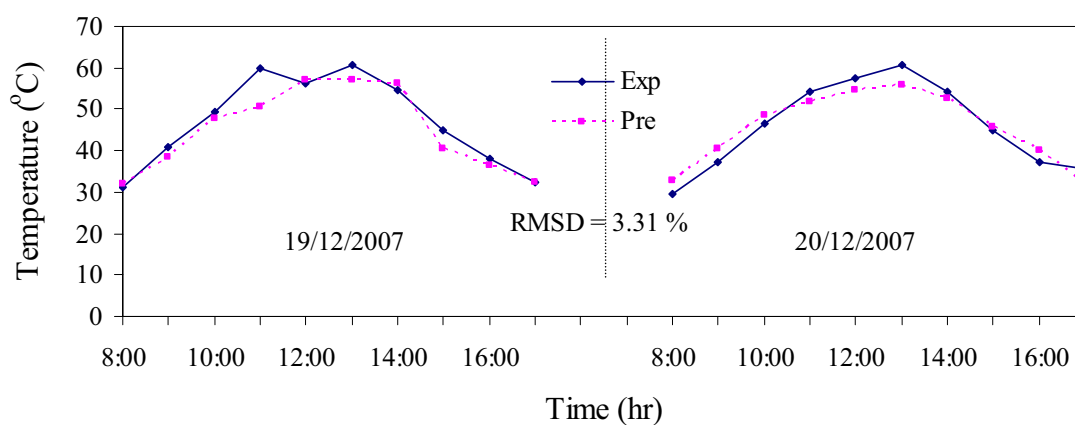


รูปที่ 4.5 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้

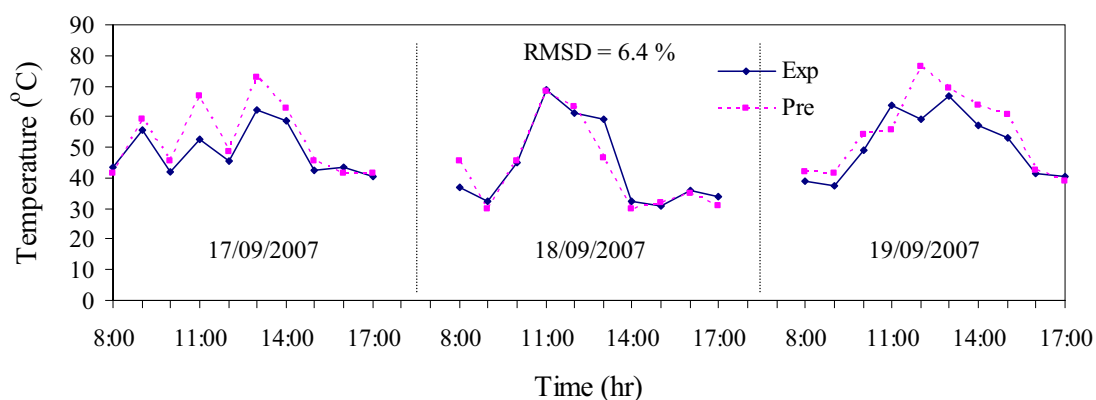
จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 9-10 ธันวาคม พ.ศ.2550



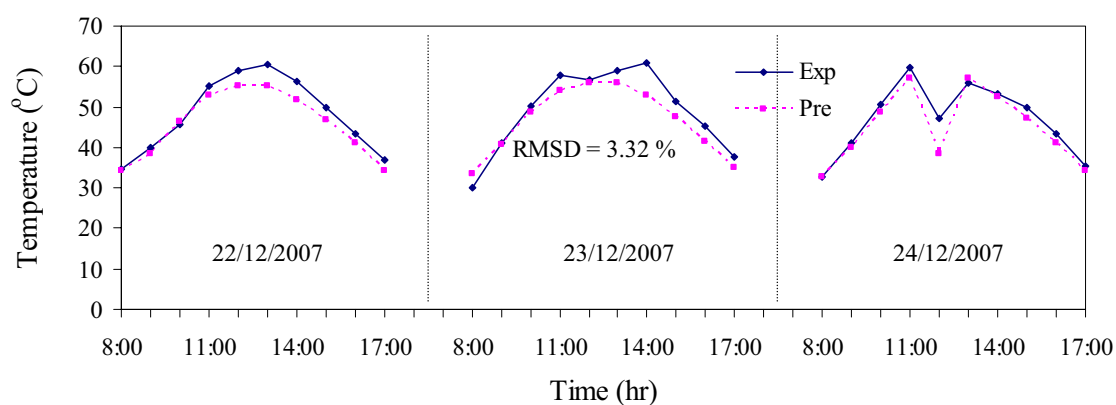
รูปที่ 4.6 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้
จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 16-17 ธันวาคม พ.ศ.2550



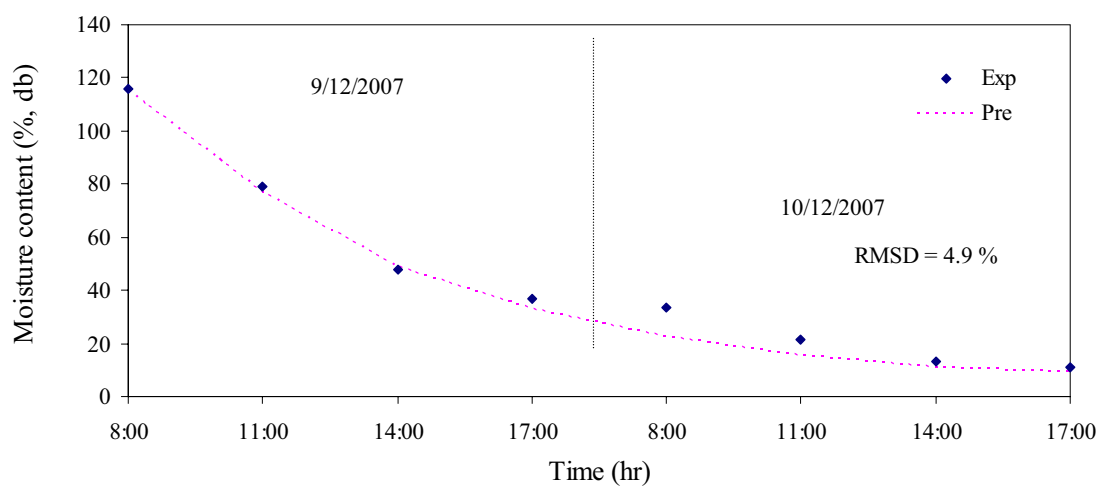
รูปที่ 4.7 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศบริเวณทางออกของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้
จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบกาแฟระหว่างวันที่ 19-20 ธันวาคม พ.ศ.2550



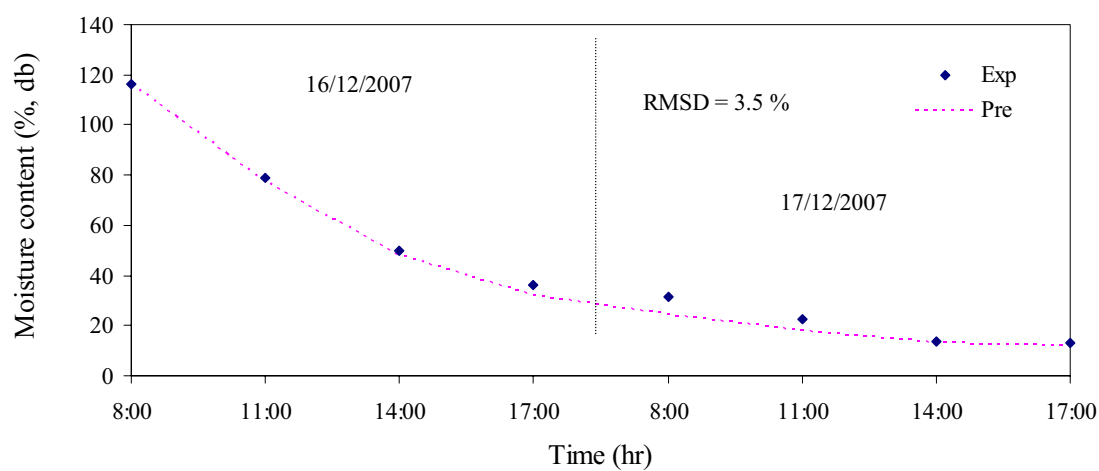
รูปที่ 4.8 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศ บริเวณทางออกของแพงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้
จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบพริก ระหว่างวันที่ 17-19 กันยายน พ.ศ.2550



