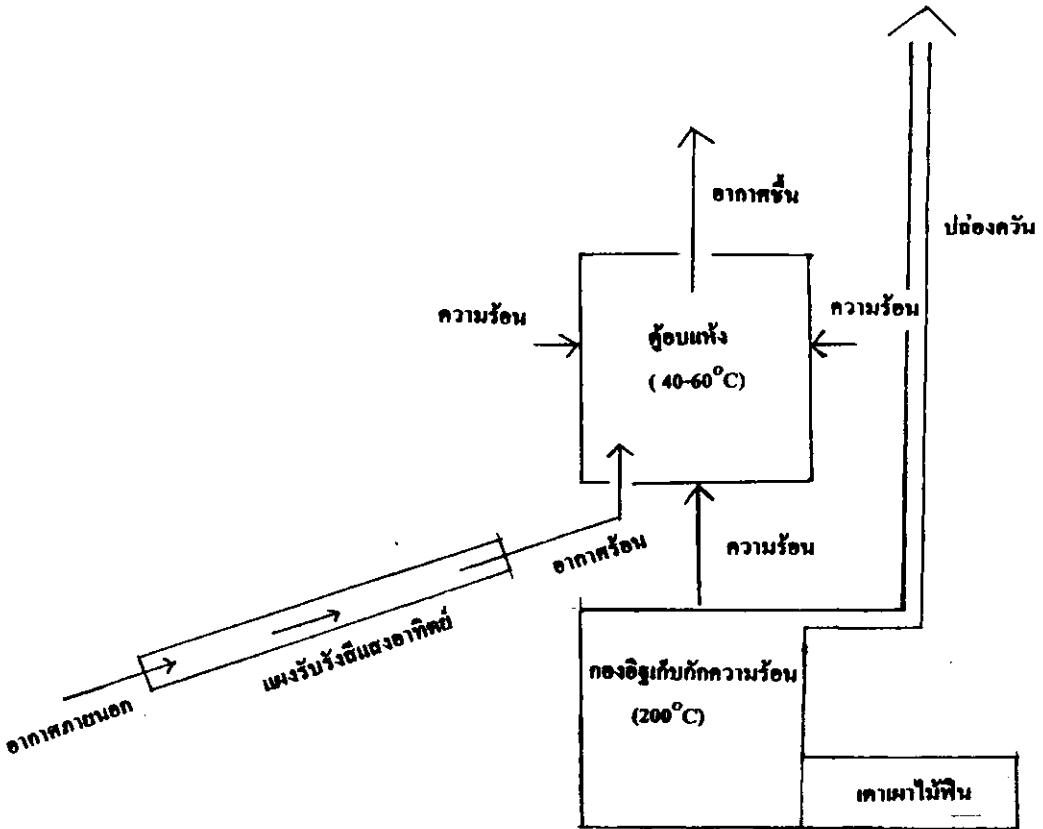


### 3. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแบบตู้

เครื่องอบแห้งแบบตู้ ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยอ้อม เหมาะสมสำหรับการอบแห้งพืชผลหรือสมุนไพรที่คงรักษาสารที่เป็นประโยชน์และสี

#### 3.1 ส่วนประกอบและหลักการทำงาน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตู้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ตู้อบผลิตภัณฑ์ และชุดเก็บกักความร้อน ดังในรูปที่ 3.1 แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน เตาเผาไหม้ทำหน้าที่เป็นบริเวณเผาไหม้ไม้ฟืนผลิตความร้อน ชุดเก็บกักความร้อนทำหน้าที่เก็บกักความร้อนไว้ในวัสดุ ขณะก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ไหลผ่าน และคายความร้อนที่เก็บกักให้แก่ตู้อบในช่วงไม่มีการเผาไหม้



รูปที่ 3.1 ผังรูปเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้

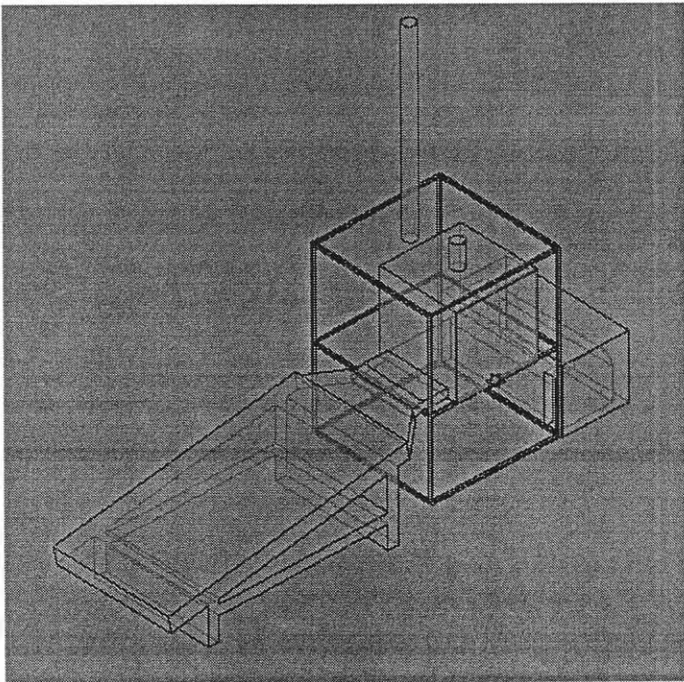
เครื่องอบแห้งนี้มีการทำงานแบ่งได้ 2 ช่วง คือ (1) ช่วงที่มีแสงอาทิตย์หรือช่วงกลางวัน ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ และ(2) ช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือช่วงกลางคืน

ช่วงมีแสงอาทิตย์ อากาศจากภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$  ไหลผ่านแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ที่วางทำมุม  $10$  องศาในแนวเหนือ-ใต้ รับความร้อนและมีอุณหภูมิประมาณ  $40-60^{\circ}\text{C}$  ก่อนไหลเข้าตู้อบแห้ง และไหลผ่านผลิตภัณฑ์ชั้นต่าง ๆ พร้อมถ่ายโอนความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์ในการระเหยน้ำออกมาและไหลพาความชื้นออกทางปล่อง อัตราการไหลของอากาศถูกควบคุมด้วยการปรับพื้นที่ทางเข้า โดยจะปรับให้เหมาะสมกับการพาความชื้นออกจากตู้อบ ทั้งนี้ก็ขึ้นกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแต่ละชนิด

ช่วงไม่มีแสงอาทิตย์ ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืน โดยอากาศจากภายนอกยังคงไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์และตู้อบแห้งเช่นเดิมเพื่อพาความชื้นออกจากตู้ ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนจะถูกถ่ายโอนผ่านผนังตู้อบจากก๊าซร้อนและจากกองอิฐ ทำให้ตู้อบยังคงมีอุณหภูมิสูงตามต้องการ

### 3.2 ขนาดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ที่ออกแบบในการวิจัยครั้งนี้ แสดงในรูปที่ 3.2

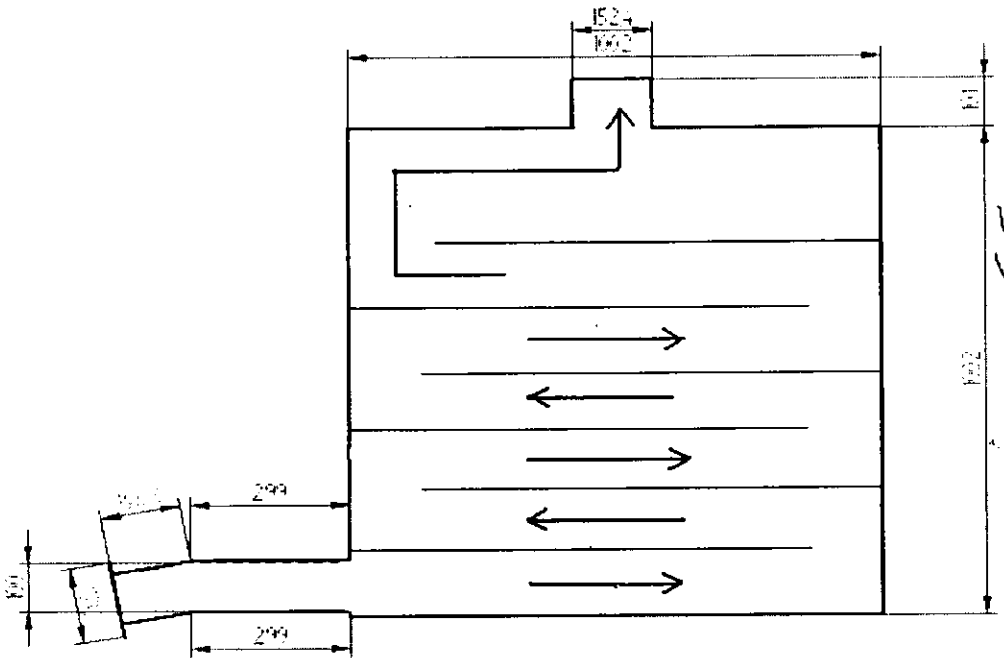


รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้

### (ก) ตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้ง เป็นอุปกรณ์สำหรับวางผลิตภัณฑ์และระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และมีพื้นที่เพียงพอสำหรับวางผลิตภัณฑ์ และมีช่องทางให้อากาศร้อนไหลผ่านในอัตราที่เหมาะสม เพื่อถ่ายโอนความร้อนให้แก่ผลิตภัณฑ์และพาความชื้นออกจากตู้อบ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกสร้างตู้อบแห้งขนาด  $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$  ซึ่งมีปริมาตร 1 ลบ.ม. ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมกับขนาดแผ่นโลหะที่มีขายตามท้องตลาด คือ  $1.2\text{ m} \times 2.4\text{ m}$  ผนังตู้อบทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 1.2 mm. ภายในตู้อบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์จำนวน 7 ชั้นวางเรียงกันซ้อนตามแนวดิ่ง โดยระหว่างชั้นห่างกัน 125 mm. ผนังด้านบนมีช่องระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm. ที่ผนังด้านข้างมีช่องอากาศเข้าขนาด  $100\text{ mm.} \times 800\text{ mm.}$



