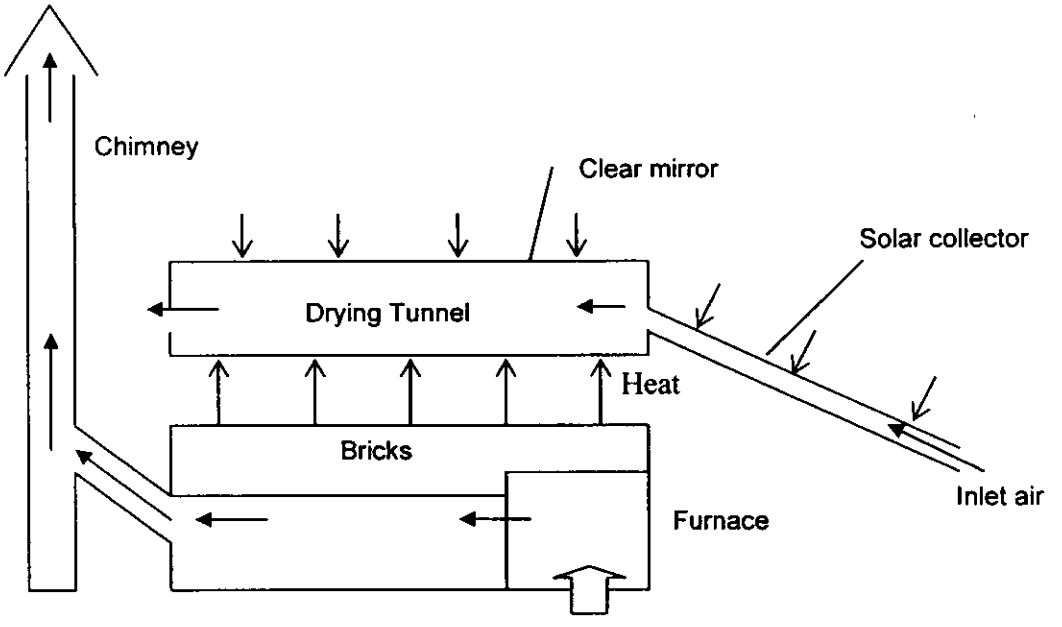
4. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแบบอุโมงค์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ์บอุโมงค์ เป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง เหมาะสำหรับการอบแห้งภายในหนึ่งวัน การวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาการเก็บกักความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งชนิดนี้ และติดตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ที่ทางอากาศเข้า เพื่อสร้างแรงผลักให้เกิดการไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในขณะอบแห้ง

4.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

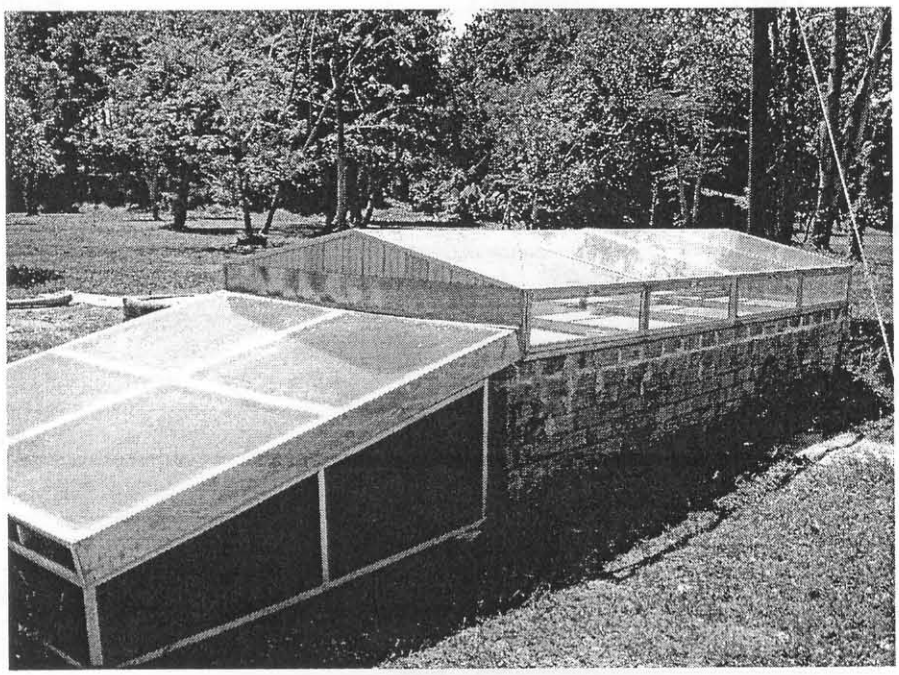
เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่ออกแบบ ประกอบด้วย 3 อุปกรณ์หลัก คือ อุโมงค์อบแห้ง ซึ่งมีขนาด 2 m x 4 m แผงรับแสงอาทิตย์ (solar collector) ซึ่งมีขนาด 2 m x 2 m และกองอิฐเก็บกักความร้อน ซึ่งมีอิฐ 2500 ก้อน ดังในรูปที่ 4.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้ง แบ่งเป็นสองช่วง คือ ช่วงมีแสงอาทิตย์ และช่วงไม่มีแสงอาทิตย์ ในช่วงมีแสงอาทิตย์จะใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผลิตภัณฑ์โดยตรง กับที่ตกกระทบบนแผงรับแสงอาทิตย์ เสริมกับความร้อนจากกองอิฐ ที่ถ่ายโอนความร้อนให้ผ่านพื้นล่างของอุโมงค์ ในช่วงไม่มีแสงอาทิตย์ จะใช้ความร้อนจากกองอิฐเพียงอย่างเดียว ซึ่งความร้อนจากกองอิฐได้มาจากก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนที่เตาเผา



รูปที่ 4.1 แผนภาพของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

เมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบกับแผงรับรังสี(solar collector) ซึ่งมีแผ่นโลหะทาสีดำทำหน้าที่สะสมความร้อนไว้ในแผง จนเมื่ออุณหภูมิในแผงเริ่มสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ จะเกิดความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศ และแผงวางตัวทำมุมกับแนวระดับ ทำให้เกิดการไหลของอากาศจากภายนอกเข้าไปภายในแผงรับรังสี มวลอากาศที่ผ่านเข้าไปในแผงจะพาความร้อนที่สะสมในแผงเข้าสู่ตู้อบแห้ง ทำให้อุณหภูมิในตู้สูงขึ้นจนสามารถระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ออกไปทางช่องเปิดด้านตรงข้ามกับแผงรับแสงอาทิตย์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งในที่สุด