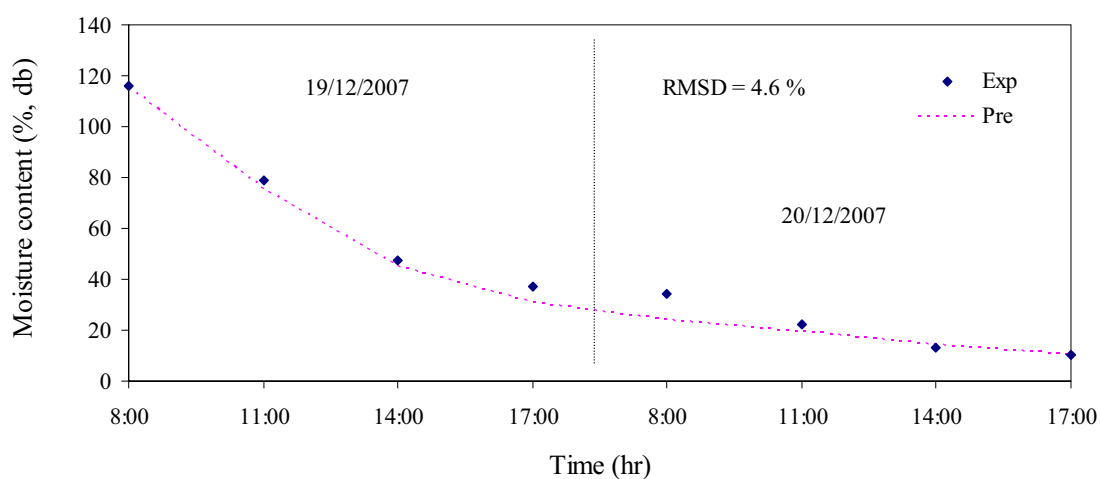
รูปที่ 4.9 การแปรค่าอุณหภูมิอากาศ บริเวณทางออกของแพงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้
จากแบบจำลองและจากผลการทดลองอบพริก ระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ.2550



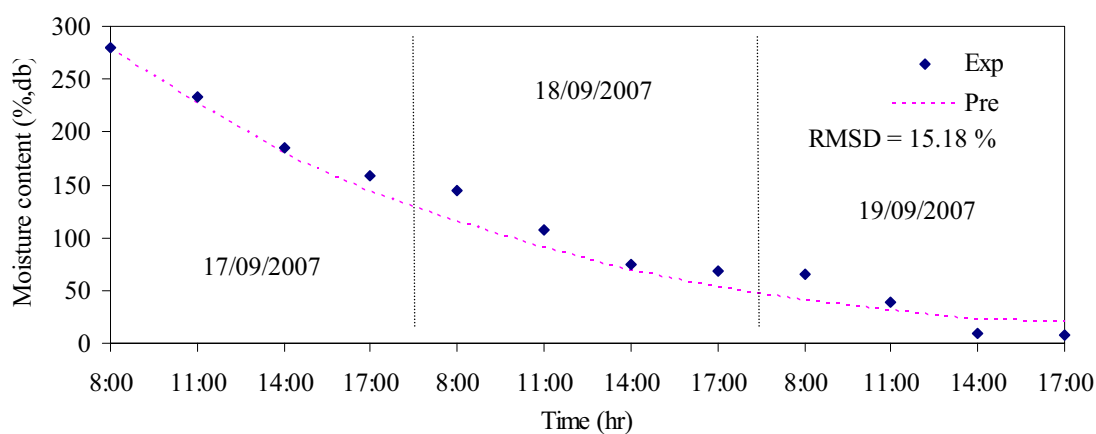
รูปที่ 4.10 ผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 9-10 ธันวาคม พ.ศ.2550



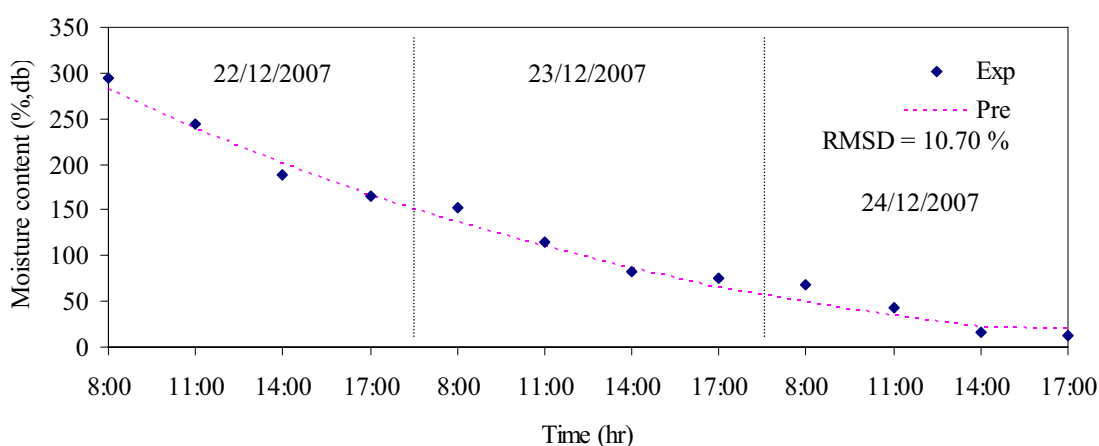
รูปที่ 4.11 ผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 16-17 ธันวาคม พ.ศ.2550



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์ (กาแฟ) ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลอง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 19-20 ธันวาคม พ.ศ.2550



รูปที่ 4.13 ผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์(พริก)ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 17-19 กันยายน พ.ศ.2550



รูปที่ 4.14 ตัวอย่างผลการคำนวณความชื้นของผลิตภัณฑ์(พริก)ที่อบแห้ง โดยอาศัยแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ในช่วงวันที่ 22-24 กันยายน พ.ศ.2550

จากผลการจำลองการทำงานของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์พบว่ากรณีที่ท้องฟ้าแจ่มใส อุณหภูมิอากาศที่ทางออกของแผงรับรังสีที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัด แต่ในกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเมฆ อุณหภูมิจากการ simulation จะมีค่าต่ำกว่าผลการวัด แต่ยังคงมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งได้จากการวัดและการคำนวณพบว่าค่า root mean square different (RMSD) จะแปรค่าอยู่ในช่วง 3-7 % ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างน้อย

สำหรับผลการทำนายค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ ในการจำลองการทำงานของตู้อบแห้งพบว่ากราฟการลดลงของความชื้นในผลิตภัณฑ์วันแรกที่ได้จากการคำนวณมีลักษณะใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง สำหรับในวันที่ 2 และ 3 จะพบว่าค่าความชื้นของพริกจากแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง และแบบจำลองการอบแห้งขั้นบันไดรวมถึงแบบจำลองความชื้นสมดุลที่ยังมีความคลาดเคลื่อน เมื่อนำค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับที่ได้จากแบบจำลองพบว่า RMSD มีอยู่ในช่วง 3-15 %

จากผลการทดลองนี้แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในสถานะของการอบแห้งต่างๆ ได้ค่อนข้างถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการศึกษา

ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งให้ดีขึ้น หรือใช้ในงานด้าน optimization ต่อไปได้