รูปที่ 3.3 ตู้อบแห้ง

### (ข) แผงรับรังสีแสงอาทิตย์

แผงรับแสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน โดยใช้แผ่นสังกะสีเป็นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทย การแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ยในหนึ่งวันตั้งแต่เวลา 08:00 ถึง 16:00 น ( 8 ชั่วโมง ) มีค่าประมาณ  $500\text{ W/m}^2$  (Schirmir และคณะ, 1996) ดังนั้นปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ในแต่ละวันเท่ากับ

$$Q_{rad} = (500 \text{ W/m}^2)(8 \times 3600 \text{ s}) = 14.4 \text{ MJ/m}^2$$

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าอยู่ระหว่าง 35 ถึง 50% ดังนั้นความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เท่ากับ

$$Q_{rad,use} = (14.4 \text{ MJ/m}^2)(0.35) = 5.04 \text{ MJ/m}^2$$

สำหรับการผลิตความร้อน 500 W สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์การเกษตร ต้องใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาดพื้นที่เท่ากับ

$$A_s = \frac{500(8 \times 3600)}{5.04} = 2.8 \text{ m}^2$$

แต่สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์จำนวน 20 กิโลกรัม จากความชื้นเริ่มต้น 70 % เหลือความชื้นสุดท้าย 8 % ในเวลา 2 วันหรือได้รับแสงอาทิตย์ 2 ครั้ง (16 ชั่วโมง) จะระเหยน้ำปริมาณ 13.5 kg คิดเป็นปริมาณความร้อนเท่ากับ 32.8 MJ และการสูญเสียความร้อนในส่วนของ การอบแห้งโดยรวมมีค่าประมาณ 40% ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์จำนวน 20 kg ในเวลา 2 วันเท่ากับ

$$Q_i = (1.4)(32.8) = 46.0 \text{ MJ}$$

ในแต่ละวัน ต้องใช้ความร้อนเท่ากับ

$$Q_i = 23.0 \text{ MJ}$$

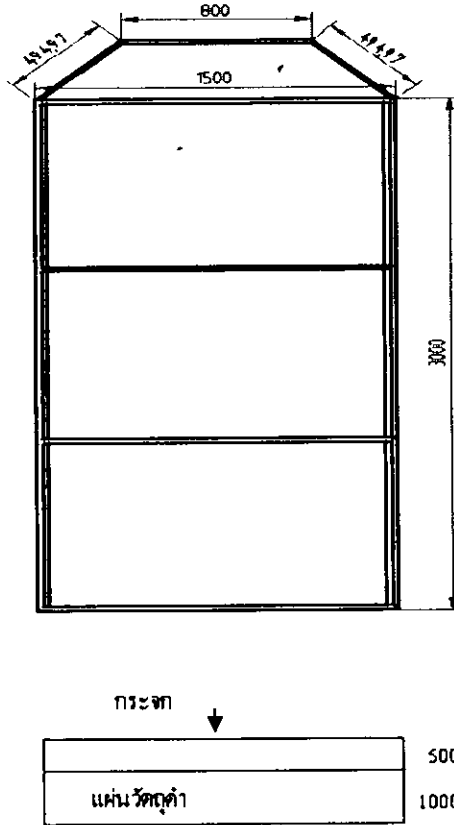
เพราะฉะนั้น ต้องมีพื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ

$$A_s = \frac{Q_i}{Q_{rad,use}} = \frac{23.0}{5.04} = 4.5 \text{ m}^2$$

ดังนั้น เลือกใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์พื้นที่  $4.5 \text{ m}^2$  ดังในรูปที่ 5 ซึ่งมีขนาดกว้าง 1.5 m และยาว 3.0 m นี้ ทำมุม  $10^\circ$  กับพื้นดิน และหันหน้าไปทางทิศใต้

แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ดังกล่าวสร้างเองที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ใช้เหล็กท่อสี่เหลี่ยมขนาด  $1" \times 1"$  เป็นโครงสำหรับวางกระจกและเป็นที่ยึดของผนัง ใช้ลูมิเนียมแผ่นเรียบเบอร์ 30 ปิดด้านล่างและด้านข้างเป็นผนัง ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว เป็นฉนวนกันความร้อน ใช้กระจกหนา 6 mm วางอยู่ด้านบนบนแผง และใช้แผ่นเหล็กทาสีดำทำเป็นตัวรับรังสี วางใต้กระจกและวางห่างจากกระจก 50 mm ตัวรับรังสีนี้อยู่สูงจากผนังล่างของแผงรับรังสี 100 mm. จึง

เป็นช่องสำหรับอากาศไหลผ่านทางด้านใต้ของตัวรับรังสี เป็นการหลีกเลี่ยงการเกาะของฝุ่นบนผิวแผ่นรับรังสีด้านรับแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถลดการทำความสะอาดแผ่นรับรังสี



รูปที่ 3.4 แผงรับรังสี

(ค) อีฐเก็บกักความร้อน

การวิจัยครั้งนี้ ใช้อีฐเป็นตัวเก็บกักความร้อน โดยรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ไหลผ่านขณะมีการเผาไหม้ไม้ฟืน และถ่ายโอนความร้อนออกเมื่อไม่มีการเผาไหม้ไม้ฟืน ดังนั้นปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ปริมาณอีฐสำหรับเก็บกักความร้อนไว้ใช้ได้ตลอดคืนหรือ 12 ชั่วโมง สำหรับกำลังการผลิตความร้อน 500 W ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน  $\Delta T = 100^{\circ}C$  ที่ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อนเท่ากับ 15% ( $\eta = 0.15$ ) และใช้อีฐซึ่งมี  $C_p = 840 \text{ J/kg K}$  คำนวณหามวลของอีฐได้ดังนี้

$$Q = mc_p \Delta T$$

$$m = \frac{(Q/\eta)}{c_p \Delta T} = \frac{(500 \times 12 \times 3600 / 0.15)}{(840)(100)} = 1714 \text{ kg}$$

แต่อิฐแต่ละก้อนมีมวล 1.2 kg ดังนั้นต้องใช้อิฐจำนวน  $1714/1.2 = 1404$  ก้อน

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้จัดเรียงก้อนอิฐได้คูบแห่งจำนวน 1728 ก้อน

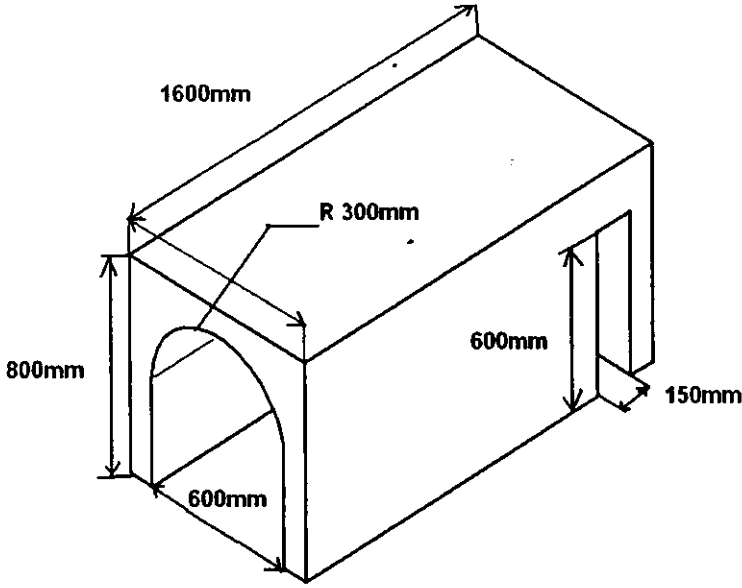


รูปที่ 3.5 กงอิฐเก็บกักความร้อน

### (ค) เตาเผาไม้ฟืน

เตาเผาไม้ฟืน เป็นบริเวณสำหรับการเผาไม้ฟืน ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับธาตุเชื้อเพลิง เตาเผาที่ออกแบบ มีปริมาตรเพียงพอสำหรับการเผาไม้ฟืนประมาณ 50-100 กก.ต่อครั้ง มีความยาวพอสำหรับไม้ฟืนที่มีขายทั่วไป คือ 1.2 ม. และมีช่องอากาศไหลเข้าเตาเผาได้

ในการวิจัยครั้งนี้สร้างเตาเผาไม้ฟืนขนาดภายใน 600 mm x 1500 mm. x 600 mm. โดยมีปริมาตรห้องเผาไหม้ 1.112 ลูกบาศก์เมตร มีช่องสำหรับก๊าซร้อนไหลออกขนาด 150 mm. x 600 mm. ประตูดึงทำจากเหล็กแผ่นหนา 5 mm ซึ่งมีคอนกรีตทนไฟปูนฉาบด้านใน ประตูเตาติดตั้งสูงจากพื้น 100 mm สำหรับเป็นช่องว่างให้อากาศภายนอกไหลเข้าเตาเผา



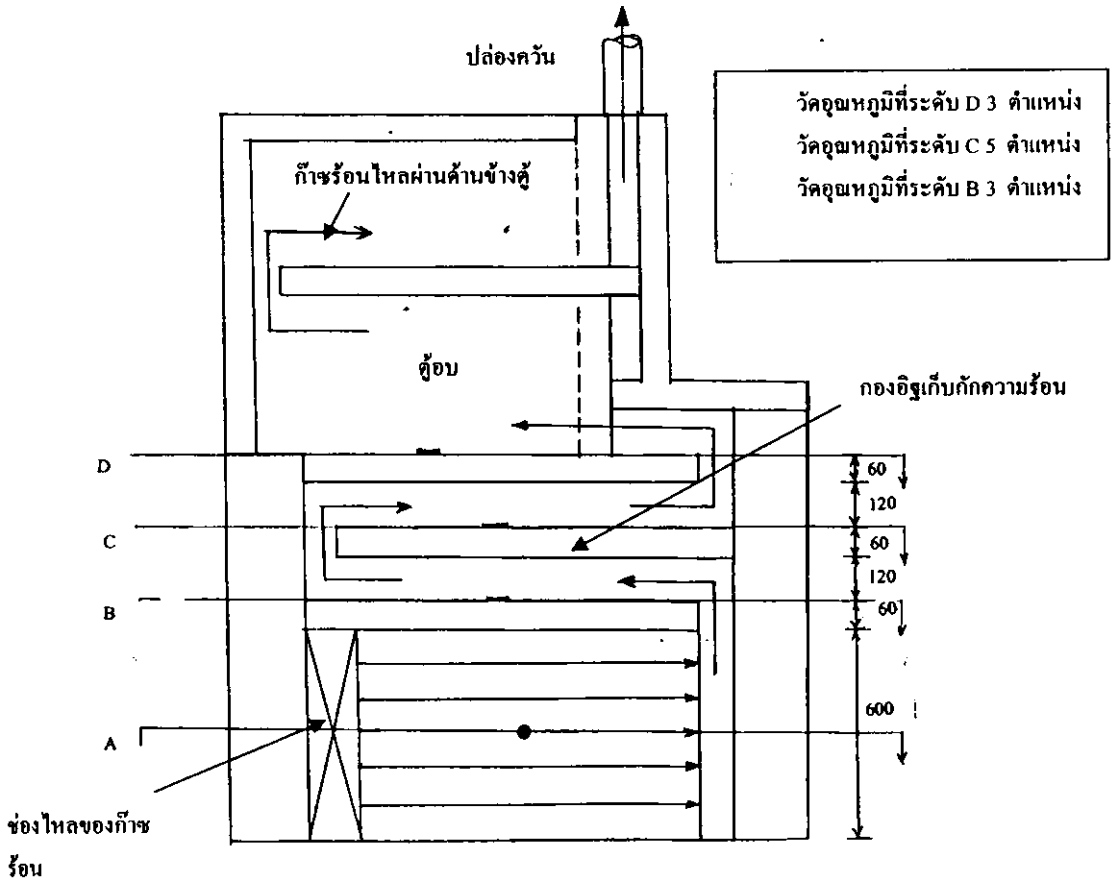
รูปที่ 3.6 เตาเผาไม้ฟืน

### 3.3 การเก็บกักความร้อนของกองอิฐ

การเก็บกักความร้อนของตู้อบแห้ง ใช้อิฐจำนวน 1728 ก้อน ซึ่งหลังจากสร้างเตาเผาและติดตั้งอุปกรณ์เสร็จ ได้ทำการอุ่นกองอิฐและเตาเผาไม้ฟืนโดยการเผาไม้ฟืนค่อย ๆ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมาก เป็นเวลา 1 วัน เพื่อการไล่ความชื้นในส่วนต่างๆ ออกจนหมด ลดการแตกร้าวในการใช้งานจริง