ในช่วงเวลากลางคืนปราศจากแสงจากดวงอาทิตย์กระบวนการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จะหยุดลง จำเป็นต้องอาศัยแหล่งพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน โดยการเผาไม้ฟืนที่เตาซึ่งวางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวของแผงรับรังสี ดังรูปที่ 4.1 ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิอากาศรอบ ๆ เครื่องอบแห้งจะลดต่ำลง เพื่อรักษาอุณหภูมิในตู้อบให้อยู่ในระดับเพียงพอสำหรับการอบแห้งอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องปิดช่องอากาศเข้าที่แผงรับแสงอาทิตย์ ให้อากาศไหลเข้าที่ประตูของเตาเผาเพียงช่องทางเดียว หลังจากเผาไม้ฟืน ความร้อนจากเตาจะไหลตรงเข้าหาชุดสะสมในทิศทางตั้งฉากกับทิศการไหลของอากาศจากแผงรังรังสี และไหลเปลี่ยนทิศทางเข้าสู่กองอิฐเก็บกักความร้อนไปสู่ตำแหน่งที่ติดตั้งปล่องควัน ขณะที่อากาศร้อนไหลผ่านกองอิฐความร้อนบางส่วนจะสะสมในกองอิฐ และความร้อนอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านก้อนอิฐขึ้นสู่ด้านบน แล้วถ่ายเทให้กับตู้อบทำให้อุณหภูมิในตู้ไม่ลดต่ำลงจากเวลากลางวัน สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งคืน

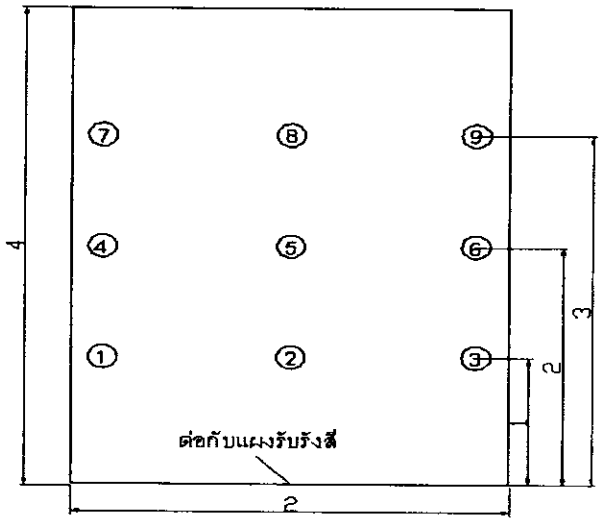


รูปที่ 4.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานแบบอุโมงค์

4.2 การทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์

ในการทดสอบจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ซึ่งในแต่ละครั้งที่ทดสอบมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

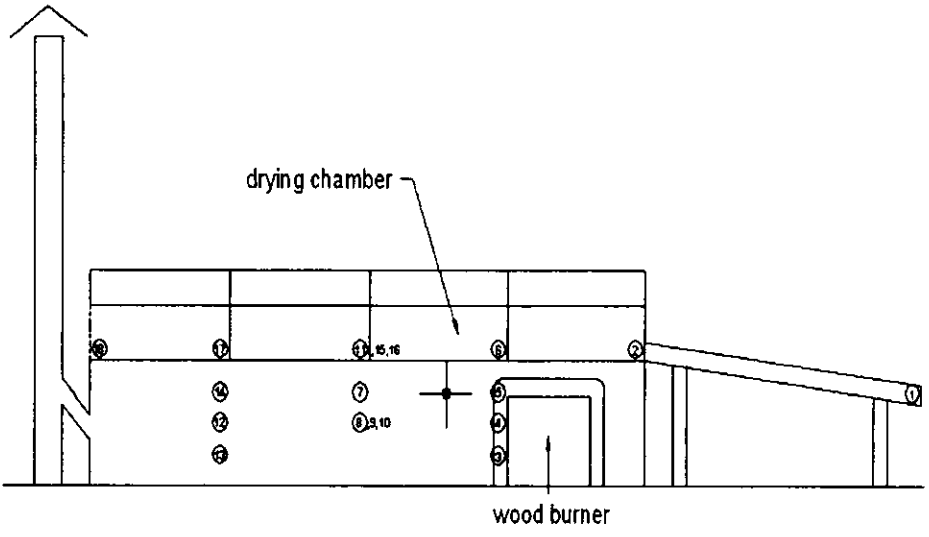
1. เผาไม้ฟืนก่อนการอบแห้ง 12 ชั่วโมง



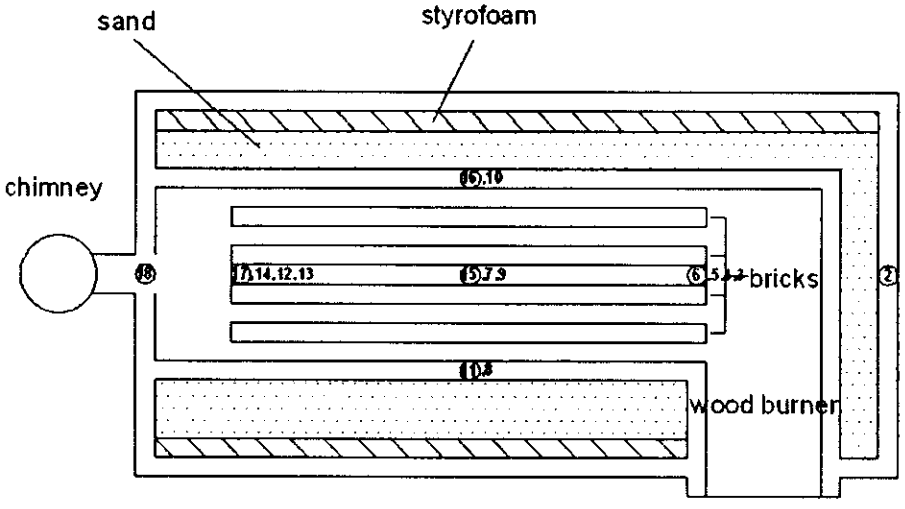
รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งวางถ้วยตัวอย่างผลิตภัณฑ์