บทที่ 5

สรุป

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตู้อบแห้งแบบถาดและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นหลังคาโรงเรือน ระบบอบแห้งดังกล่าวจัดสร้างขึ้นที่วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้จำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก ประเทศ สปป.ลาว ตามโครงการความร่วมมือระหว่างประเทศไทยกับประเทศสปป.ลาว ระบบอบแห้งนี้ประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 1×6 ตารางเมตร จำนวน 24 แผง แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ดังกล่าวติดตั้งอยู่บนหลังคาของโรงเรือนซึ่งเป็นอาคารชั้นเดียว ขนาดพื้นที่ใช้สอย 9×12 ตารางเมตร โดยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์นี้ทำหน้าที่เป็นหลังคาของโรงเรือนด้วย สำหรับตู้อบแห้งเป็นแบบถาดโดยผลิตภัณฑ์วางเป็นชั้นบางในถาด และอากาศสำหรับอบแห้งจะถูกเป่าเป็นแนวนานกับถาด ตู้อบแห้งดังกล่าวมีพื้นที่ของถาดวางผลิตภัณฑ์รวมทั้งหมด 25.2 ตารางเมตร ในด้านของระบบระบายอากาศจะใช้พัดลม DC แบบ axial fan 72 วัตต์จำนวน 2 ตัว ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์จำนวน 6 แผง

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นได้ทำการทดลองใช้ระบบอบแห้งดังกล่าวเพื่ออบแห้งกาแฟจำนวน 3 ครั้ง ในระหว่างวันที่ 9-22 ธันวาคม 2550 ผลการทดลองพบว่าระบบอบแห้งดังกล่าวสามารถใช้ออบแห้งกาแฟจำนวน 100 กิโลกรัม จากความชื้นประมาณ 56 % (wb) ให้ลดเหลือ 10 % (wb) โดยใช้เวลา 2 วันซึ่งเร็วกว่าการอบแห้งโดยการตากแดดตามธรรมชาติซึ่งใช้เวลา 3-4 วัน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดลองอบแห้งพริกจำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 100 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งนี้สามารถใช้ออบแห้งพริกจากความชื้น 74% (wb) ให้ลดเหลือ 14 % (wb) โดยใช้เวลา 3 วันซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติที่ใช้เวลา 7-8 วันและพบว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งในระบบอบแห้งนี้ไม่เสียหายจากการเปียกฝนและไม่ถูกรบกวนจากสัตว์และแมลงต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งดังกล่าวและได้หา solution ของแบบจำลองดังกล่าวโดยใช้วิธี finite difference หลังจากนั้นได้นำการจำลองไปใช้จำลองการทำงานของเครื่องอบแห้งดังกล่าวด้วยคอมพิวเตอร์ (computer simulation) โดยผลที่ได้พบว่า อุณหภูมิของอากาศจากแผงรับรังสี และความชื้นของผลิตภัณฑ์ ที่คำนวณได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลอง แบบจำลองดังกล่าวสามารถที่จะนำไปใช้ออกแบบขนาดของระบบ ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในบริเวณใดๆ ได้ และยังสามารถนำไป

ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งให้ดีขึ้น

จากการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งนี้พบว่าอากาศที่ออกจากตู้อบแห้งยังมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ซึ่งยังคงมีศักยภาพในการอบแห้งสูงดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าควรขยายขนาดของตู้อบแห้งให้มีความกว้างและความยาวเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์สูงของอากาศร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และทำให้ระบบอบแห้งสามารถใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

- Bakker –Arkema, F.W. and Hall, C.W., 1974. Drying Cereal Grains. AVT, Westport, Connecticut.
- Bala, B. K., 1998. Solar Drying System, Agrotech Publishing Academy, Udaipur, India.
- Boon-Long, P., Hirun, A., Siriplablla, P., Therdtoon, P., Sittiphong, N., Siratnapanta, T., Sucharitakul, T., Rerkkriangkrai, P., 1984. Solar-assisted tobacco curing, Proceedings of the Regional Seminar on Solar Drying, 28-31 August 1984, Yogyakarta, Indonesia.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. Solar Engineering of thermal Processes, John Wiley and sons, New York.
- Exell, R.H.B., Kornsakoo, S., 1976. A low-cost solar rice dryer. Appropriate Technology, 5, 23-25.
- Exell, R.H.B., Tim seasoning with solar energy, Proceedings of the International Conference on Energy and Environment, 27-30 November, Bangkok, Thailand, (1990).
- Hossain, A., 2003. Forced convection solar drying of chilli, A thesis submitted as a part of Farm Power and Machinery at Bangladesh Agricultural University.
- Janjai, S., Doe, P.E., 1991. A simple procedure for computing solar radiation for solar grain dryer simulations, Proceedings of the ISES Congress, 18-24 August 1991, Denver, USA.
- Janjai, S., Hirunlabh, J., 1993. Experimental study of solar fruit dryer, Proceedings of the ISES Solar World Congress, Budapest vol 8, 123-128.
- Janjai, S., Esper, A. and Muhlbauer, W., 1998. A study of the performance of Sipakorn-Hohenheim type solar dryer, ASEAN Seminar and Workshop on Drying Technology, June 3-5, 1998, Phitsanulok, Thailand.
- Janjai, S., Esper, A., Muhlbauer, W., 2000. Development of a small-scaled solar fruit dryer, Research report, Department of Physics, Silpakorn University, Thailand.
- Janjai, S., Chantaraksa, W., Hirunlabh, J., 2001. Performance of a solar dryer for lemongrass, Proceeding of a Symposium on Food Security, 3-7 January, 2001, Chiang Mai, Thailand.
- Janjai, S., Praditwong P., 1999. Performance of a solar fruit dryer, Proceeding of World Renewable Congress, UK.

- Janjai, S. Laksanaboonsong, J. Nunez, M. and Thongsathitya, A. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Solar Energy* 78, pp. 739-751, 2005.
- Janjai, S. and Tung, P. Performance of a solar dryer using hot air from roof-integrated solar collectors for drying herbs and spices, *Renewable Energy* 30, pp. 2085-2095, 2005.
- Janjai, S. Assessment of Solar energy Potentials for Loa's People's Democratic Republic, Research of Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy of Thailand, 2007.
- Janjai, S. Assessment of Solar energy Potentials for Cambodia, Research of Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy of Thailand, 2008.
- Kays, W.M. and Crawford, M.E. 1980. Convective heat and mass Transfer, 2nd ed., cGraw-Hill, New York, pp. 182-184
- Lutz, K., Muhlbauer, W., Muller, J., Reisinger, G., 1987. Development of Multi-purpose solar crop dryer for arid zones. *Solar Wind Technology* 4, 417-424.
- Muhlbauer, W., 2003. Private communication, Institute of Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics, Hohenheim University, Germany.
- Page, G.E. 1949. Factors influencing the maximum rate of air drying of shelled corn in thin layers. M.S. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Praditwong P., Janjai S., 1990. Performance of a solar drying storage-bin for paddy, Proceedings of World Renewable Energy Congress, Reading, UK.
- Rakwichian, W., and B. Sudaprasert, Development of a fruit solar dryer for the industrial scale, proceedings of the International Conference on Energy and Environment, 27-30 November 1990, Bangkok Thailand, (1990).
- Rukkwamsuk, P. Private communication, School of Energy and Materials, King Mongkut University of Technology, Bangkok, Thailand, 2005
- Sodha, M.S., 1987. Solar Crop Drying. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Soponronnarit, S., Watabutr, W., Therdyothin, A., 1986. A drying-storage solar hut: The technical aspect. *Renewable Energy Review Journal* 8(1), 49-60.
- Thongprasert, S., Thongprasert, M., Boonyavanichkul, S. Mahittafngkul, J., 1985. An economic study on solar rice dryer, National Energy and Administration, Thailand.

Wibulswas, P., Opaskiatkul, S. Hanpadungthum, S., 1977. Performance of a solar cabinet dryer, Proceeding of Renewable Energy and Application, Bangkok.

Wibulswas, P., Thaina, S., 1980. Comparative performance of cabinet dryers with separate air heaters, Paper presented at the workshop on Fuel and Power in the Third World, Bordeaux, France.