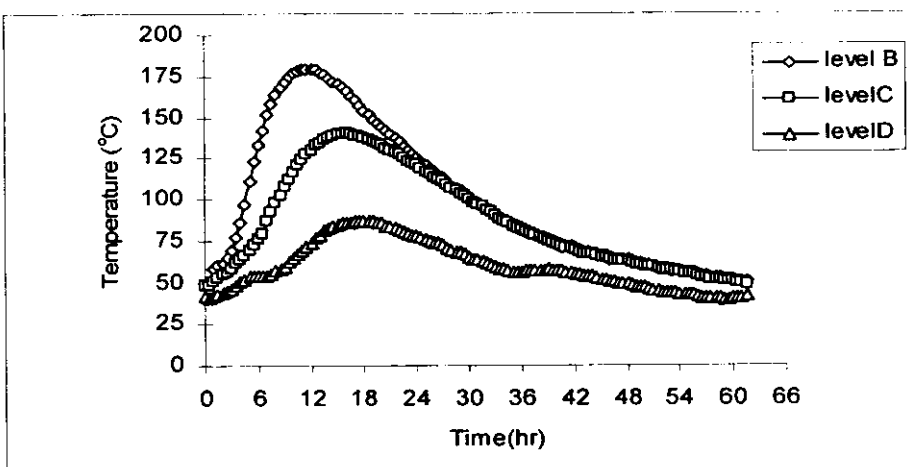
การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาอุณหภูมิในกองอิฐกับระยะเวลา เพื่อแสดงความสามารถในการเก็บกักความร้อน โดยทดลองใน 2 ลักษณะ คือ ไม่มีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในตู้อบ และมีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในตู้อบ ในการทดลองนี้ ได้วัดอุณหภูมิในกองอิฐที่ใช้เก็บกักความร้อน 11 ตำแหน่ง คือ ที่ชั้นล่าง (B) 3 ตำแหน่ง ที่ชั้นกลาง (C) 5 ตำแหน่ง และที่ชั้นบน (D) 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สำหรับอุณหภูมิก๊าซร้อนไหลเข้ากองอิฐวัดที่ A ซึ่งวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และอุณหภูมิก๊าซร้อนที่ไหลออกจากกองอิฐวัดที่ชั้น D 2 ตำแหน่ง วัดอุณหภูมิของการทดลองเพื่อศึกษา ความสามารถในการเก็บกักความร้อนของกองอิฐ โดยพิจารณาที่อุณหภูมิในตู้อบ อุณหภูมิในกองอิฐ และเวลา

การทดลองครั้งนี้ได้วัดอุณหภูมิในกองอิฐที่ชั้นต่าง ๆ ทุก ๆ 30 นาที หลังจากเริ่มเผาไม้ฟืน การทดลอง โดยเผาไม้ฟืน 60 กิโลกรัมครั้งเดียว และเผาไม้ฟืนครั้งละ 60 กิโลกรัมทุก ๆ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในกองอิฐ

ผลการทดลองเผาไม้พินครั้งแรกพบว่า อิฐชั้นล่างเป็นชั้นที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอิฐชั้นอื่น มีอุณหภูมิสูงสุด  $180^{\circ}\text{C}$  และสูงกว่าอิฐชั้นบนประมาณ  $112^{\circ}\text{C}$  เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอิฐทั้งกองจะเห็นว่า กองอิฐมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 19 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 7.5 ชั่วโมงถึงเวลา 26.5 ชั่วโมงหลังการเผาไม้พิน

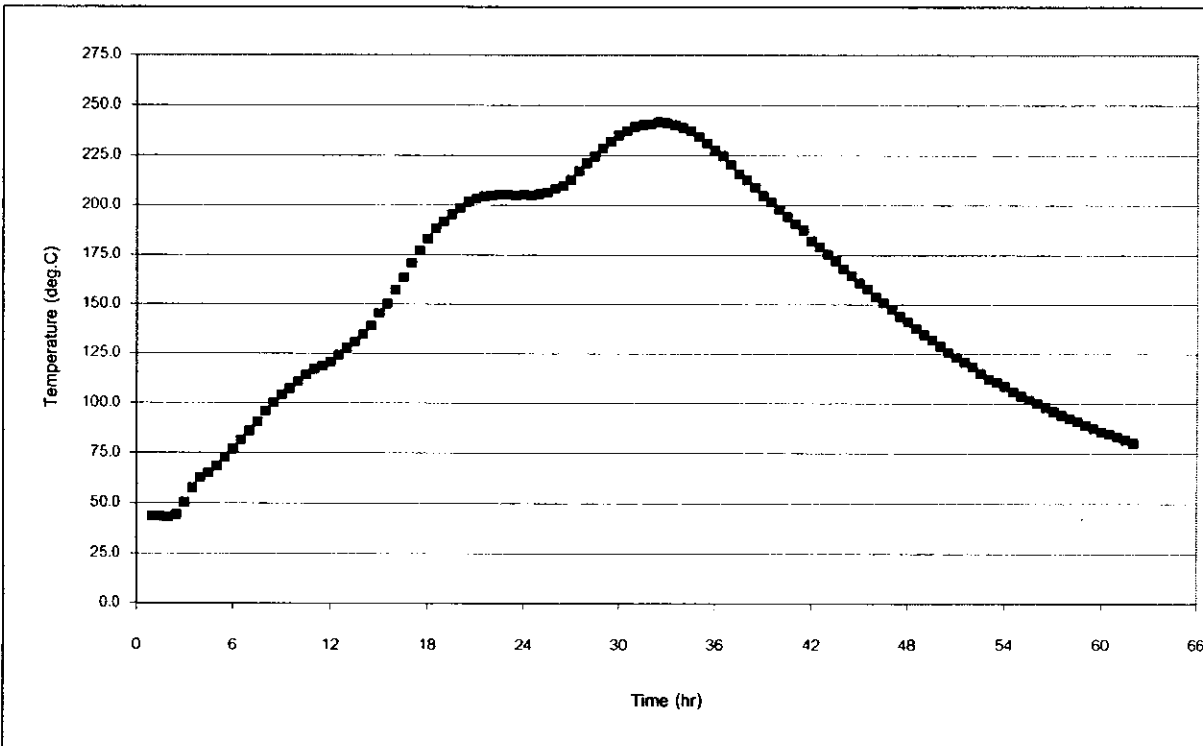


รูปที่ 3.8 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ชั้นล่าง(B) ชั้นกลาง (C) และชั้นบน (D) ของกองอิฐ เมื่อใส่ไม้พินครั้งแรกเพียง 60 กก.



เมื่อทราบว่าการเผาไม้พินครั้งละ 60 กิโลกรัม สามารถทำให้กองอิฐมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 19 ชั่วโมง จึงทดลองใหม่โดยใส่ไม้พินครั้งละ 60 กิโลกรัมทุก ๆ 12 ชั่วโมง ติดต่อกันสามครั้ง คือ ใส่พินชั่วโมงที่ 0 12 และ 24

ผลการทดลองพบว่า สามารถทำให้กองอิฐมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  ได้ตลอดการทดลอง โดยกองอิฐจะเริ่มมีอุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  หลังจากใส่พินครั้งแรก 8.5 ชั่วโมง จากอุณหภูมิเริ่มต้น  $44^{\circ}\text{C}$  (อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ  $7.7^{\circ}\text{C/hr}$ ) การใส่พินแต่ละครั้ง ทำให้กองอิฐมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเดิมทุกครั้ง การใส่ไม้พินครั้งสุดท้ายชั่วโมงที่ 24 ซึ่งกองอิฐมีอุณหภูมิ  $205^{\circ}\text{C}$  มีผลทำให้กองอิฐมีอุณหภูมิสูงถึง  $241^{\circ}\text{C}$  หลังจากใส่พิน 8.5 ชั่วโมง (มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของกองอิฐ  $4.2^{\circ}\text{C/hr}$ ) หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองอิฐลดลงในอัตรา  $6.0^{\circ}\text{C/hr}$  จนเหลืออุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  ภายในเวลา 23.5 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 อุณหภูมิเฉลี่ยของอิฐเก็บกักความร้อน เมื่อใส่ไม้พินครั้งละ 60 กิโลกรัม ชั่วโมงที่ 0 12 และ 24

### 3.4 ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์

แผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้กับตู้อบแห่งนี้ มีขนาดพื้นที่ 4.5 ตารางเมตร ซึ่งมีความกว้าง 1.5 ม.และยาว 3 ม. มีช่องอากาศไหลเข้าขนาดกว้าง 1,500 มม. และสูง 100 มม.

ในการทดลองครั้งนี้ ใช้พัดลมดูดอากาศไหลผ่านแผงรับรังสี ด้วยความเร็วประมาณ 0.8 m/s ที่ทางเข้า เริ่มทดลองตั้งแต่เวลา-09:00 น. – 16:00 น. โดยวัดอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าและทางออก วัดความเร็วอากาศ และความเข้มของแสงอาทิตย์ ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.1

ผลการทดลองพบว่า ที่ความเร็วของการไหลประมาณ 0.8 m/s แผงรับแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์เป็นความร้อนได้ที่ประสิทธิภาพ 42 – 67 % โดยในช่วงบ่าย 13:00-14:00 น. จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าช่วงอื่น ได้อากาศร้อนอุณหภูมิ 44-58°C ที่อัตราการไหลเชิงมวล 1.22 kg/s

ตารางที่ 3.1 ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

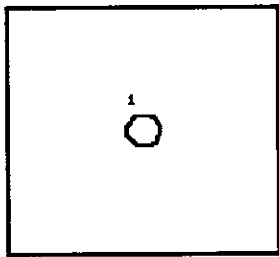
เวลา	รังสี แสงอาทิตย์ เฉลี่ย  (w/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ อากาศ ทางเข้า แผง  (°C)	อุณหภูมิ อากาศ ทางออก แผง  (°C)	ความเร็ว อากาศไหล ผ่านแผงรับ แสงอาทิตย์  (m/s)	อัตรา การไหล เชิงมวล ของ อากาศ  (kg/s)	พลังงาน แสงอาทิตย์ ตกกระทบ ในแต่ละ ชั่วโมง  (kW)	พลังงาน ความร้อนได้ จากแผง รับแสง  (kW)	ประสิทธิภาพ ของแผงรับ รังสี แสงอาทิตย์  (%)
9.00	757	36.6	47.5	0.82	0.129	3.41	1.42	41.6
10.00	940	32.3	49.4	0.73	0.114	4.23	1.97	46.5
11.00	1014	33.5	50.6	0.78	0.122	4.56	2.10	46.0
12.00	1052	36.2	54	0.77	0.119	4.73	2.13	45.1
13.00	1013	34.8	55.1	0.75	0.115	4.56	2.36	51.8
14.00	912	36.5	58.8	0.8	0.122	4.10	2.74	66.7
15.00	712	34.2	47.2	0.77	0.121	3.20	1.59	49.7
16.00	411	32.1	44.1	0.84	0.134	1.85	1.62	87.6