2. นำผลิตภัณฑ์มาเกลี่ยใส่ถาดให้กระจายทั่วทั้ง 8 ถาดที่ใช้อบผลิตภัณฑ์
3. ชั่งหามวลของถ้วยอลูมิเนียมทั้ง 9 ถ้วย ก่อนจะสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ใส่ถ้วยแล้วนำมาชั่งเพื่อหามวลของตัวอย่าง
4. นำถ้วยตัวอย่างมาวางในถาดที่ใช้อบผลิตภัณฑ์ โดยวางในตำแหน่งดังรูปที่ 4.3
5. นำถาดที่ใช้อบผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ถาด วางในตู้อบ แล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในตู้อบ อุณหภูมิกองอิฐ ความเข้มแสง ความเร็วลมที่ทางเข้าแผงรับรังสี และความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้
   - วัดความเข้มแสงทุก ๆ 30 นาที ในตอนกลางวัน โดยจดบันทึกค่าความเข้มแสงในตอนเริ่มอบด้วย
   - วัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศทุก ๆ ชั่วโมง
   - วัดอุณหภูมิภายในตู้อบ และอุณหภูมิกองอิฐทุก ๆ ชั่วโมง
   - วัดความเร็วลมที่ทางเข้าแผงรับรังสีทุก ๆ ชั่วโมง
6. นำถ้วยตัวอย่างทั้ง 9 ถ้วย มาชั่งทุก ๆ ชั่วโมง

7. ทำการทดลองอบผลิตภัณฑ์จนมวลของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เริ่มคงที่ จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนผลิตภัณฑ์แห้งสนิท เพื่อหาค่าความชื้น %ฐานแห้ง
8. สุ่มตัวอย่างไม้ฟืนมาอบแห้งหา ความชื้น %ฐานแห้ง เพื่อคำนวณค่าความร้อนของไม้ฟืนที่ใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล เพื่อวัดอุณหภูมิในกองอิฐ ในตู้อบ และในแผงรับแสงอาทิตย์ (a) มุมมองด้านข้าง (b) มุมมองด้านบน

4.3 ผลทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์

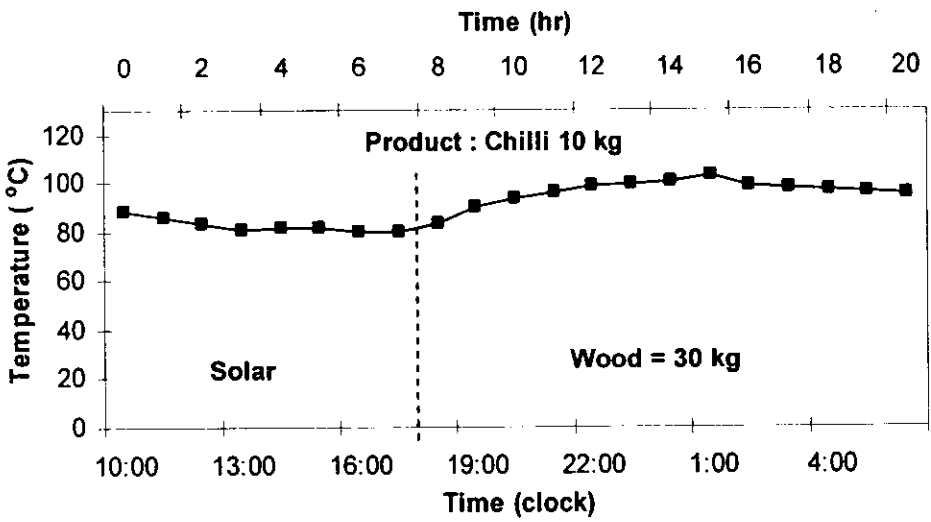
เพื่อทราบถึงสรรถนะในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของเครื่องอบแห้ง จึงได้ทำการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ พริก(chilli) กล้วยเล็บมือนาง(banana) และใบมะกรูด (Leech lime leaf) ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ประกอบด้วย การอบแห้งพริก จำนวน 3 ครั้ง การอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง จำนวน 1 ครั้ง และการอบแห้งใบมะกรูด จำนวน 1 ครั้ง

4.3.1 การอบแห้งพริก ครั้งที่ 1

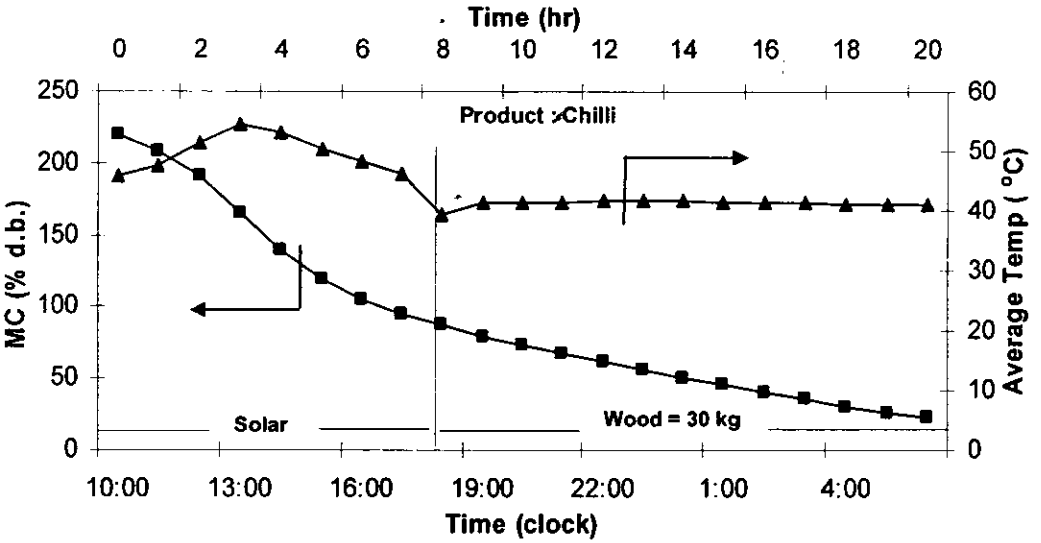
ในการทดลองครั้งนี้ใช้พริก จำนวน 10 กก. อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบในช่วงกลางวันประมาณ 50 °C ในช่วงกลางคืน เวลา 18:00 น. ทำการเผาไม้ฟืนจำนวน 30 กก. อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 43 °C พบว่า พริกแห้งจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 16% ฐานแห้ง สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ขององค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข โดยใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง

สรุปผลการอบแห้งพริกในครั้งที่ 1 ดังนี้

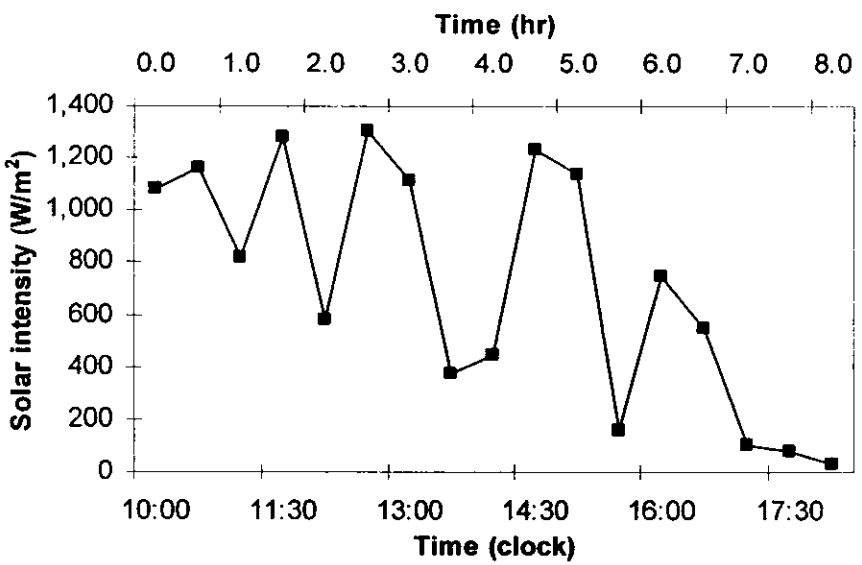
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	7.2	kg
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	201.10	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	363.13	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์	39.89	%
ประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน	34.71	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	2.88	%



รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในกองอิฐ ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 1



รูปที่ 4.6 ความชื้นของพริกและอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 1



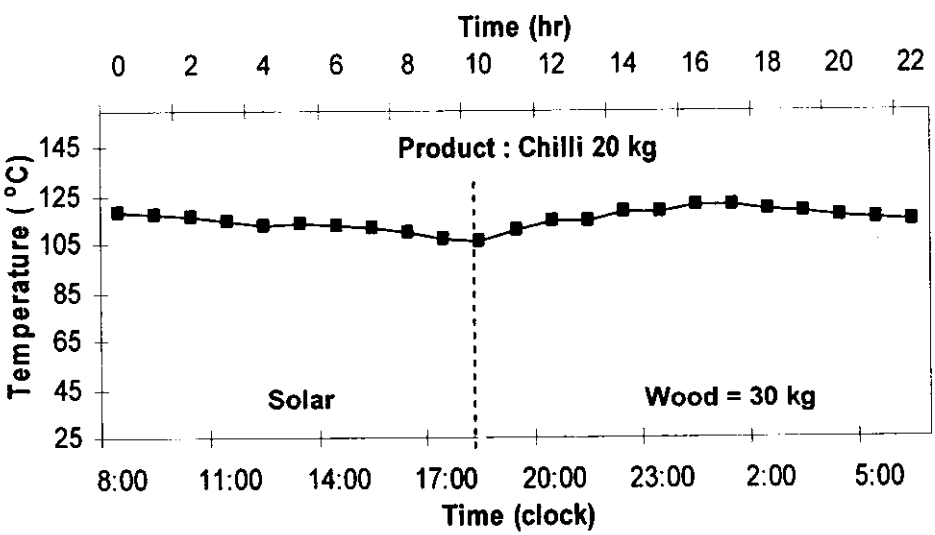
รูปที่ 4.7 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 1

4.3.2 การอบแห้งพริก ครั้งที่ 2

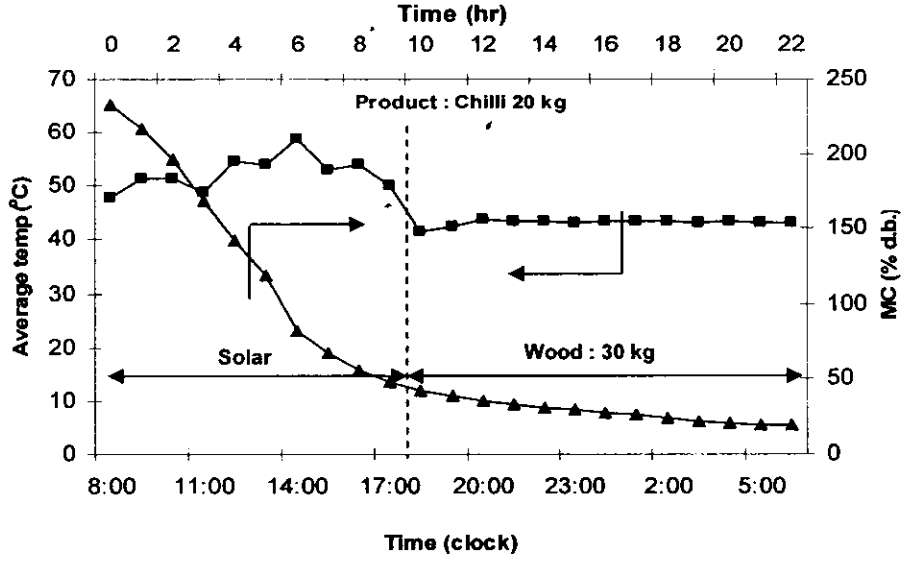
ในการทดลองครั้งนี้ใช้พริก จำนวน 20 kg อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบในช่วงกลางวันประมาณ 50 °C ในช่วงกลางคืน เวลา 18:00 น. ทำการเผาไม้ฟืนจำนวน 30 กก. อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 48.5 °C พบว่า พริกแห้งจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 16% ฐานแห้ง สอดคล้องกับมาตรฐานของ อย. โดยใช้เวลาประมาณ 22 ชั่วโมง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของพริกและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ ที่เวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.7 ค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของบรรยากาศแสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 คือปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการอบแห้งพริกในครั้งที่ 2 ดังนี้