ณัฐวุฒิ คุชฎี, 2534. การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธาดา แก้วประเสริฐ, 2546. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นฉนวนโปร่งแสง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาคผนวกที่ 1

การสร้างระบบอบแห้ง

ระบบอบแห้งนี้ประกอบไปด้วยตู้อบแห้งและแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ดำเนินการสร้างที่ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม จากนั้นได้บรรจุทุกไปติดตั้งที่ วิทยาลัยเกษตรและป่าไม้จำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก ประเทศ สปป.ลาว โดยผู้วิจัยได้ร่วมในการสร้างและติดตั้งระบบอบแห้งดังกล่าวตามรายละเอียดดังนี้

A1.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์

แบ่งแผงรับรังสีแต่ละแผงเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกมีความยาว 2.44 เมตร และส่วนที่สองยาว 3.56 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกในการขนส่งและการนำขึ้นไปประกอบบนหลังคาโรงอบแห้ง

ในการสร้างแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แต่ละแผงจะเริ่มจาก สร้างโครงซึ่งทำด้วยเหล็กกล่องมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นจะบุด้านล่างด้วยแผ่นสังกะสี และทำการบรรจุโฟมเนื้อแน่นลงบนแผ่นสังกะสีแล้วปิดด้านบนด้วยแผ่นสังกะสีอีกแผ่นหนึ่ง หลังจากนั้นทาสีดำด้านบนแผ่นสังกะสีเพื่อให้สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี ส่วนแผ่นโพลีคาร์บอเนตจะนำขึ้นไปปิดหลังจากนำแผงรับรังสีขึ้นไปวางบนโครงหลังคาแล้ว



รูปที่ A1.1 แสดงโครงของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ของระบบอบแห้ง

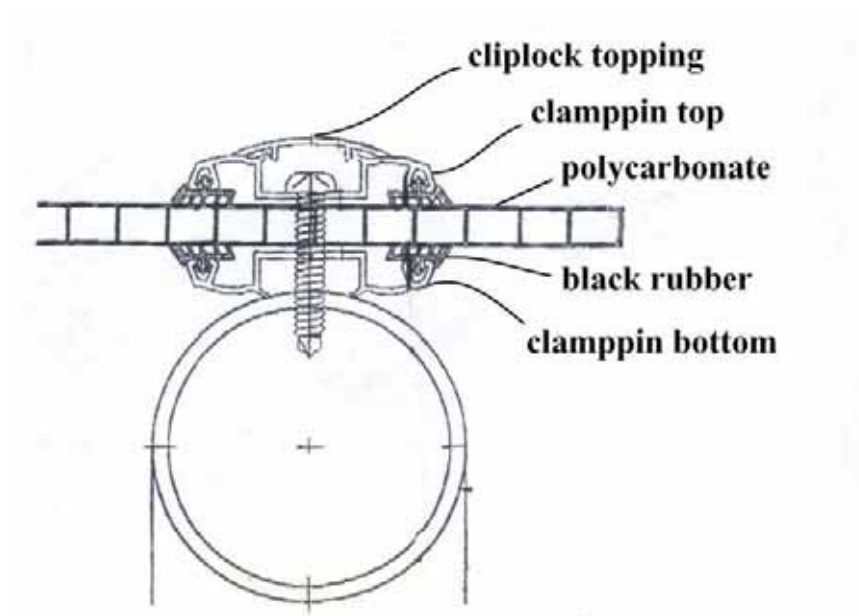


รูปที่ A1.2 แสดงแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งสร้างที่โรงฝึกงานของภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัย
ศิลปากร



รูปที่ A1.3 แสดงแผ่นโพลีคาร์บอเนตสำหรับใช้เป็นแผ่นปิดแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

เนื่องจากการสร้างเครื่องอบมีขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตหลายแผ่น ดังนั้นจึงเชื่อมต่อกันด้วยชุดเชื่อมต่ออะลูมิเนียมสำเร็จรูป ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ A1.4 แสดงลักษณะของชุดเชื่อมต่ออะลูมิเนียม สำหรับเชื่อมรอยต่อระหว่างแผ่นโพลีคาร์บอเนต

A1.2 ตู้อบแห้ง

ตู้อบมีลักษณะเป็นชั้นๆ โดยวางผลิตภัณฑ์บนถาดแบบชั้นบาง ตู้อบแห้งดังกล่าวประกอบด้วย ส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ และส่วนช่วยกระจายอากาศ โดยส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ มีขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 2.4 เมตร และสูง 1.8 เมตร มีประตูเปิดเปิดด้านหน้า สำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าออก สำหรับ ส่วนกระจายอากาศจะอยู่ใต้ส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ มีขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 0.6 เมตร และสูง 1.8 เมตร



รูปที่ A1.5 แสดงการสร้างโครงสร้างของตู้อบอบแห้งแบบถาด

A1.3 โรงอบแห้ง

สถานที่สร้างโรงอบแห้งอยู่ที่วิทยาลัยเกษตรกรรมประจำแขวงจำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก สปป.ลาว ในการสร้างโรงเรือนนี้จะเรียกว่า โรงอบแห้ง โดยจะเริ่มด้วยการสร้างฐานโรงเรือน ด้านบนจะเชื่อมคานเหล็กยึดระหว่างเสาแต่ละต้นและเชื่อมคานย่อยบนคานหลัก เพื่อใช้ในการวางแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นนำแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แต่ละแผงซึ่งสร้างเสร็จแล้วขึ้นไปวางกับคานของโรงอบแห้งจนครบทุกแผง แล้วจากนั้นจะนำแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปปิดด้านบน โดยให้ขอบของแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส่แต่ละแผงวางต่อกันแล้วใช้ชุดอะลูมิเนียมเชื่อมรอยต่อเพื่อเชื่อมรอยต่อของแผ่นโพลีคาร์บอเนตแต่ละแผง สุดท้ายสร้างท่ออากาศใต้จั่วของโรงอบแห้ง ซึ่งทำจากอะลูมิเนียมที่มีโฟมเนื้อแน่นอยู่ภายใน สำหรับนำอากาศลงมาใช้ในเครื่องอบแห้ง



รูปที่ A1.6 แสดงการสร้างอาคารอบแห้ง



รูปที่ A1.7 แสดงการนำแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นไปติดตั้งบนโครงหลังคา



รูปที่ A1.8 แสดงการติดตั้งแผงรับรังสีดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายของท่อนำอากาศจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มายังตู้อบแห้ง

เครื่องดังกล่าวจะสร้างที่โรงฝึกงานของภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากรแล้วจึงขนย้ายไปติดตั้งในโรงอบแห้งวิทยาลัยเกษตรกรรมประจำแขวงจำปาสัก เมืองปากเซ แขวงจำปาสัก สปป.ลาว



รูปที่ 2.53 แสดงภาพถ่ายส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง เพื่อขนส่งไป สปป.ลาว



รูปที่ 2.54 แสดงภาพถ่ายการขนอุปกรณ์จากโรงฝึกงาน ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เพื่อส่งไปยัง สปป.ลาว



รูปที่ 2.55 แสดงภาพถ่ายการขนอุปกรณ์ลง ที่สถานที่ก่อสร้างต้นแบบที่วิทยาลัยเกษตรกรรมและป่า
ไม้จำปาสัก

ภาคผนวกที่ 2

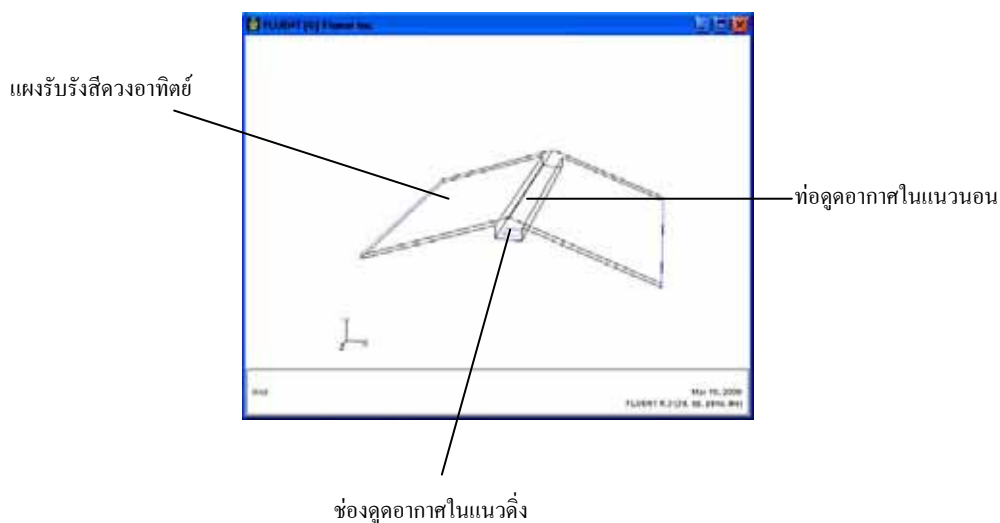
การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของระบบอบแห้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของระบบอบแห้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CFD (Computational Fluid Dynamics) โดยจะแบ่งโครงสร้างให้เป็น grid ในโปรแกรม GAMBIT ก่อน จากนั้นนำมารันในโปรแกรม Fluent เพื่อหาการกระจายของอุณหภูมิ ขนาดและทิศทางการไหลของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆของระบบอบแห้ง โดยจะแยกพิจารณาเป็นสองส่วน คือ แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และตู้อบแห้ง