### 3.5 วิธีการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์

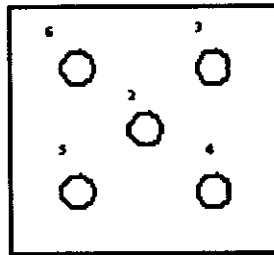
ก่อนเริ่มการทดลองแต่ละครั้ง จะเผาไม้ฟืนอุ่นเตาและระบบอบแห้งให้ร้อนก่อนอบแห้ง 12 ชั่วโมง เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว

การอบแห้งแต่ละครั้ง จะนำผลิตภัณฑ์วางเต็มตู้ และแยกตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ศึกษาค่าความชื้นตามเวลาการอบ นำมาวางในถาดตัวอย่าง 7 ถาด และชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์แต่ละถาดก่อนนำเข้าห้องอบ

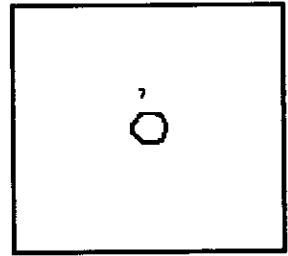
การวางภาคผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง จะวางใน 3 ชั้นสำหรับเป็นตัวแทนของการอบแห้ง โดยวางบนชั้นที่หนึ่ง ตำแหน่งตรงกลางจำนวน 1 ภาค วางบนชั้นที่สองจำนวน 5 ภาค ซึ่งวางใน ตำแหน่งใกล้มุมทั้งสี่ภาค และตรงกลางหนึ่งภาค และวางบนชั้นที่เจ็ดที่ตำแหน่งตรงกลาง จำนวน 1 ภาค



ชั้นวางที่ 1



ชั้นวางที่ 4



ชั้นวางที่ 7

รูปที่ 3.10 ตำแหน่งวางของภาคผลิตภัณฑ์บนชั้นต่างๆ ในตู้อบ

ระหว่างการอบแห้ง จะนำภาคกล้วยตัวอย่างทั้ง 7 ภาค มาชั่งน้ำหนักทุกๆ 3 ชั่วโมง และ บันทึกค่าความเข้มแสงทุกๆ 30 นาที ในตอนกลางวัน ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. ค่าความเร็วลมที่ทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ทุกชั่วโมงในตอนกลางวัน และทุก 3 ชั่วโมงในตอนกลางคืน ค่าความเร็วลมที่ปล่องควันทุกชั่วโมงในตอนกลางวันและทุก 3 ชั่วโมงในตอนคืน อุณหภูมิในกอง อีสุ 11 ตำแหน่ง อุณหภูมิแผงรับแสงอาทิตย์ 3 ตำแหน่ง

หลังจากผลิตภัณฑ์แห้งแล้ว นำมาชั่งน้ำหนักสุทธิ เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่ระเหยได้โดย ตู้อบแห้ง แล้วผลิตภัณฑ์ ไปอบแห้งต่อในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท เพื่อนำน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์

### 3. 6 ผลการอบแห้งผลิตภัณฑ์

ในการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบคู่นี้ ได้ทำการอบแห้งพริก 3 ครั้ง กกล้วย 2 ครั้ง และใบมะกรูด 1 ครั้ง ได้ผลการทดลองดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

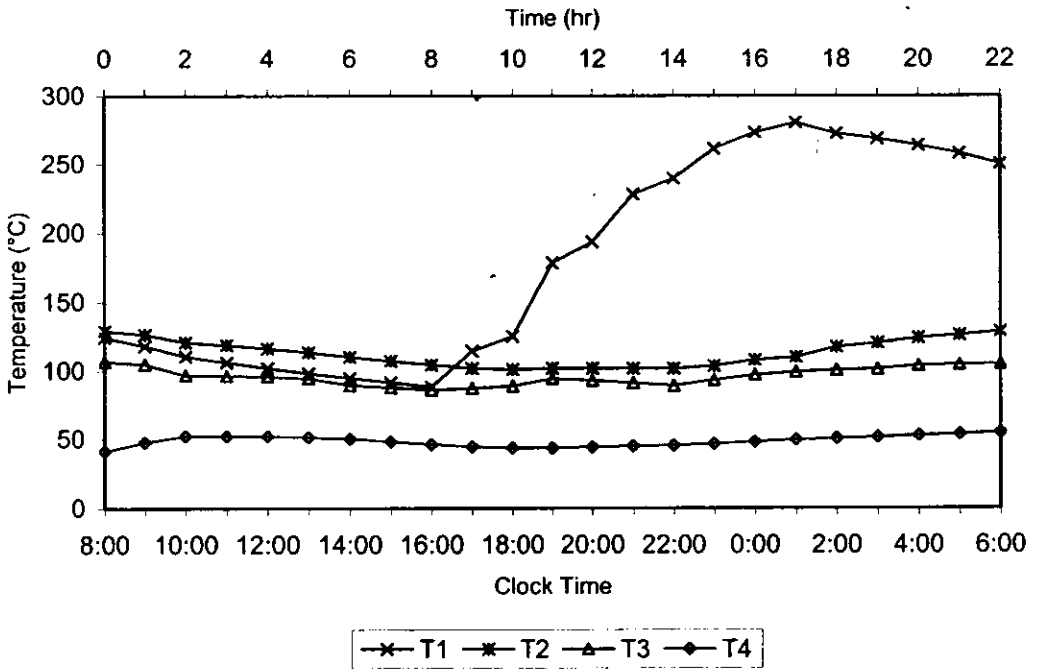
#### 3.6.1 การอบแห้งพริกครั้งที่ 1

การทดลองครั้งนี้ ได้ทำการอบแห้งพริกจำนวน 10 กก. ใส่ในถาดผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 ถาดโดยกระจายให้เท่าๆกัน เริ่มต้นอบที่เวลา 8:00 น. ด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ จนกระทั่งเวลา 16:00 น. ได้อบโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนจำนวน 30 กก.

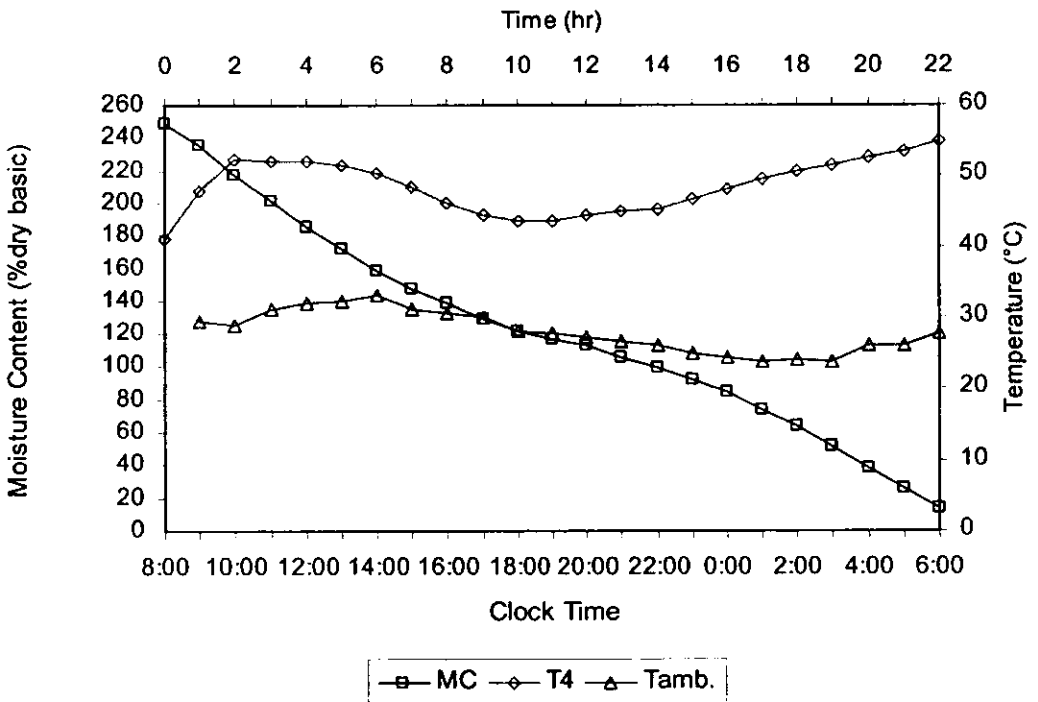
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.11-3.13 พบว่าอุณหภูมิของกาซร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่  $280^{\circ}\text{C}$  หลังจากเติมไม้ฟืนประมาณ 9 ชั่วโมง ได้ความร้อนสะสมในกองอิฐทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก  $100^{\circ}\text{C}$  เป็น  $128^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิของกาซร้อนไหลออกกองอิฐซึ่งเป็นอากาศที่อยู่รอบๆ คู้อบ มีค่าประมาณ  $86^{\circ}\text{C}$  -  $104^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิในคู้อบมีค่าประมาณ  $42^{\circ}\text{C}$  -  $52^{\circ}\text{C}$  ทำให้พริกแห้งภายในเวลา 22 ชั่วโมง โดยค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 285 % ฐานแห้ง เหลือ 13 % ฐานแห้ง ความเข้มของแสงอาทิตย์เวลา 8:00 น.-16.00 น. มีค่าประมาณ  $200$ - $1,000 \text{ W/m}^2$  บางช่วงเวลามีค่าต่ำกว่าปกติเนื่องท้องฟ้ามีเมฆ