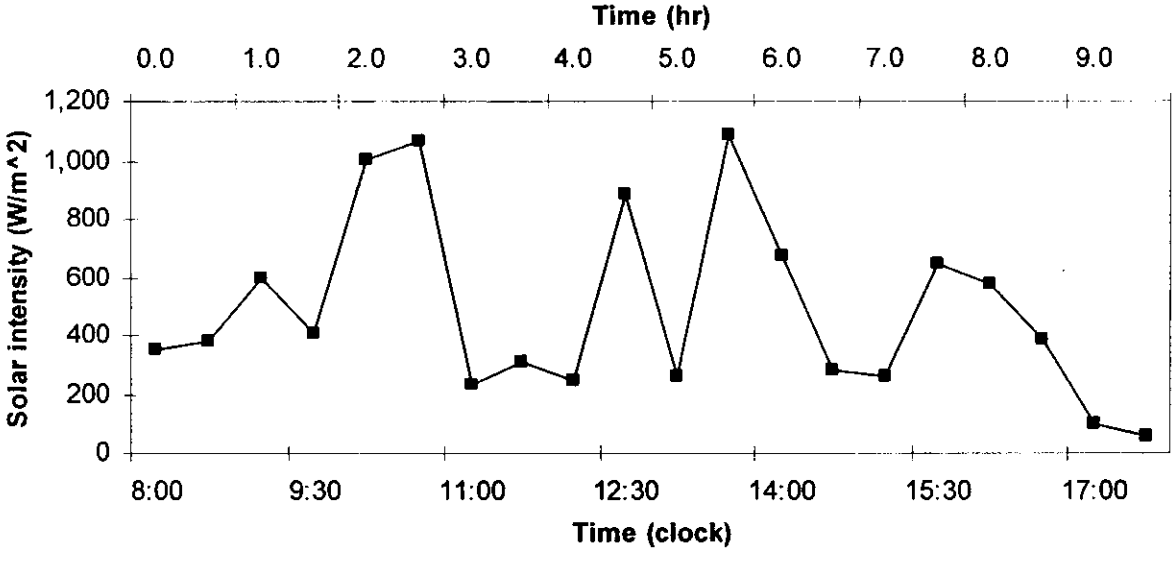
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	14.1	kg
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	248.7	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	363.1	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์	40.64	%
ประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน	43.60	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	5.21	%



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในกองอิฐ ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 2



รูปที่ 4.9 ความชื้นของพริกและอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง ในการอบแห้งพริกครั้งที่ 2



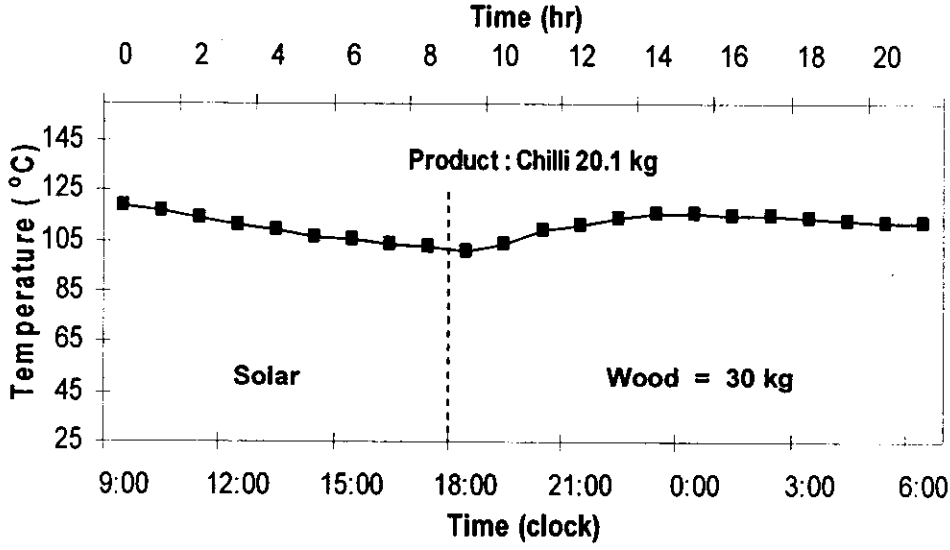
รูปที่ 4.10 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งพริกครั้งที่ 2

4.3.3 การอบแห้งพริก ครั้งที่ 3

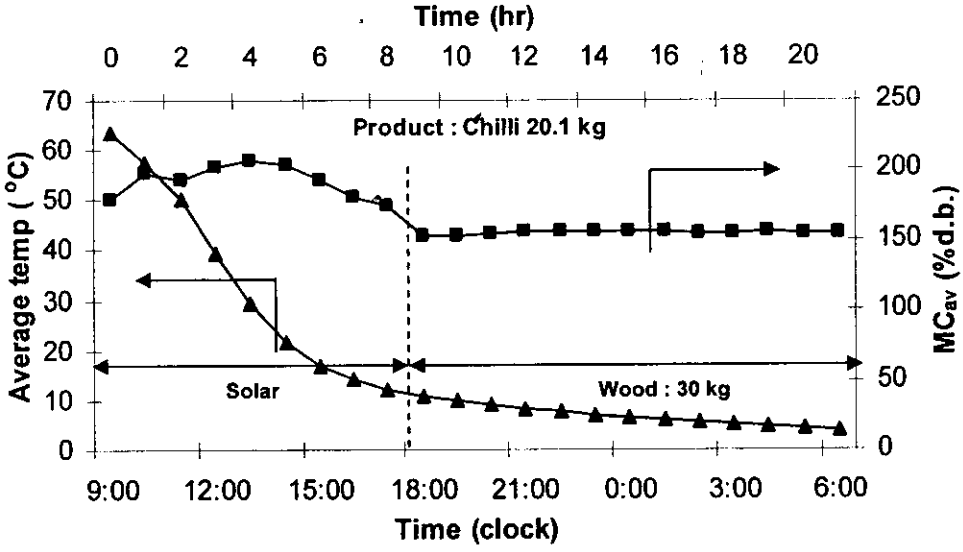
ในการทดลองครั้งนี้ใช้พริก จำนวน 20.1 kg อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ 49.2 °C ในช่วงกลางคืน เวลา 18:00 น. ทำการเผาไม้ฟืนจำนวน 30 กก. อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 44 - 45 °C พบว่า พริกแห้งจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 16% ฐานแห้ง สอดคล้องกับมาตรฐานของ อย. โดยใช้เวลาประมาณ 21 ชั่วโมง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของพริกและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ ที่เวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 คือปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการอบแห้งพริกในครั้งที่ 3 ดังนี้