A2.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์

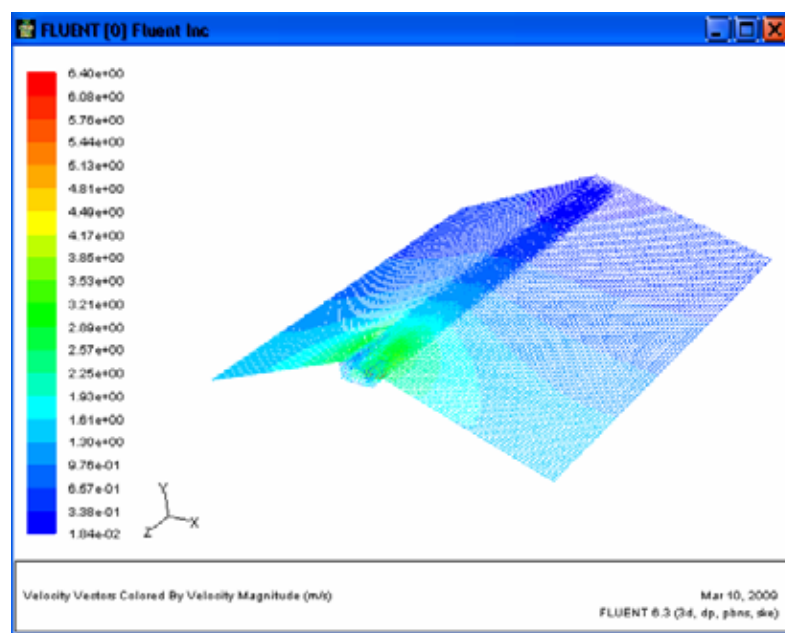
แผงรับรังสีดวงอาทิตย์เมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์จะทำให้อากาศภายในร้อน จากนั้นใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสตรงดูดอากาศร้อนดังกล่าวไปยังตู้อบแห้ง โดยมีแผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับพัดลม แผงรับรังสีดวงอาทิตย์นี้มีพื้นที่รับแสงรวม 144 ตารางเมตร แบ่งเป็นสองด้าน ด้านละ 72 ตารางเมตร ประกอบกันเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว มีมุมที่ฐานประมาณ 30 องศา วางตัวในแนวตะวันออก ตะวันตกเพื่อรับรังสีดวงอาทิตย์ได้มากที่สุดทั้งปี

ส่วนของโปรแกรม Fluent จะกำหนดให้ความเร็วลมที่ดูดอากาศเท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที พื้น (bottom) ของตัวรับแสงคายความร้อนเท่ากับ 300 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ A2.1-A2.3

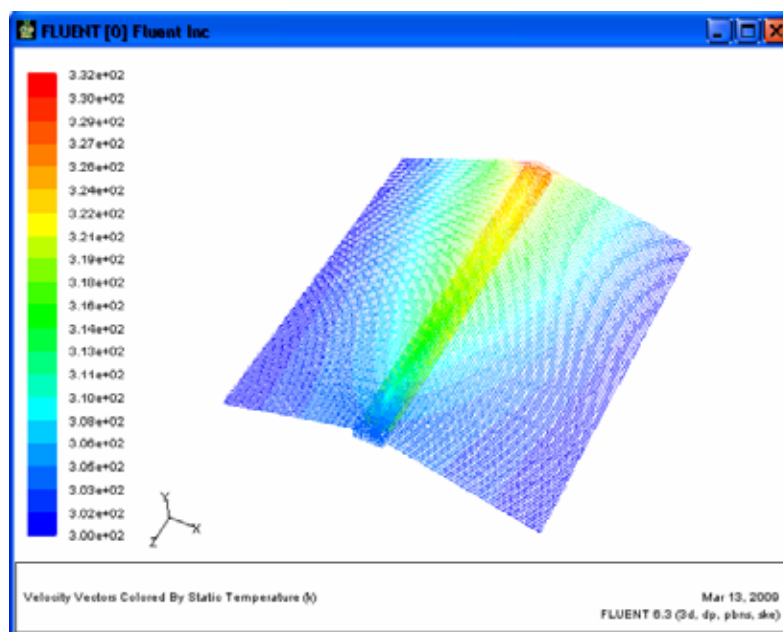


รูปที่ A2.1 แสดงโครงสร้างของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีตำแหน่งช่องดูดอากาศในแนวดิ่งอยู่เยื้องไปทางผนังด้านข้างของโรงอบแห้ง (เป็นตำแหน่งที่ใช้งานจริง)

จากนั้นทำการรันโปรแกรมได้ผลของความเร็วและทิศทางการไหลของอากาศ อุณหภูมิของอากาศในแต่ละตำแหน่งของระบบอบแห้ง ดังรูปที่ 2-3



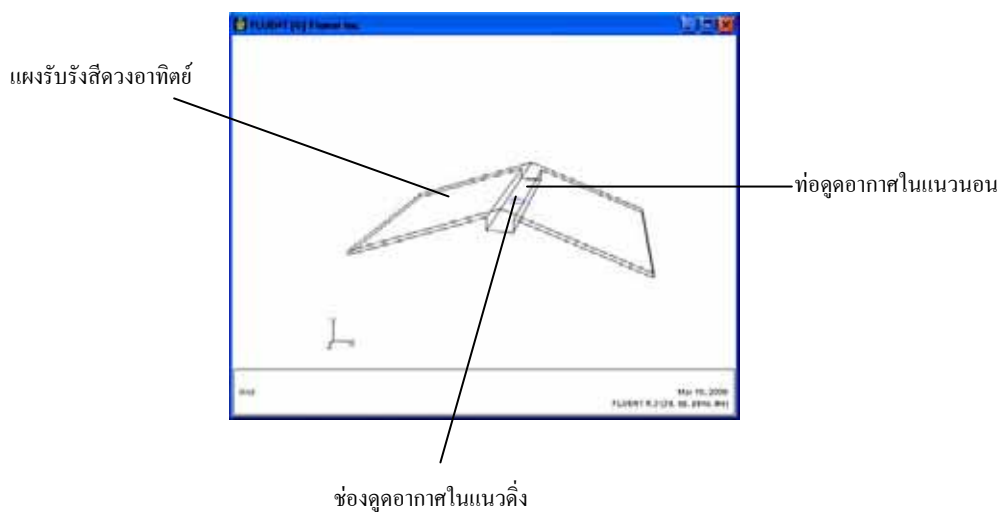
รูปที่ A2.2 แสดงขนาดและทิศทางการไหลของอากาศในตำแหน่งต่างๆซึ่งมีตำแหน่งช่องดูดอากาศในแนวดิ่งอยู่เยื้องไปทางผนังด้านข้างของโรงอบแห้ง (ตำแหน่งที่ใช้งานจริง)



รูปที่ A2.3 แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีตำแหน่งช่องดูดอากาศในแนวดิ่งอยู่เอียงไปทางผนังด้านข้างของโรงอบแห้ง (ตำแหน่งที่ใช้งานจริง)