#### ผลการอบพริกครั้งที่ 1

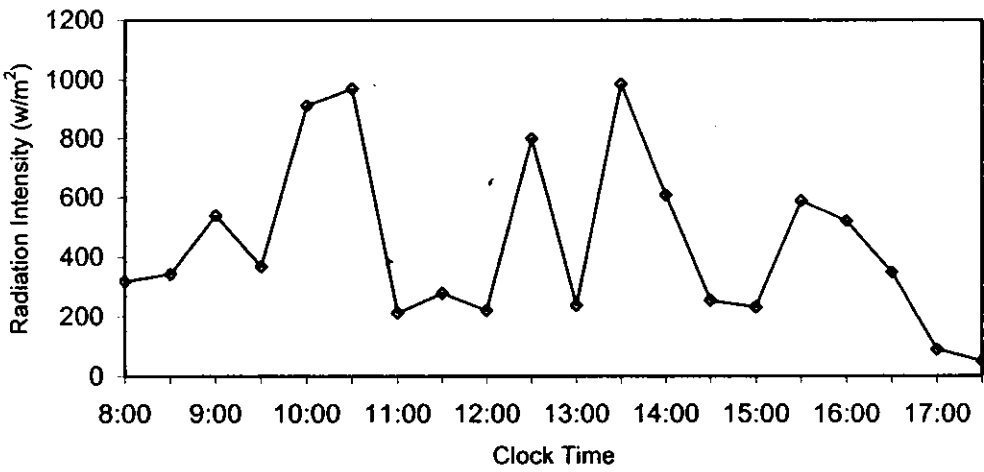
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	2.90	kg
เวลาในการอบแห้ง	22	hr
อุณหภูมิในคู้อบ	41-54	$^{\circ}\text{C}$
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	68.22	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	363.13	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	-	%
ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน	13.65	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	1.61	%



รูปที่ 3.11 อุณหภูมิก๊าซร้อนไหลเข้า (T1) อุณหภูมิกองอิฐ (T2) อุณหภูมิก๊าซร้อนไหลออก (T3) และอุณหภูมิในตู้อบแห้ง (T4) ของการอบแห้งพริกครั้งที่ 1



รูปที่ 3.12 ความชื้นของพริก (MC) อุณหภูมิในตู้อบ (T4) และอุณหภูมิมบรยากาศของการอบแห้งพริกครั้งที่ 1



รูปที่ 3.13 ความเข้มของแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 1

### 3.6.2 การอบแห้งพริกครั้งที่ 2

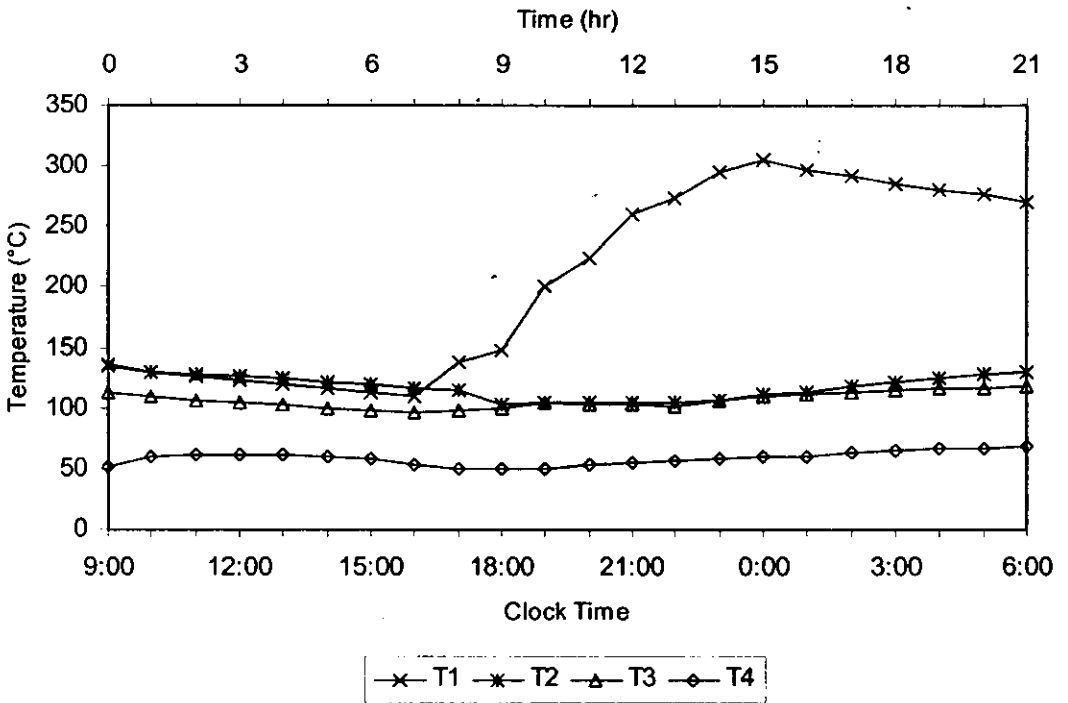
การทดลองครั้งนี้ได้ทำการอบแห้งพริกจำนวน 10 กก.เช่นเดียวกับการทดลองครั้งที่ 1 โดยใส่กระจายให้เท่าๆกันในและถาด เริ่มต้นอบที่เวลา 9:00 น. ด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และอบด้วยความร้อนจากไม้ฟืนจำนวน 50 กก. ตั้งแต่เวลา 16:00 น.

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.14-3.16 พบว่าอุณหภูมิของก๊าซร้อนไหลเข้ากองอิฐซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไม้ฟืนมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่ 305 °C หลังจากเติมไม้ฟืนประมาณ 9 ชั่วโมง ความร้อนที่สะสมในกองอิฐทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 103 °C เป็น 130 °C อุณหภูมิของก๊าซร้อนรอบๆ ตู้อบอยู่ประมาณ 97 °C -117 °C และอุณหภูมิในตู้อบประมาณ 43 °C -58 °C ทำให้พริกแห้งภายในเวลา 21 ชั่วโมง โดยค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 220 % ฐานแห้ง เหลือ 9.5 % ฐานแห้ง ความเข้มของแสงอาทิตย์เวลา 9:00 น.-14:00 น. มีค่าประมาณ 266-1,073 W/m<sup>2</sup> หลังจาก 14:00 น.

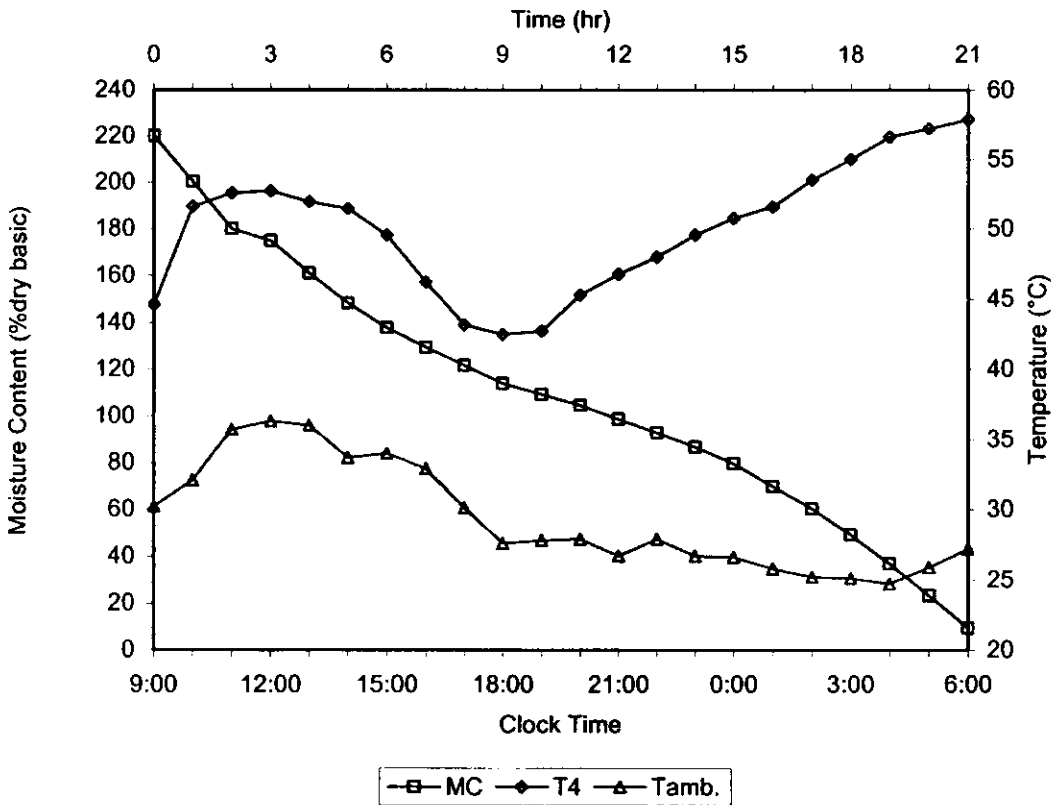
มีค่าต่ำเนื่องจากเมฆฝน

#### ผลการอบพริกครั้งที่ 2

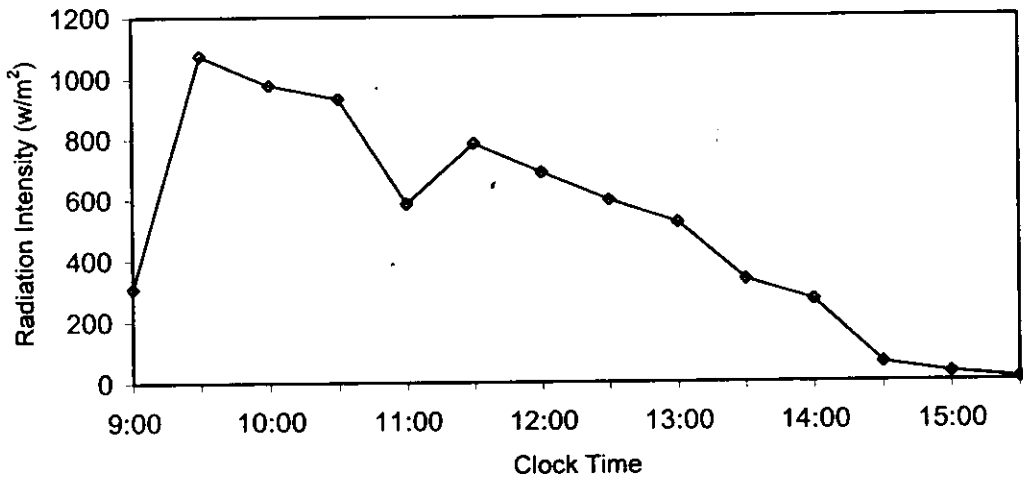
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	3.37	kg
เวลาในการอบแห้ง	21	hr
อุณหภูมิในตู้อบ	43-58	°C
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	55.55	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนย่างพารา	605.21	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	-	%
ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน	7.90	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	1.22	%



รูปที่ 3.14 อุณหภูมิก๊าซร้อนไหลเข้า (T1) อุณหภูมิของอิฐ (T2) อุณหภูมิก๊าซร้อนไหลออก (T3) และอุณหภูมิในตู้อบแห้ง (T4) ของการอบแห้งพริกครั้งที่ 2



รูปที่ 3.15 ความชื้นของพริก (MC) อุณหภูมิในตู้อบ (T4) และอุณหภูมิบรรยากาศของการอบแห้งพริกครั้งที่ 2



รูปที่ 3.16 ความเข้มของแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 2

### 3.6.3 การอบแห้งพริกครั้งที่ 3

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการอบแห้งพริกจำนวน 20 กก. โดยใส่กระจายให้เท่าๆกันในและ ถาด เริ่มต้นอบที่เวลา 9:00 น. ด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจนกระทั่งพริกแห้ง