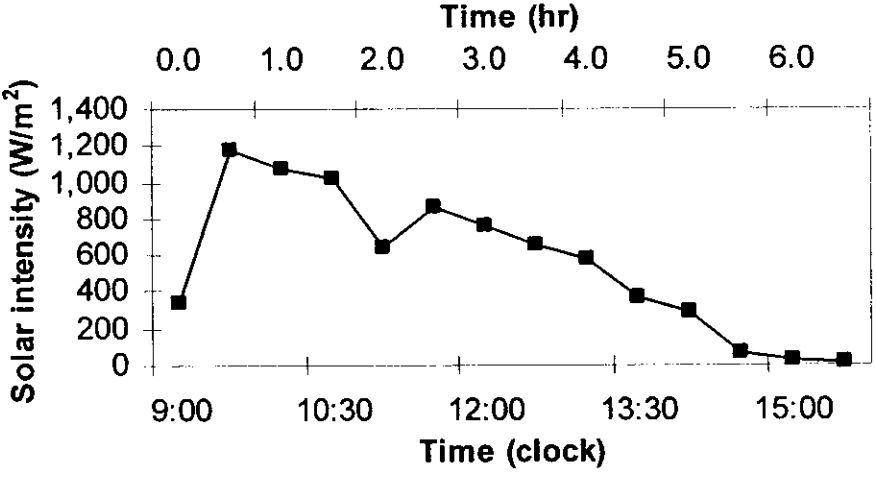
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากพริก	14.3	kg
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	226.5	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	344.3	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์	55.12	%
ประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน	37.80	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	5.66	%



รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในกองอิฐ ระหว่างการอบแห้งพริกครั้งที่ 3



รูปที่ 4.12 ความชื้นของพริกและอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง ระหว่างการอบแห้งพริกครั้งที่ 3



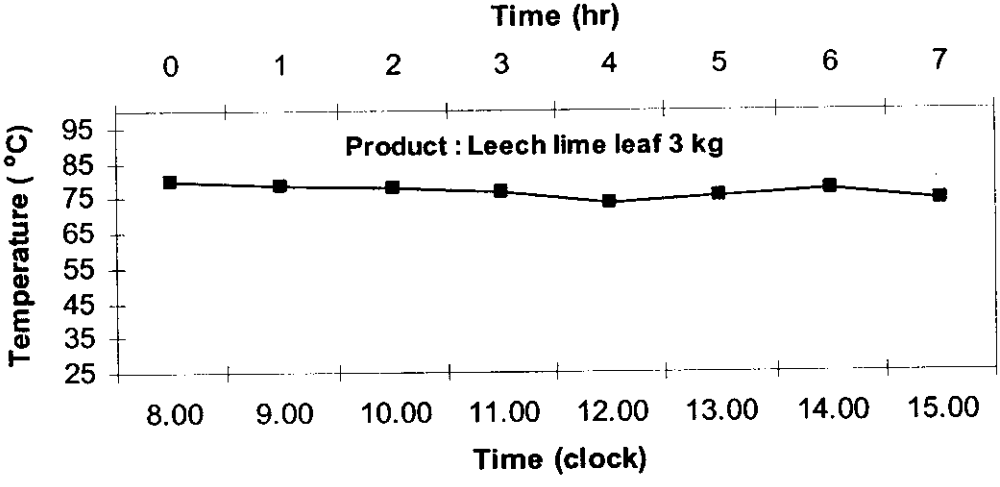
รูปที่ 4.13 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งพริกครั้งที่ 3

4.3.4 การทดลองอบแห้งใบมะกรูด

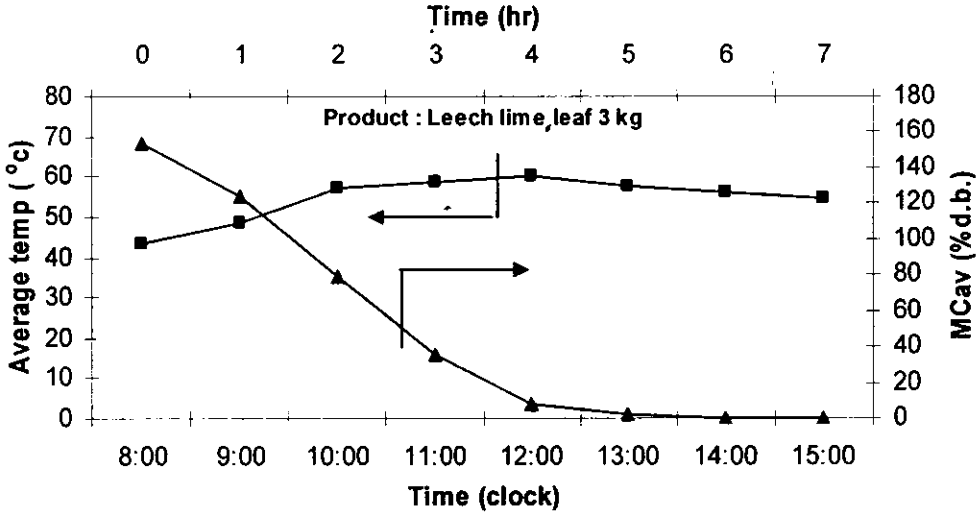
ในการทดลองครั้งนี้ใช้ใบมะกรูด จำนวน 3 kg อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ 55.2 °C พบว่า ใบมะกรูดแห้งจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 16% ฐานแห้ง สอดคล้องกับมาตรฐานของ อย. โดยใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมง เป็นการอบแห้งโดยไม่ต้องเผาไม้ฟืนให้ความร้อนเพราะใบมะกรูดแห้งเร็ว กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของใบมะกรูดและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบ ที่เวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 คือปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการอบแห้งใบมะกรูด ได้ดังนี้