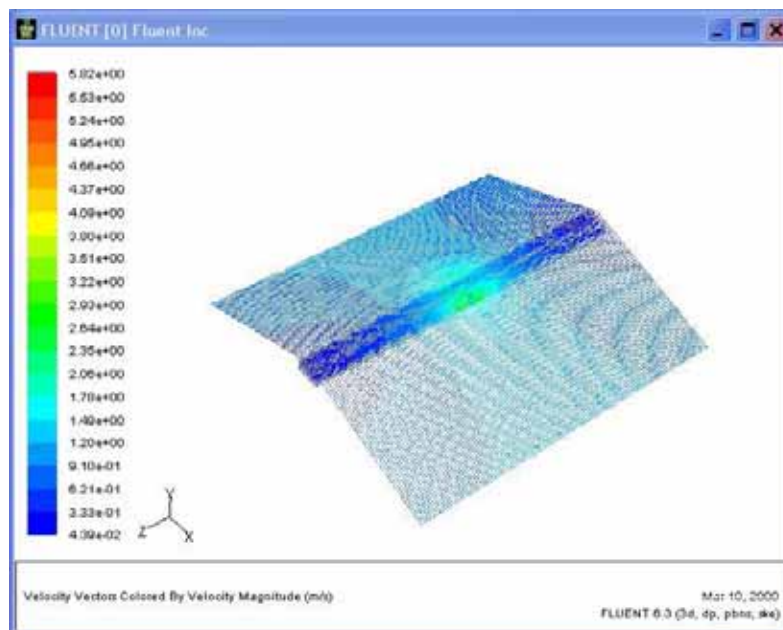
พิจารณาขนาดและทิศทางการไหลของอากาศ อากาศจะถูกดูดเข้าทางชายคาขึ้นไปจนถึงจั่ว หลังจากจากนั้นไหลไปยังท่อดูดอากาศในแนวนอนและสุดท้ายจะถูกดูดผ่านช่องดูดอากาศในแนวดิ่ง พิจารณาบริเวณท่อดูดอากาศในแนวนอนส่วนที่อยู่ใกล้กับช่องดูดอากาศในแนวดิ่งจะมีความเร็วมากกว่าตำแหน่งอื่น ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศบริเวณนี้มีค่าต่ำกว่าอีกด้านหนึ่ง เนื่องจากความเร็วและอุณหภูมิอากาศยังการกระจายตัวได้ไม่ดีทำให้ได้ประโยชน์จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ไม่เต็มที่

เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมผู้วิจัยจึงได้เปลี่ยนโครงสร้างต่างๆของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อหาโครงสร้างที่ทำให้การกระจายตัวของอากาศสม่ำเสมอมากขึ้น ดังจะเสนอในรูปที่ 4-6

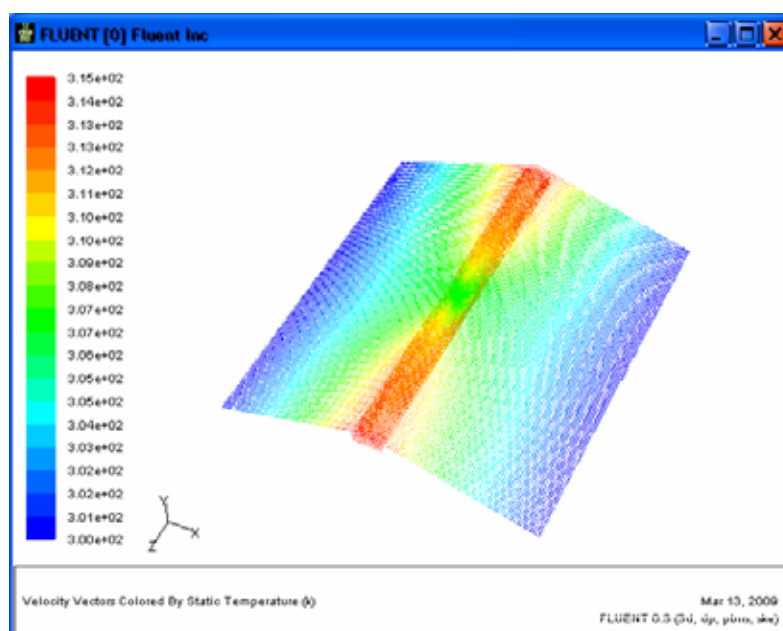


รูปที่ A2.4 แสดงโครงสร้างของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ กรณีที่ห้องดูดอากาศในแนวตั้งอยู่กึ่งกลาง
โรงอบแห้ง

จากรูปที่ A2.4 ห้องดูดอากาศอยู่กลางของหลังคา กำหนดให้ความเร็วลมที่ดูดอากาศอากาศ
เท่ากับ 7 เมตรต่อวินาที พื้น (bottom) ของตัวรับแสงคายความร้อนเท่ากับ 300 วัตต์ต่อตารางเมตร
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการรัน โปรแกรมได้ผลของขนาดและ
ทิศทางการไหลของอากาศอุณหภูมิของอากาศในแต่ละตำแหน่งของระบบอบแห้งดังรูปที่A2.5-
A2.6



รูปที่ A2.5 แสดงขนาดและทิศทางการไหลของอากาศในตำแหน่งต่างๆกรณีที่ช่องดูดอากาศในแนวตั้งอยู่กึ่งกลางโรงอบแห้ง

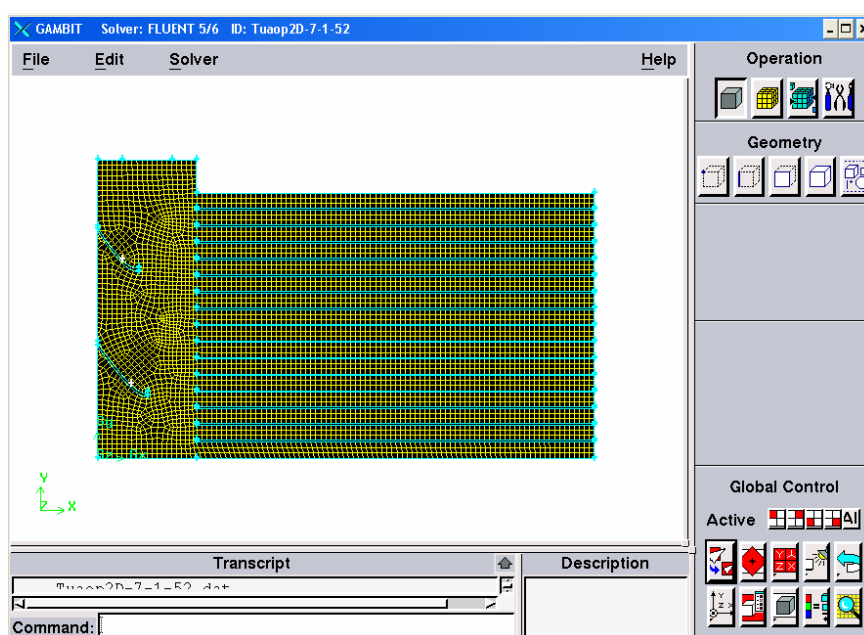


รูปที่ A2.6 แสดงอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์กรณีที่ช่องดูดอากาศในแนวตั้งอยู่กึ่งกลางโรงอบแห้ง

พิจารณาบริเวณท่อดูดอากาศในแนวอนขนาดของความเร็วลมจะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศสม่ำเสมอ ทำให้ได้ประโยชน์จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เต็มที่