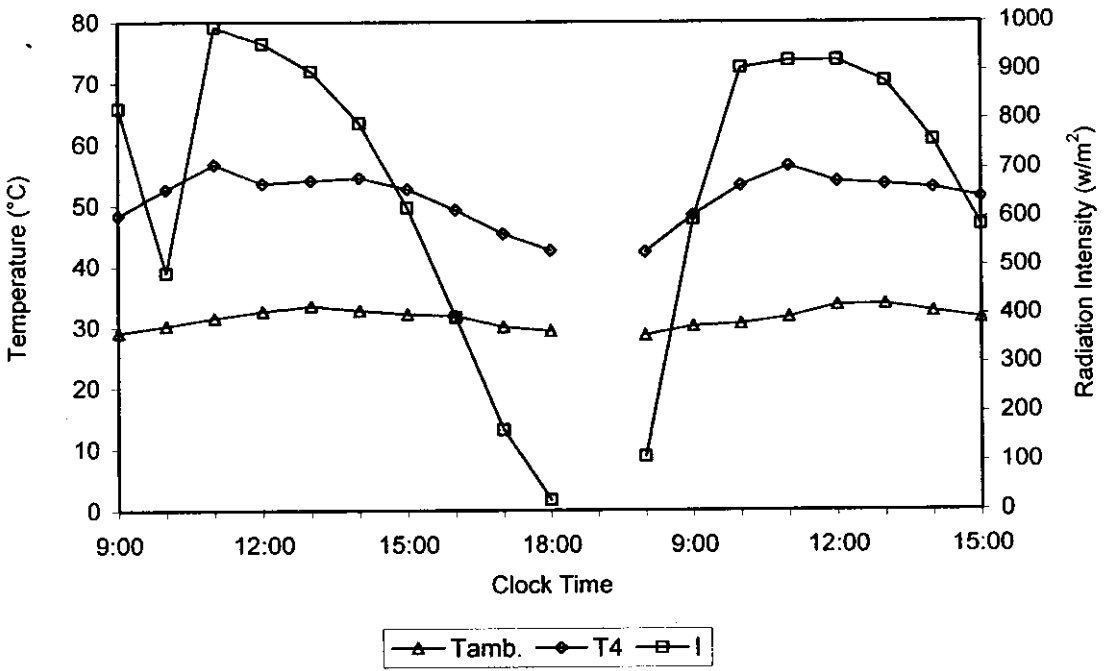
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.17-3.18 พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบในช่วงกลางวันของวันแรกประมาณ 45°C – 57°C และช่วงกลางวันของวันที่ 2 อุณหภูมิประมาณ 47°C – 56°C เวลาที่ใช้อบพริกจนจนกระทั่งแห้งเท่ากับ 30 ชม. รวมเวลากลางคืน และเวลาที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่ากับ 16 ชม. ความเข้มของแสงอาทิตย์วันแรกสูงสุดเท่ากับ 990 W/m<sup>2</sup> และวันที่ 2 เท่ากับ 920 w/m<sup>2</sup> โดยที่ความชื้นของพริกลดลงจาก 243 % ฐานแห้ง เหลือ 13.4 % ฐานแห้ง

#### ผลการอบแห้งพริกครั้งที่ 3

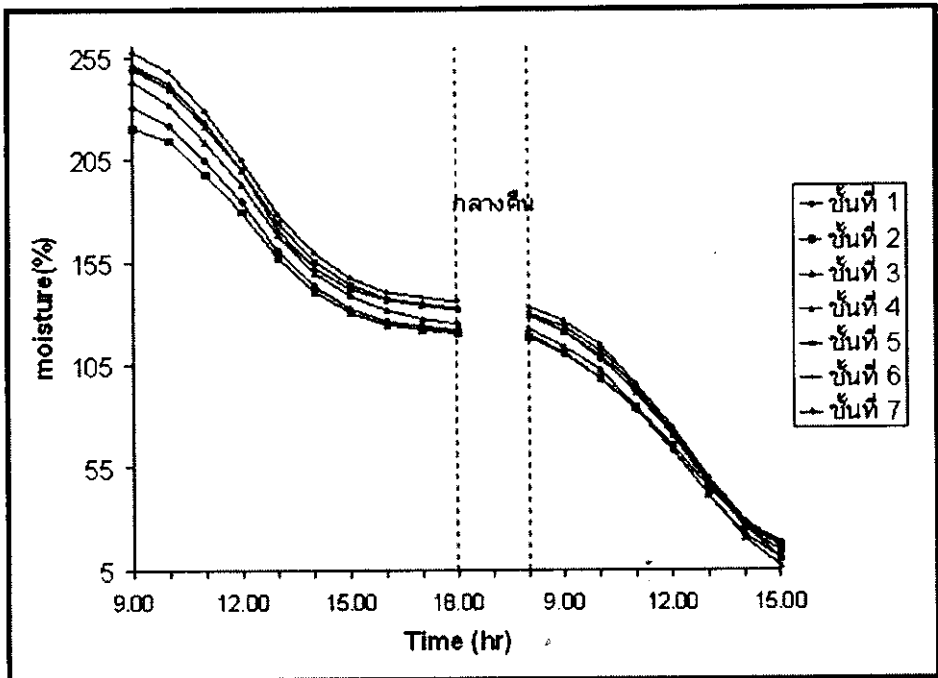
การทดลองนี้ได้ทำการอบแห้งพริกจำนวน 20 กก. โดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ได้ผลการทดลองดังนี้

ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	13.9	kg
เวลาในการอบแห้ง	16	hr
อุณหภูมิในตู้อบ	45-57	°C
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	166.21	MJ
ประสิทธิภาพแผ่รังสีแสงอาทิตย์	56.74	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	19.90	%





รูปที่ 3.17 อุณหภูมิบรรยากาศ (Tamb.) อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (T4) และ ความเข้มแสงอาทิตย์ (I) ของการอบแห้งพริกครั้งที่ 3



รูปที่ 3.18 ความชื้นของพริก ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 3

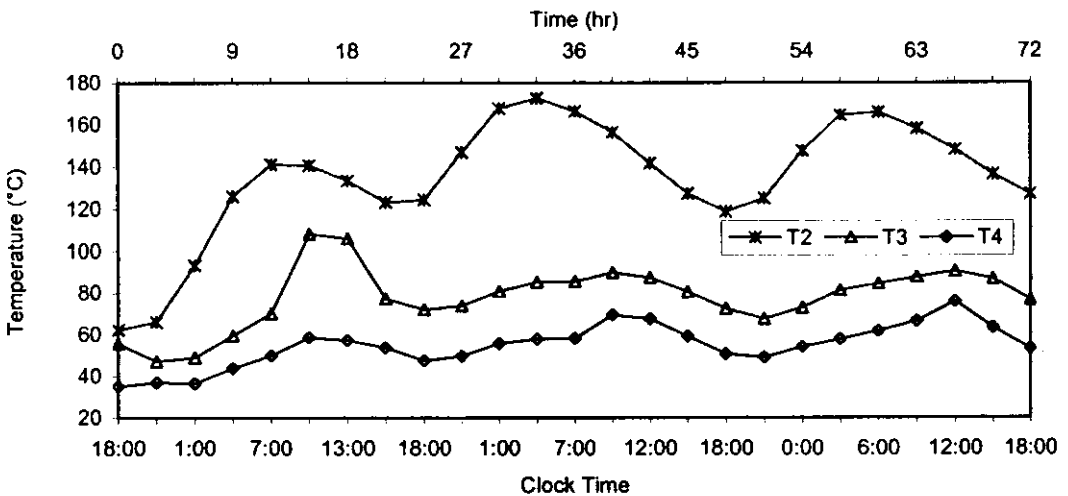
### 3.6.4 การอบแห้งกล้วยครั้งที่ 1

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการอบกล้วยน้ำหว้าจำนวน 70 กก. โดยใส่กระจายให้เท่า ๆ กันในแต่ละถาด เริ่มต้นอบที่เวลา 18:00 น. ด้วยความร้อนจากไม้ฟืนเวลากลางคืน และแสงอาทิตย์เวลากลางวัน โดยใช้ไม้ฟืนทั้งหมด 180 กก. ซึ่งแบ่งเติมครั้งละ 60 กก. ที่เวลา 18:00 น. ของทุกวัน

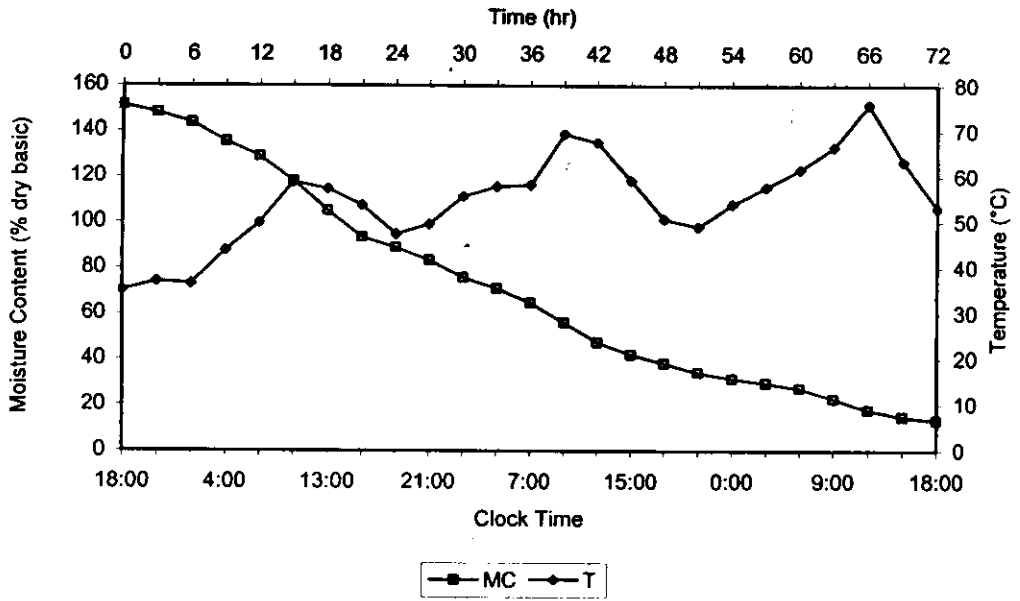
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่-3.19-3.21 พบว่าอุณหภูมิของกองอิฐจะเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการเติมไม้ฟืน โดยมีค่าสูงสุดที่ 172 °C อุณหภูมิของกาชร้อนรอบๆ ตู้มีค่าประมาณ 70 °C-90 °C และอุณหภูมิในตู้อบมีค่าประมาณ 43 °C – 75 °C กล้วยแห้งภายในเวลา 72 ชม. โดยค่าความชื้นลดลงจาก 151 % ฐานแห้ง เหลือ 13 % ฐานแห้ง ความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดในตอนเที่ยงของทุกวัน โดยมีค่าประมาณ 900-1,100 w/m<sup>2</sup>

ผลการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 1

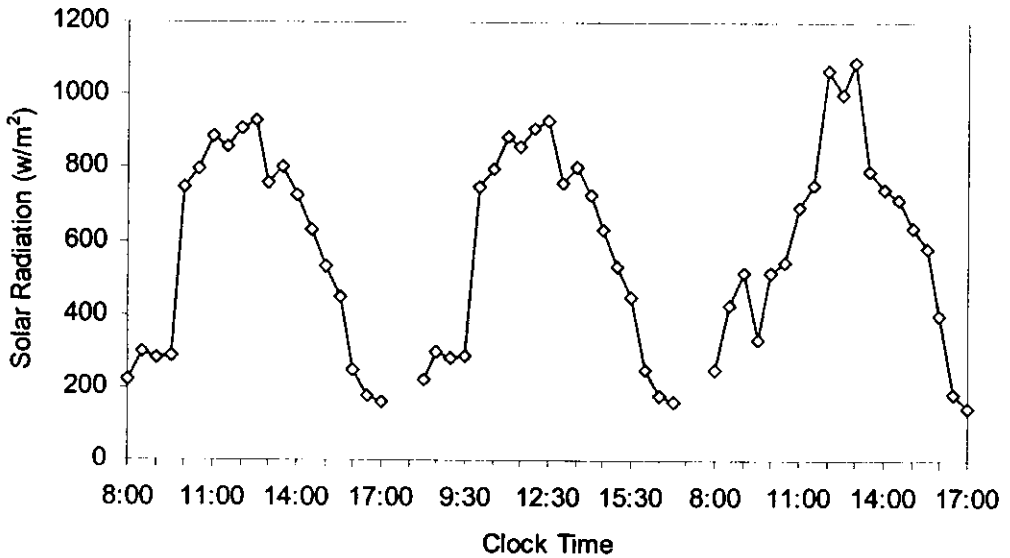
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากกล้วย	28.96	kg
เวลาในการอบแห้ง	72	hr
อุณหภูมิในตู้อบ	40-79	°C
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	764.64	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนย่างพารา	1,232.6	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	-	%
ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน	19.18	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	3.45	%



รูปที่ 3.19 อุณหภูมิกองอิฐ (T2) อุณหภูมิก๊าซร้อนจากกองอิฐ (T3) และอุณหภูมิในตู้อบ (T4) ในการอบกล้วยครั้งที่ 1



รูปที่ 3.20 ความชื้นของกล้วย (MC) และอุณหภูมิในตู้อบ (T) ในการการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 1



รูปที่ 3.21 ความเข้มของแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 1

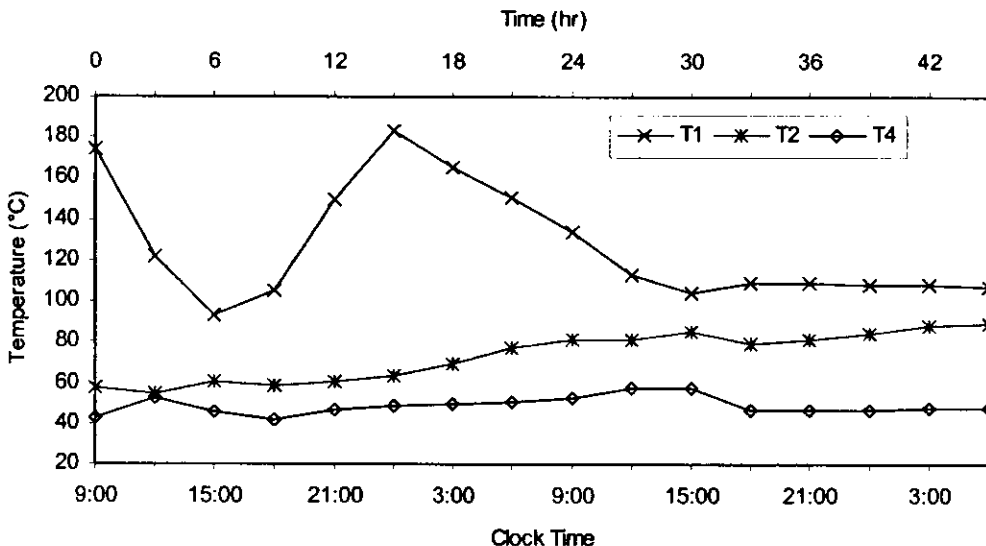
### 3.6.5 การอบแห้งกล้วยครั้งที่ 2

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการอบกล้วยเล็บมือนางจำนวน 10 กก. โดยใส่กระจายให้เท่าๆกัน ในแต่ละถาด เริ่มต้นอบที่เวลา 9:00 น. ด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์ และอบด้วยความร้อนจากไม้ ฟืนจำนวน 100 กก. ตั้งแต่เวลา 16.00 น.

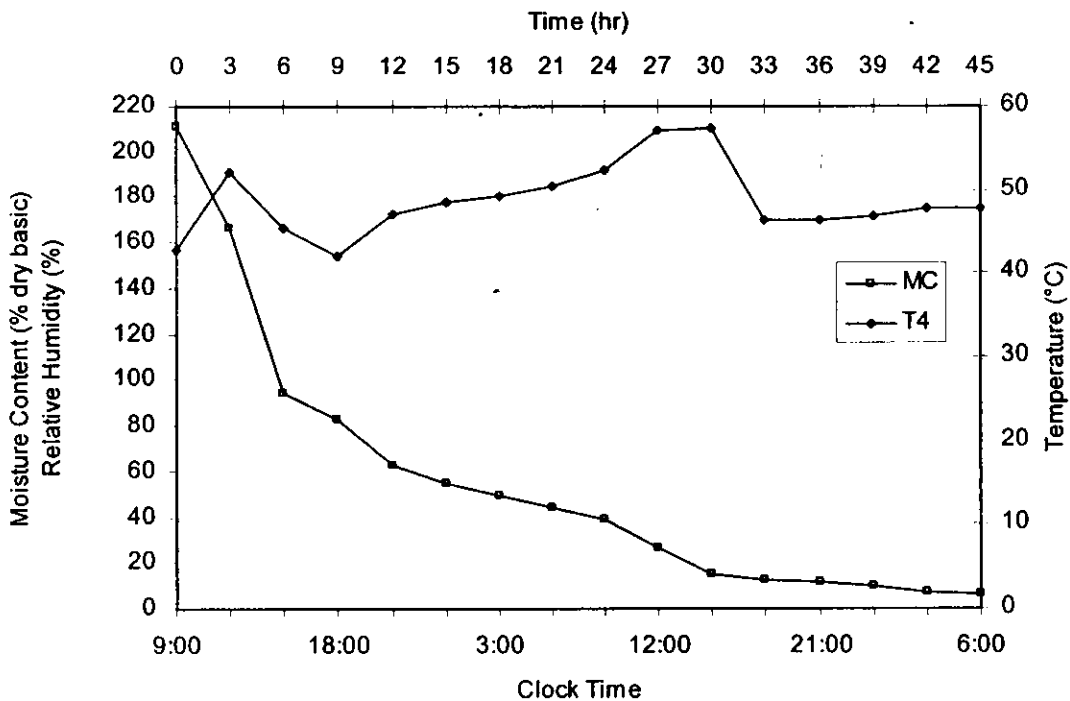
ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.23-3.25 พบว่า อุณหภูมิของกาสร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืน มีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 180 °C หลังจากเติมไม้ฟืนประมาณ 9 ชั่วโมง ความร้อนที่สะสมในกองอิฐทำ ได้อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 90 °C และอุณหภูมิในตู้อบประมาณ 43 °C – 58 °C กล้วยแห้งภายใน เวลา 45 ชั่วโมง โดยค่าความชื้นลดลงจาก 210 % ฐานแห้ง เหลือ 6.4% ฐานแห้ง ความเข้มของ แสงอาทิตย์วันแรกของการอบมีค่าประมาณ 266-1,220 W/m<sup>2</sup>วันที่สองของการอบมีค่าประมาณ 185-1,000 w/m<sup>2</sup>

#### ผลการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 2

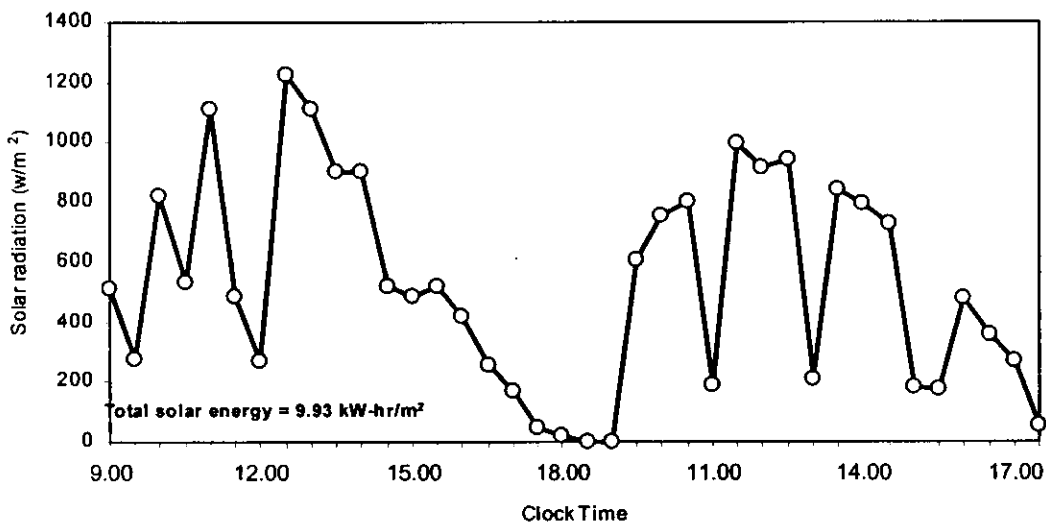
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากกล้วย	3.37	kg
เวลาในการอบแห้ง	45	hr
อุณหภูมิในตู้อบ	43-58	°C
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	151.18	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนขางพารา	1,147.54	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	-	%
ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน	5.30	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	0.62	%



รูปที่ 3.22 อุณหภูมิก๊าซร้อนก่อนเข้ากองอิฐ (T1) อุณหภูมิกองอิฐ (T2) และอุณหภูมิในตู้อบ (T4) ในการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 2



รูปที่ 3.23 ความชื้นของกล้วย (MC) และอุณหภูมิในตู้อบ(T4) ในการการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 2



รูปที่ 3.24 ความเข้มของแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งกล้วยครั้งที่ 2