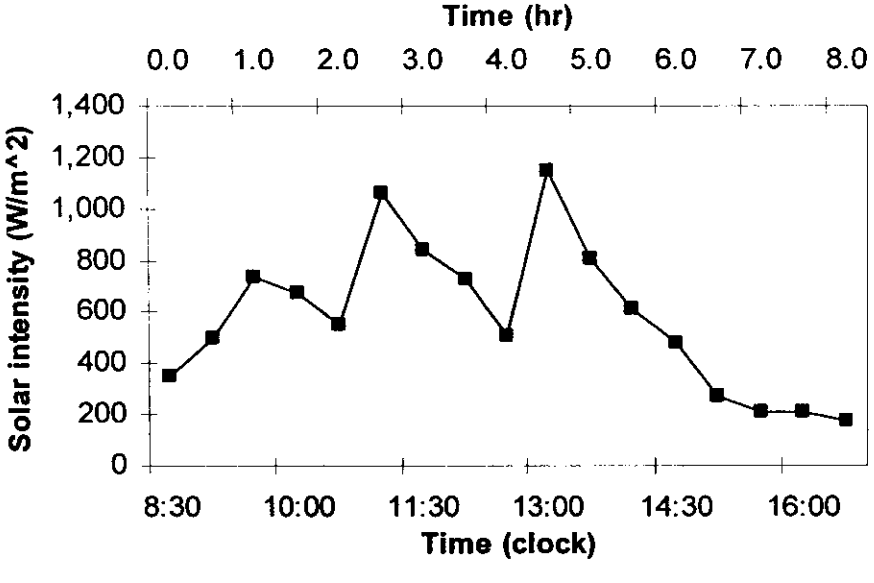
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากใบมะกรูด	1.9	kg
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	266.2	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	-	
ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์	57.03	%
ประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน	-	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	1.61	%



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในกองอิฐ ระหว่างการอบแห้งใบมะกรูด



รูปที่ 4.15 ความชื้นของใบมะกรูดและอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง ระหว่างการอบแห้งใบมะกรูด



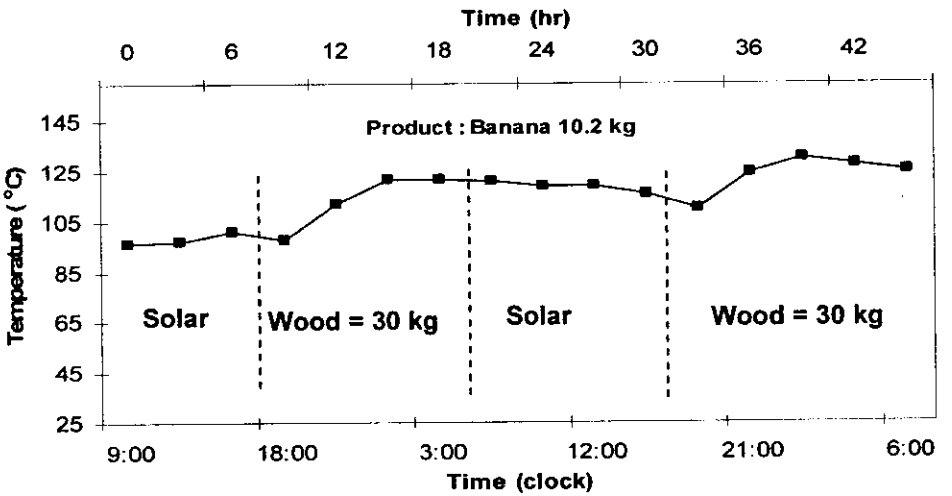
รูปที่ 4.16 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งใบมะกรูด

4.3.5 การทดลองอบแห้งกล้วย

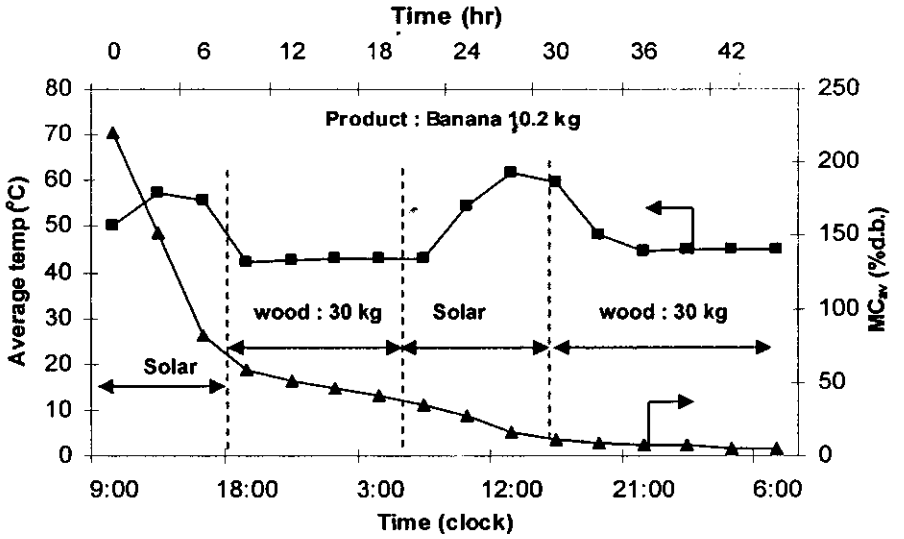
ในการทดลองครั้งนี้ใช้กล้วย จำนวน 10.2 kg อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ 50.0 °C ใช้ไม้ฟืนทั้งหมด 60 kg โดยแบ่งเผา 2 ครั้ง ๆ ละ 30 kg และเริ่มเผาไม้ฟืนเวลา 18:00 น. พบว่ากล้วยแห้งจนเหลือความชื้นต่ำกว่า 16% ฐานแห้ง สอดคล้องกับมาตรฐานของ อย. โดยใช้เวลาประมาณ 45 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากกล้วยมีความชื้นสูงระยะเวลาในการอบแห้งจึงยาวนานกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของกล้วยและอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่เวลาต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการอบแห้งกล้วย ได้ดังนี้

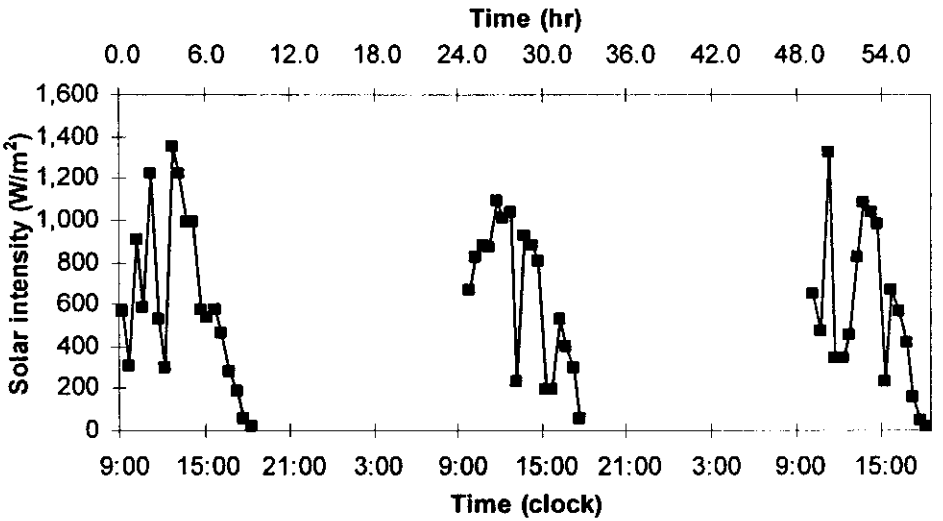
ปริมาณน้ำที่ระเหยจากกล้วย	6.7	kg
ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์	823.5	MJ
ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืนยางพารา	688.5	MJ
ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์	39.48	%
ประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน	20.69	%
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง	1.01	%



รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในกองอิฐ ระหว่างการอบแห้งกล้วย



รูปที่ 4.18 ความชื้นของกล้วยและอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบแห้ง ระหว่างการอบแห้งกล้วย



รูปที่ 4.19 ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ ระหว่างการอบแห้งกล้วย

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ พริก ใบมะกรูด และ กล้วยเล็บมือนาง โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและใช้พลังงานความร้อนแบบผสมผสาน คือ ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนยางพาราในเวลากลางคืน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์ ใช้อิฐแดงเป็นตัวกักเก็บความร้อน ในช่วงเวลากลางวันซึ่งยังไม่มีการเผาไม้ฟืน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งจะอยู่ที่ประมาณ 49-55°C ซึ่งเพียงพอในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ส่วนในช่วงเวลากลางคืนไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไม้ฟืน และจากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อยู่ที่ประมาณ 43–45 °C อีกทั้ง ผลจากการเผาไม้ฟืนครั้งละ 30 kg จะสามารถรักษาระดับความร้อนหรืออุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เพียงพอสำหรับการอบแห้งได้นาน 10–12 ชม. จากผลการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1

เครื่องอบแห้งแบบตู้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 1-6% เมื่อใช้แสงอาทิตย์ร่วมกับไม้ฟืน และมีประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน 21-44% เหมาะสำหรับการอบแห้งในวันเดียว เพราะมีปัญหาในการรักษาอุณหภูมิในช่วงกลางคืน ต้องคลุมเครื่องอบแห้งด้วยผ้าใบ

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ พริก ใบมะกรูด และกล้วย

ชนิดผลิตภัณฑ์	ปริมาณน้ำระเหย (กก.)	เวลาอบแห้ง (ชม.)	อุณหภูมิในตู้อบแห้ง (°C)	ปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ (MJ)	ปริมาณความร้อนจากไม้ฟืน (MJ)	ประสิทธิภาพแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (%)	ประสิทธิภาพการเก็บกักความร้อน (%)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนการอบแห้ง (%)
พริกครั้งที่ 1	7.20	20	43-55	201.1	363.1	39.89	34.71	2.88
พริกครั้งที่ 2	14.10	22	40-55	248.7	363.1	40.64	43.60	5.21
พริกครั้งที่ 3	14.30	21	43-60	226.5	344.3	55.12	37.80	5.66
ใบมะกรูด*	1.90	7	43.58	266.22	-	57.03	-	1.61
กล้วย	6.70	45	43-58	823.5	688.5	39.48	20.69	1.01

* หมายถึง การอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์เท่านั้น

4.5 ต้นทุนเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ มีราคาวัสดุรวมทั้งสิ้น 37,887 บาท ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ราคาวัสดุเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

รายการ	จำนวนเงิน
1. กระจกหนา 6 มม. ขนาด 1 ม. x 1ม. ราคา 231 บาท ใช้กระจกทั้งหมด 12 แผ่น	2,772
2. กระจกทั้งหมด 12 แผ่น กระจกหนา 6 มม. ขนาด 1 ม. x 0.3 ม. ราคา 69.93 บาท ใช้กระจกทั้งหมด 8 แผ่น	559
3. สังกะสีแผ่นเรียบ ขนาด 1.2 ม. x 2.4 ม. หนา 0.4 มม. ราคา 475 บาท ใช้สังกะสีทั้งหมด 6 แผ่น	2,850
4. ท่อเหล็กดำขนาด 6 นิ้ว สูง 5 เมตร	1,600
5. แป๊ปสี่เหลี่ยมอลูมิเนียม ขนาด 0.5 นิ้ว x 0.5 นิ้ว หนา 1 มม. ยาว 6 ม. ราคา 88 บาท ใช้อลูมิเนียมยาวทั้งหมด 51.6 ม.	756
6. อิฐแดงจำนวน 2,500 ก้อน	3,750
7. ถาดสังกะสีสำหรับวางผลิตภัณฑ์ ขนาด 1×1 $ม^2$. จำนวน 8 ถาด ๆ ละ 700 บาท	5,600
8. อุโมงค์อลูมิเนียมขนาด 2×4×0.5 $ม^3$.	20,000
รวมทั้งสิ้น	**37,887**