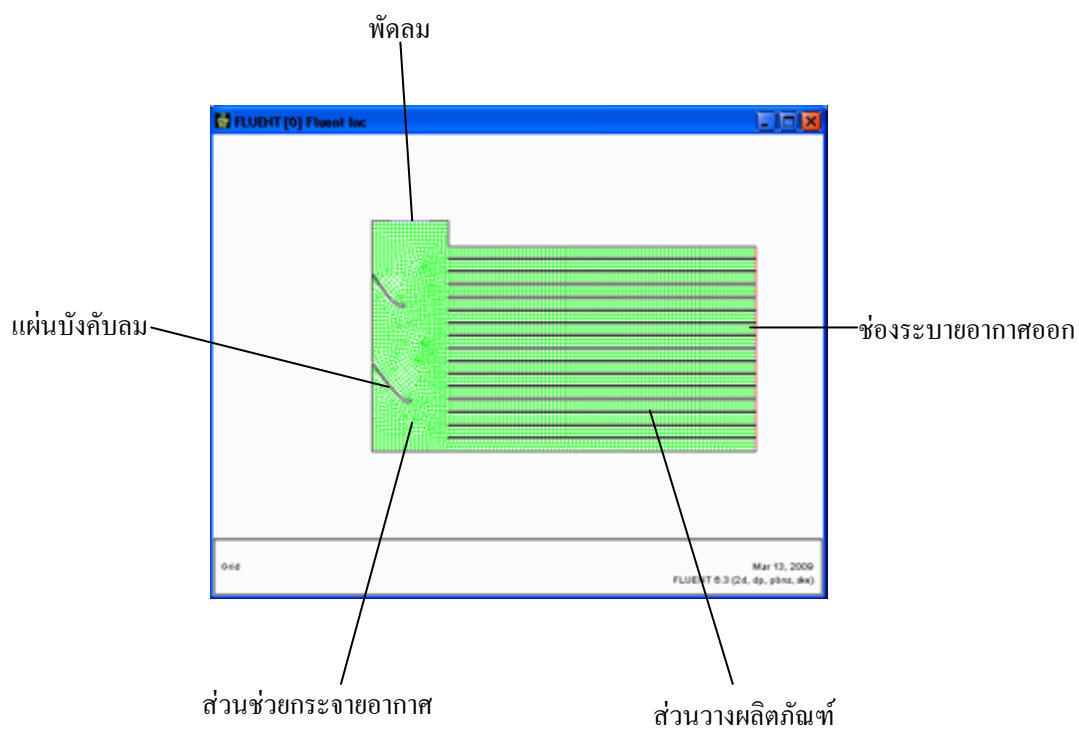
A2.2 ตู้อบแห้ง

ผู้วิจัยเริ่มต้นสร้าง grid ในโปรแกรม GAMBIT โดยส่วนของตู้อบแห้งจะมีลักษณะเป็นชั้นโดยวางผลิตภัณฑ์บนถาดแบบชั้นบางและให้อากาศร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์จากด้านข้าง มีแผ่นบังคับลมเพื่อช่วยให้อากาศไหลอย่างสม่ำเสมอ ตู้อบดังกล่าวประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ และส่วนช่วยกระจายอากาศ โดยส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ มีขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 2.4 เมตร และสูง 1.8 เมตร มีประตูเปิดด้านหน้า สำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าออก สำหรับส่วนกระจายอากาศจะอยู่ใต้ส่วนบรรจุผลิตภัณฑ์ มีขนาดกว้าง 0.8 เมตร ยาว 0.6 เมตร และสูง 1.8 เมตร ดังรูปที่ A2.7

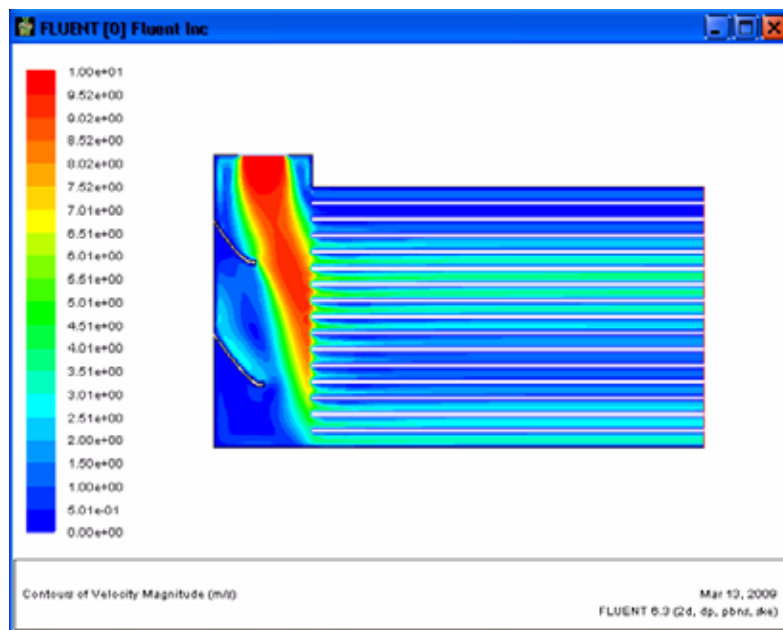


รูปที่ A2.7 แสดงการสร้าง grid ของตู้อบแห้งด้วยโปรแกรม GAMBIT

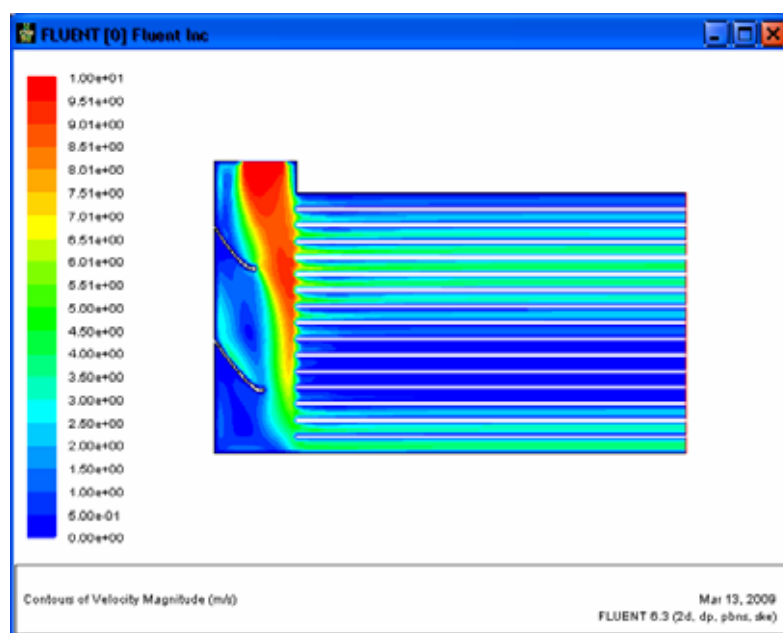
เนื่องจากตึ๋บมีความสมมาตร ดังนั้นจึงสร้าง โครงสร้างแบบสองมิติเพื่อพิจารณาขนาดและทิศทางการไหลของอากาศ ดังรูปที่ A2.8



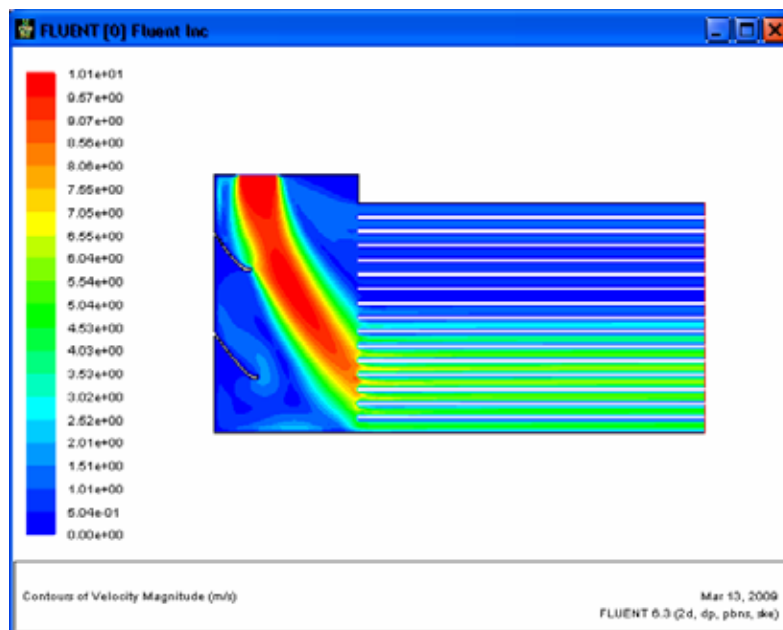
รูปที่ A2.8 แสดง grid ของตึ๋บแห่งนี้ กรณีมีส่วนช่วยกระจายอากาศ 0.6 เมตร