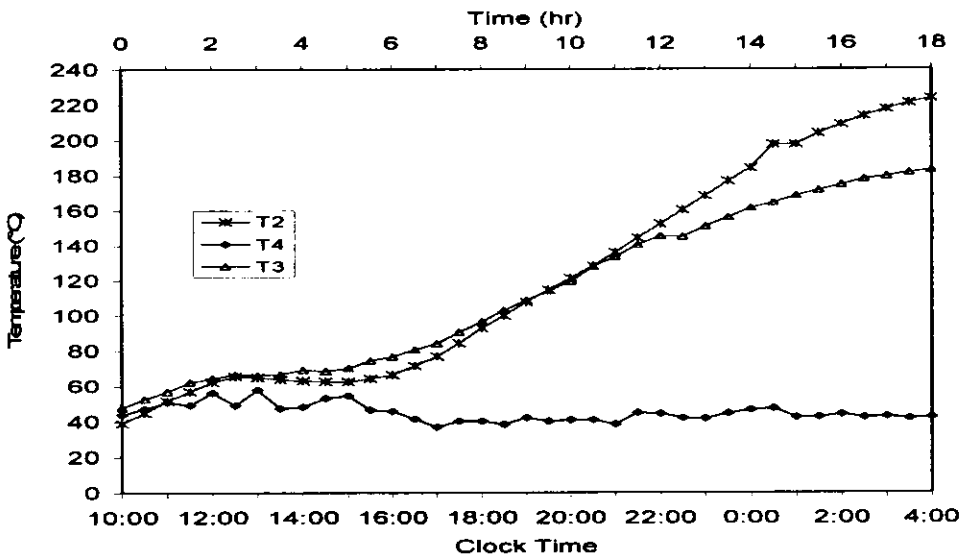
### 3.6.6 การอบแห้งใบมะกรูด

การทดลองครั้งนี้ ได้ทำการอบใบมะกรูดจำนวน 3.15 กก. โดยใส่ในถาดใส่ผลิตภัณฑ์ของคู่อบทั้ง 7 ถาดในปริมาณเท่ากัน ใช้แสงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน และใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนจำนวน 60 กก. โดยใส่ในช่วงกลางคืนเวลา 18:00 น. ในวันอบแห้งและก่อนอบแห้ง 1 วัน

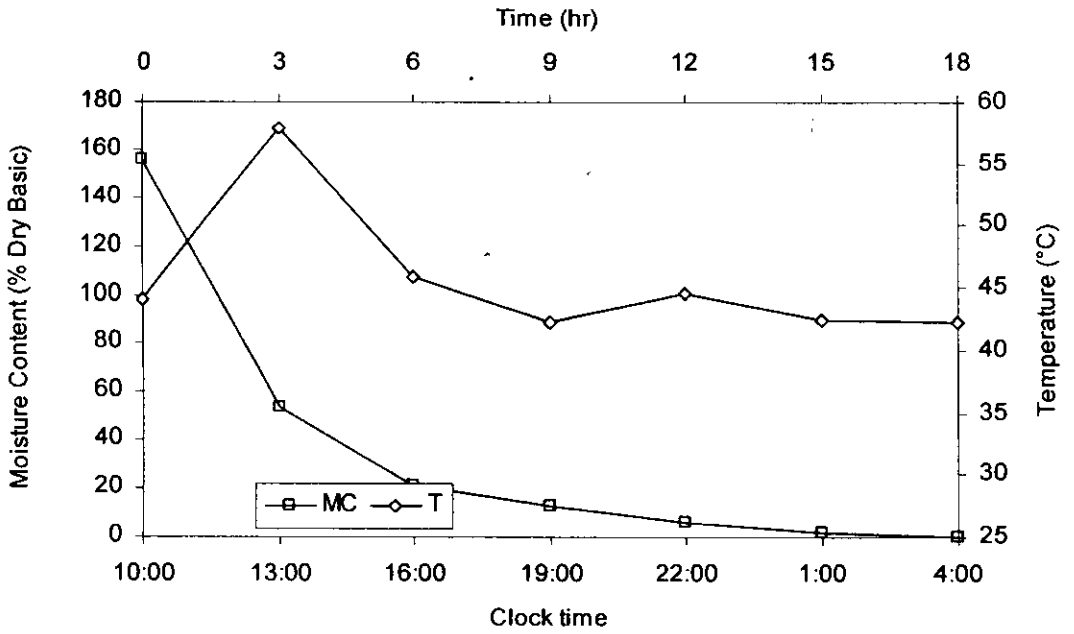
ผลการทดลองพบว่า ใบมะกรูดแห้งภายในเวลา 9 ชั่วโมง จากความชื้น 15.6% ฐานแห้งลดลงเหลือ 13 % ฐานแห้ง จากรูปที่ 3.26 อุณหภูมิภายในกองอิฐจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น อุณหภูมิภายในคู่มือค่าอยู่ในช่วง 40-58 °C เหมาะสำหรับการใช้ออบแห้งใบมะกรูด ความชื้นของใบมะกรูดลดลงเร็วในช่วง 3 ชั่วโมงแรก อุณหภูมิในคู่มือสูงสุด 57 °C ที่เวลา 13.00 น. เนื่องจากได้รับความร้อนเสริมจากแสงอาทิตย์ ความเข้มแสงอาทิตย์สูงในช่วงเช้า 805-970 W/m<sup>2</sup> และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงบ่าย เพราะท้องฟ้ามีเมฆฝน

#### ผลการอบแห้งใบมะกรูด

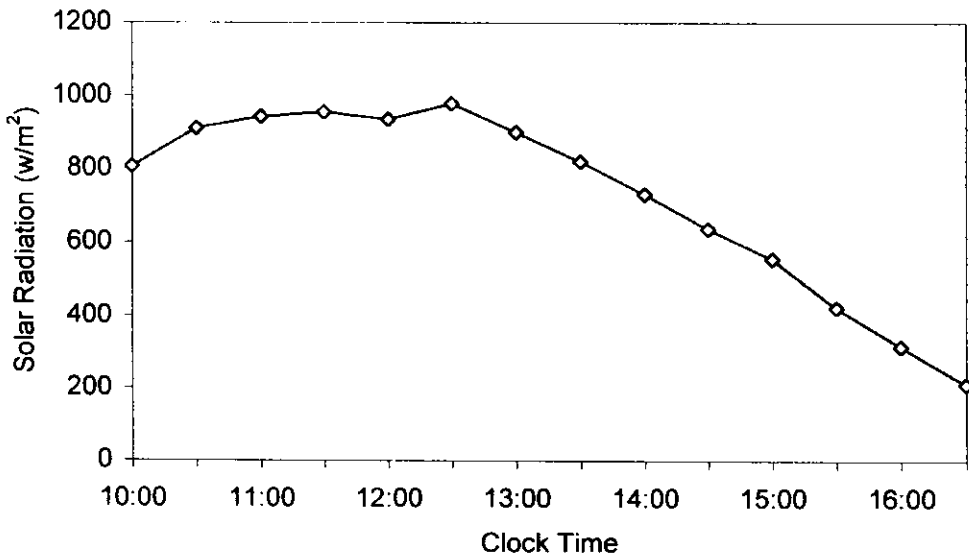
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากใบมะกรูด	3.01	kg
เวลาในการอบแห้ง	18	hr
อุณหภูมิในคู่อบแห้ง	40-58	°C
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	75.39	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนย่างพารา	660	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	-	%
ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน	43.18	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	0.98	%



รูปที่ 3.25 อุณหภูมิกองอิฐ (T2) อุณหภูมิก๊าซร้อนจากกองอิฐ(T3) และอุณหภูมิในคู่อบ (T4) ในการอบแห้งใบมะกรูด



รูปที่ 3.26 ความชื้นของใบมะกรูด (MC) และอุณหภูมิในตู้อบ(T) ในการอบแห้ง



รูปที่ 3.27 ความเข้มของแสงอาทิตย์ ในการอบแห้งใบมะกรูด

### 3.7 สรุปผลการอบแห้งผลิตภัณฑ์

จากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด คือ พริกชี้หนู กล้วยเล็บมือนาง และ ใบมะกรูด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 และพบว่า เมื่อใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับไม้อืน เครื่องอบแห้งแบบตูมมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 1-3% มีประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน 5-43% การใส่ไม้อืนแต่ละครั้งสามารถรักษาอุณหภูมิตู้อบได้กว่า 12 ชั่วโมง การถ่ายโอนความร้อนระหว่างก๊าซร้อนและกองอัฐเก็บกักความร้อน ยังมีประสิทธิภาพต่ำ เป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบค่อนข้างต่ำ เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ 42-67%

ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่า สีของพริก และใบมะกรูดหลังการอบ มีสีสดใสกว่า การอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์และแบบชั้นบันได ซึ่งพริกและใบมะกรูดได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง

ตารางที่ 3.2 สรุปผลการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้งแบบตูม

ชนิดผลิตภัณฑ์	ปริมาณน้ำระเหย (กก.)	เวลาอบแห้ง (ชม.)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ (MJ)	ปริมาณความร้อนจากไม้อืน (MJ)	ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (%)	ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน (%)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง (%)
พริกครั้งที่ 1	2.90	22	42-45	68.22	363.1	-	13.65	1.61
พริกครั้งที่ 2	3.37	21	43-58	55.55	605.2	-	7.90	1.22
พริกครั้งที่ 3*	13.90	16	45-57	166.21	-	56.74	-	19.90
กล้วยครั้งที่ 1	28.96	72	40-79	764.64	1232.6	-	19.18	3.45
กล้วยครั้งที่ 2	3.37	45	43-58	151.18	1147.5	-	5.30	0.62
ใบมะกรูด*	3.01	18	40-58	75.39	660.0	-	43.18	0.98

\* หมายถึง ใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียว



### 3.8 ต้นทุนเครื่องอบแห้งแบบตู้

เครื่องอบแห้งแบบตู้ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ มีราคาวัสดุรวมทั้งสิ้น 39,535 บาทดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ราคาวัสดุเครื่องอบแห้งแบบตู้

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
<b>1. ตู้อบ</b>			
- เหล็กสแตนเลสแผ่นหนา 1.2 มม.	5 แผ่น	3,600	18,000
- ชุดบานพับ	1 บาน	1,000	1,000
- อื่นๆ		700	700
- ภาดผลิตภัณฑ์	7 ภาด		2500
รวม			4,200
<b>2. ชุดกักเก็บและเตา</b>			
- อิฐแดง	3,500 ก้อน	1.55	5,425
- ประตูเตา	1 บาน	500	500
- ทราาย	1 ลบ.ม.	370	370
- ปูนซีเมนต์	1 กระสอบ	120	125
- ปูนทนไฟ	1 กระสอบ	1,280	1,280
- ดินทนไฟ	2 กระสอบ	300	600
- กระเบื้องแผ่นเรียบ	6 แผ่น	200	1,200
รวม			9,500
<b>3. ชั้นวาง</b>			
- เหล็กสแตนเลสเพลากลวง $\phi$ 1/4 "	5 เส้น	280	1,400
- อื่นๆ		400	400
รวม		1,800	1,800
<b>4. ปล่องควัน</b>			
- ท่อสังกะสี $\phi$ 6" หนา 3 มม. ยาว 6 ม.	1 ท่อน	380	380
รวม			380
<b>5. แผงรับรังสี</b>			
- เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม 1"x1" ยาว 6m	10 เส้น	128	1,280
- กระจก หนา 6mm 1m x 1.5m	3 แผ่น	700	2,100
- อะลูมิเนียมแผ่น เบอร์ 30	7 แผ่น	325	2,275
รวมสุทธิ			39,535