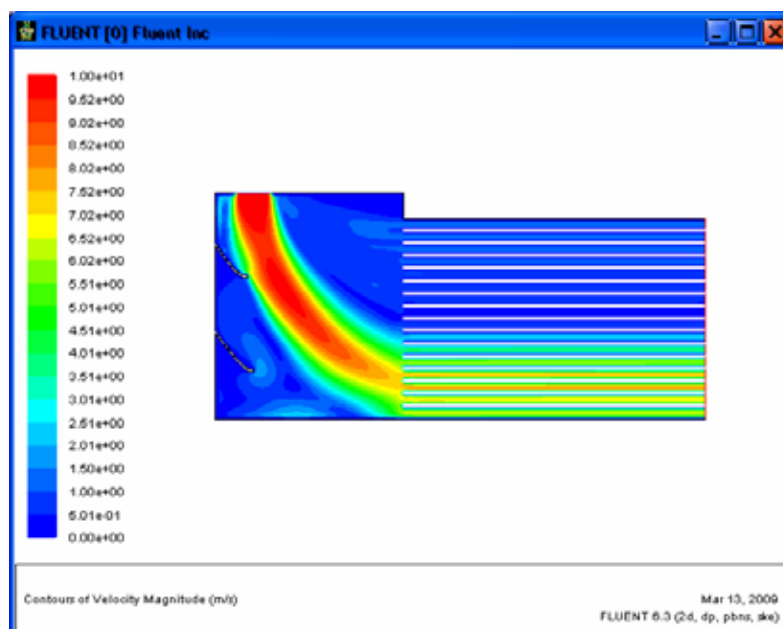
รูปที่ A2.9 แสดงขนาดและทิศทางของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 0.6 เมตร
 ผู้วิจัยได้ทำการแปรค่าความกว้างของส่วนช่วยระบายอากาศให้มีความกว้าง 0.5 เมตร 1.0
 เมตร 1.5 เมตร และศึกษาการกระจายตัวของขนาดและทิศทางการไหลของอากาศ ผลที่ได้แสดงดัง
 รูปที่



รูปที่ A2.10 แสดงขนาดและทิศทางของอากาศตำแหน่งต่างๆกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 0.5 เมตร



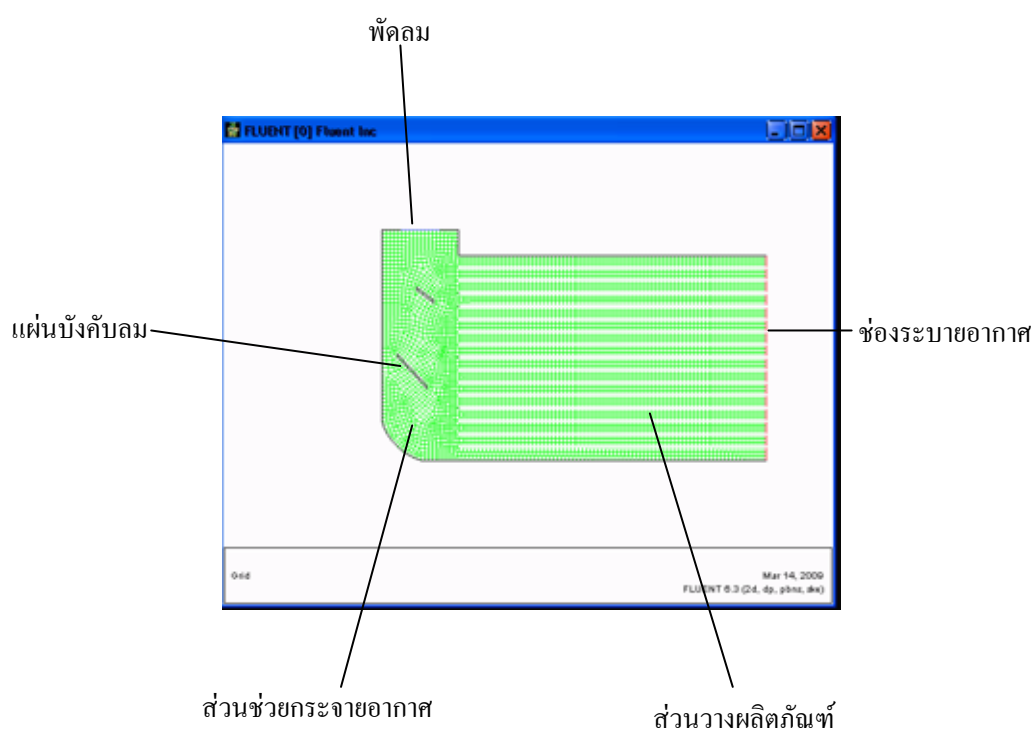
รูปที่ A2.11 แสดงขนาดและทิศทางของอากาศตำแหน่งต่างๆกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 1.0 เมตร



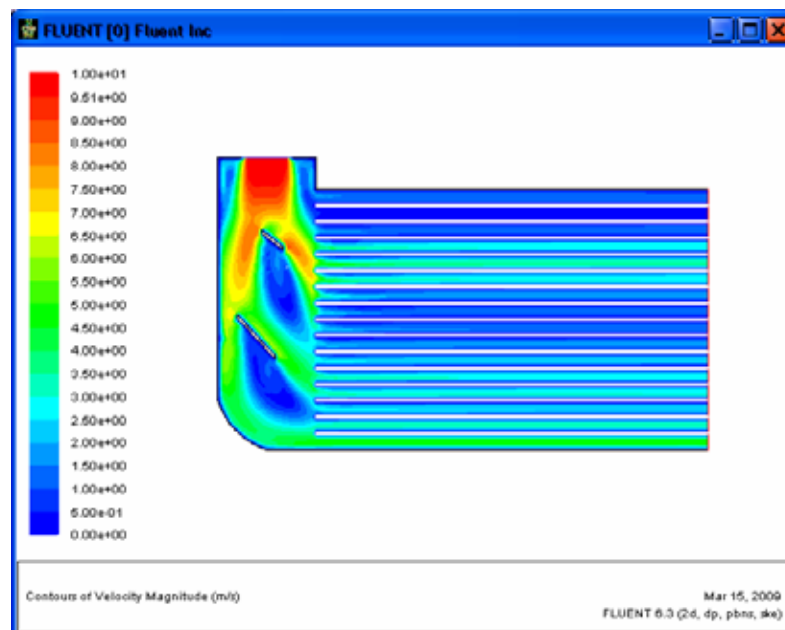
รูปที่ A2.12 แสดงขนาดและทิศทางของอากาศตำแหน่งต่างๆกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 1.5 เมตร

พิจารณาการกระจายตัวของอากาศแบบต่างๆ พบว่าส่วนพักอากาศยาว 0.6 เมตรทำให้
อากาศกระจายตัวดีที่สุด เมื่อขยายส่วนช่วยกระจายให้ยาวมากกว่า 0.6 เมตรความเร็วของอากาศ
ด้านล่างของตู้อบจะมากกว่าด้านบนของตู้อบ เมื่อลดส่วนช่วยกระจายสั้นกว่า 0.6 เมตร ความเร็ว
ของอากาศด้านบนของตู้อบจะมีขนาดมากกว่าด้านล่างของตู้อบ

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการแปรค่าขนาดของแผ่นบังคับลมรวมถึงตำแหน่งของแผ่นบังคับ
ลมในแบบต่างๆ พบว่ารูปแบบการวางแผ่นบังคับลมตามรูปที่ A2.13 ได้ผลการกระจายตัวของ
ขนาดและทิศทางของอากาศดีที่สุดดังรูปที่ A2.14



รูปที่ A2.13 แสดง grid ของตู้อบแห้งกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 0.6 เมตร (เป็นแบบที่ใช้งานจริง)



รูปที่ 3.44 แสดงขนาดและทิศทางของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆกรณีส่วนช่วยกระจายอากาศ 0.6 เมตร
(เป็นแบบที่ใช้งานจริง)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายอาทิตย์ สารสมบูรณ์
ที่อยู่	283/232154 หมู่ 1 ตำบลลาดหญ้า อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี 71190
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2544	จบมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวัดวิสุทธิรังษี อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
พ.ศ.2548	จบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
พ.ศ.2549	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม