

- บทที่ 2 -

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนจากอากาศถ่ายเทให้กับวัสดุที่มีความชื้น และภายในวัสดุจะเกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลจากวัสดุสู่อากาศพร้อมกันทำให้ความชื้นภายในวัสดุลดลง ในขณะที่อากาศร้อนถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและขณะเดียวกันก็จะพาความชื้นออกจากวัสดุด้วยขบวนการอบแห้ง 2 ช่วงคือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เมื่อทำการอบแห้งไประยะหนึ่งอัตราการอบแห้งจะลดลงถึงความชื้นค่าหนึ่ง เรียกค่าความชื้นที่จุดนี้ว่า ความชื้นวิกฤติ ในการอบแห้งนั้นจะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ผิวของวัสดุจะมีน้ำมาเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดย ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกจะลดลงด้วย อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ของน้ำภายในวัสดุมาที่ผิวเท่านั้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุ ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, wb.)

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

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db.)

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

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ, kg
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg
 M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก
 M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นสามารถทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดยคูณด้วย 100 ดังนั้นความชื้นมาตรฐานเปียกจะมีค่าได้ไม่เกิน 100% แต่ในขณะเดียวกันในหน่วยมาตรฐานแห้งอาจจะมีค่ามากกว่า 100% ได้ ในทางการเกษตรนิยมใช้เป็นมาตรฐานเปียกในการพูดถึงความชื้น แต่ในการคำนวณบางครั้งนิยมใช้เป็นมาตรฐานแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้งได้เขียนได้ดังนี้

$$M_w = \frac{M_d}{1-M_d} \quad (2.3)$$

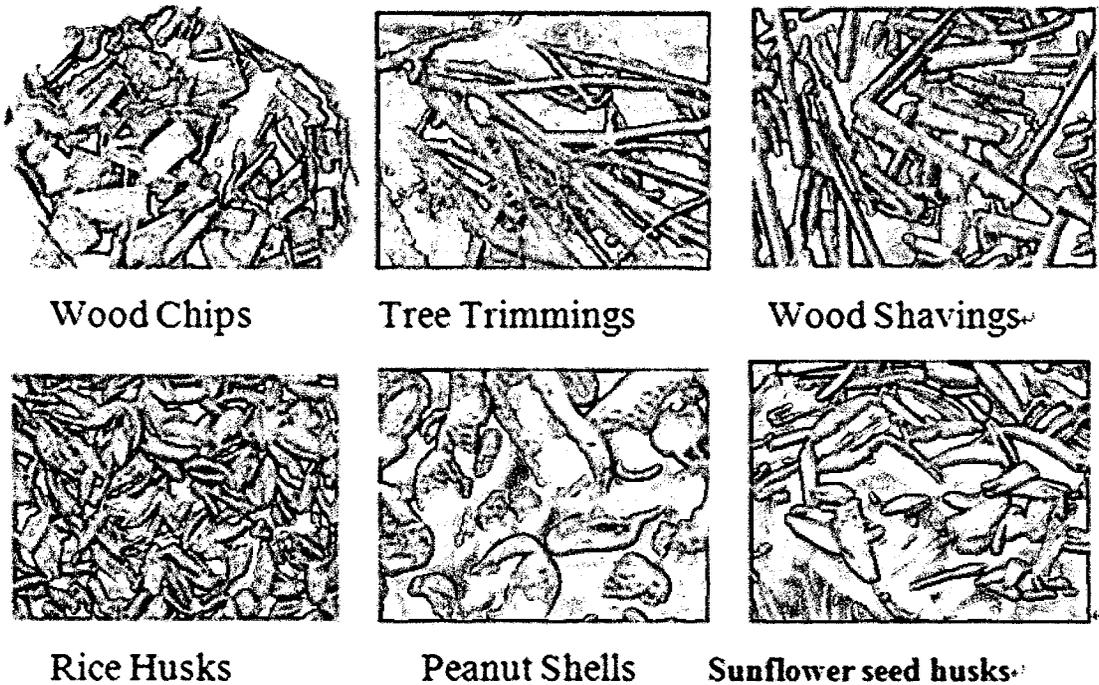
ในการอบแห้งจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกจากวัสดุ เมื่อทราบมวลและความชื้นของวัสดุ ปริมาณน้ำที่ต้องการระเหยออกนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W_f = W_i \frac{(100 - M_i)}{(100 - M_f)} \tag{2.4}$$

- เมื่อ W_f คือ มวลหลังการอบแห้ง, kg
- W_i คือ มวลหนักก่อนอบแห้ง, kg
- M_i คือ ความชื้นก่อนอบแห้ง, %มาตรฐานเปียก
- M_f คือ ความชื้นหลังอบแห้ง %มาตรฐานเปียก

2.2 ชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน และสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ ส่วนใหญ่จะได้อาจมาจากเศษไม้หรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชังข้าวโพด ชานอ้อย กากปาล์ม ที่ได้จากการสกัดน้ำมันดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง กะลามะพร้าว เป็นต้น ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชีวมวลในประเทศไทย

ที่มา; คู่มือพลังงานชีวมวล กลุ่มพลังงานชีวมวล, PDF file, สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [1]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักและค่าความร้อนของชีวมวล

ตัวอย่างชีวมวล	องค์ประกอบหลักของชีวมวล (% โดยน้ำหนัก)				ค่าความร้อน (kcal/kg)
	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว	เถ้า	กำมะถัน	
1. ไม้เลื้อย	71.3	27.2	1.5	-	4,990
2. ไม้กบ	72.4	25.1	2.5	-	4,990
3. กากอ้อย	73.9	17.6	8.5	-	4,440
4. ชานอ้อย	71.8	23.4	4.8	-	4,510
5. แกลบ	62.7	17.4	20.0	-	3,860
6. ฟางข้าว	74.4	18.9	7.3	-	4,300
7. ต้นมันสำปะหลัง	76.2	19.1	4.7	1.30	4,300
8. เหม่งมันสำปะหลัง	75.0	17.0	8.0	0.28	4,050
9. ชังข้าวโพด	76.1	21.8	2.1	-	4,540
10. ขุยมะพร้าว	63.3	29.4	7.1	0.06	4,380
11. กะลามะพร้าว	73.7	25.5	0.7	0.03	4,830
12. ถ่านกะลามะพร้าว	15.2	82.4	2.4	-	7,760
13. ทางมะพร้าว	72.3	20.8	6.9	-	4,130
14. ต้นถั่วเหลือง	72.5	19.1	8.4	-	4,150
15. ผักตบชวา	58.9	15.3	25.8	-	3,010
16. เปลือกหอย	70.5	23.7	5.7	-	4,480
17. ไมยราบยักษ์	71.2	25.1	3.7	-	4,460
18. ทะลายปาล์ม	73.9	22.3	3.8	-	4,500
19. เส้นใยปาล์ม	71.5	23.1	5.4	-	4,820
20. ไม้ยางพารา	74.9	23.0	2.1	-	4,560
21. ถ่านไม้ยางพารา	17.5	79.1	3.4	-	7,650

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [2]

พลังงานชีวมวล หมายถึง พลังงานที่ได้จากชีวมวลโดยผ่านกระบวนการทำให้อินทรีย์สารที่อยู่ในชีวมวลเกิดการแตกตัวแล้วผลิตเป็นพลังงานออกมา พลังงานชีวมวลสามารถใช้ได้ทั้งในรูปของพลังงานความร้อน ไอน้ำ และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลชนิดใดชนิดหนึ่งที่กล่าวนำข้างต้น หรือหลายชนิดรวมกันก็ได้ จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบหลักของชีวมวลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. ความชื้น (Moisture) หมายถึง ปริมาณน้ำที่สะสมอยู่ในชีวมวล ซึ่งชีวมวลส่วนมากแล้วจะมีความชื้นค่อนข้างสูง ถ้าต้องการนำไปเป็นพลังงานในการเผาไหม้ ควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 50%

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible substance) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สารระเหย (Volatiles Matter) และคาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) ซึ่งชีวมวลใดที่มีค่า Volatiles Matter สูง แสดงว่าชีวมวลนั้นสามารถติดไฟได้ง่าย

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ หรือขี้เถ้า (Ash) เมื่อชีวมวลถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์แล้ว จะมีสาร

บางส่วนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งเรียกรวมกันว่า ชี๊เถ้า โดยชีวมวลแต่ละประเภทจะมีสัดส่วนของปริมาณชี๊เถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้แตกต่างกัน โดยชีวมวลส่วนใหญ่จะมีชี๊เถ้าเฉลี่ยประมาณ 1 -3%

พลังงานที่ได้จากชีวมวล (Biomass Heating Value) ชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆของชีวมวลแต่ละชนิด และรวมไปถึงสัดส่วนความชื้นที่สะสมอยู่ในชีวมวล โดยค่าความร้อนหรือพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวลจะแสดงได้เป็น

1. ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, LHV) เป็นค่าพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้จริงจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งได้หักพลังงานส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำที่สะสมอยู่ในชีวมวลออกไประหว่างการเผาไหม้ โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น kJ/kg หรือ kcal/kg
2. ค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) เป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ได้จากการเผาไหม้ชีวมวล โดยไม่มีการหักพลังงานส่วนใดส่วนหนึ่งออกไป มีหน่วยเป็น kJ/kg หรือ kcal/kg

จากการสำรวจคุณลักษณะของชีวมวลประเภทต่างๆ จะได้คุณสมบัติเบื้องต้นและค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

1) เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ [3]

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลัง

น้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ

2) เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

- การผลิตน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติเป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ
- การผลิตน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียน เหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้อย่างต่อเนื่อง
- การผลิตน้ำร้อนชนิดผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศ โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ปัจจุบันการอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีการแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนได้ 3 ลักษณะ คือ

- การอบแห้งระบบ **Passive** เป็นระบบอากาศอบแห้งมีการไหลเวียนของอากาศเนื่องจากการได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่ต้องมีพัดลมเพื่อบังคับการไหลเวียนของอากาศอบแห้ง หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นระบบที่ไม่ต้องใช้พลังงานอื่นนอกจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำงานของระบบ
- การอบแห้งระบบ **Active** เป็นระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น มีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ
- การอบแห้งระบบ **Hybrid** เป็นระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่นๆ ช่วยในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

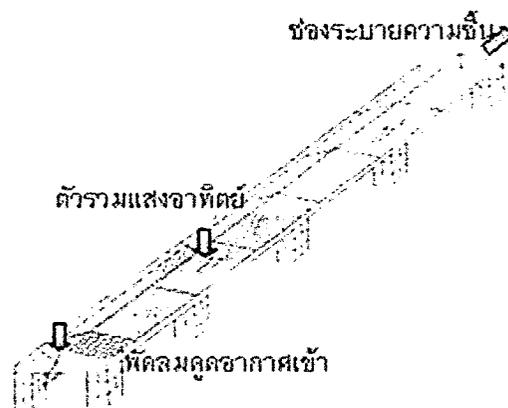
การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงด้านความร้อนเพื่อการอบแห้งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย และสะดวกในการใช้งานโดยพบว่าค่าความร้อนและปริมาณของชีวมวลแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้ชีวมวลด้านพลังงานจึงต้องคำนึงถึงปริมาณทั้ง 2 ชนิดคือค่าความร้อนและศักยภาพด้านปริมาณ

ด้านข้อเด่น-ข้อด้อย ของพลังงานชีวมวล U.S. National Renewable Energy Laboratory [4] รายงานว่าชีวมวลที่เกิดขึ้นในโลกแต่ละปีมีพลังงานมากถึง 8 เท่าของพลังงานที่มนุษย์ต้องการใช้จากทุกแหล่ง พลังงานชีวมวลจึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความน่าสนใจ ซึ่งข้อเด่นของเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด ก่อมลภาวะน้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากพืชปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) (ซึ่งเป็นตัวก่อฝนกรดและโอโซน (O₃) ในระดับพื้นดิน) น้อยมาก และไม่เพิ่มระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากพืชต้องดูดซับ

คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อการเจริญเติบโต ชีวมวลแต่ละชนิดมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เช่น แกลบ จะให้ค่าความร้อนสูง เนื่องจากมีความชื้นต่ำ และไม่ต้องผ่านการบดย่อยก่อนนำไปเผาไหม้ โดยชี้ถ้าที่เกิดจากการเผาแกลบสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและแก้ว ได้ ส่วนชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง ที่เผาไหม้แล้วมีปริมาณ ชี้น้อย จึงมีปัญหาในการจัดการน้อย ส่วนข้อดีของเชื้อเพลิงชีวมวล คือแม้พลังงานชีวมวลจะมีอยู่มาก แต่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้ยากแก่การรวบรวมเพื่อใช้ผลิตไฟฟ้าในปริมาณมากๆ อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจและประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลภายในประเทศ พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ 700-1,000 MW

ด้านงานวิจัยทางการนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง เช่น ปี 2552 *ศุภวิชัย พลังงาน* [5] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งไม้มะม่วงแคะสลัก โดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทั้งระบบดั้งเดิมที่เกษตรกรเป็นผู้ดำเนินงาน และทำการปรับปรุงระบบ พบว่า การอบแห้งแบบดั้งเดิม หรือการรมควันจะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ชี้น้อย) 3.38 kg/hr และในระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยเตาอบแบบดั้งเดิม พบว่ามีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงกว่า 4,000 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ที่ 690 ppm มากกว่า 5 เท่า

ชัชวาลย์ อะกะบัน ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ชีวมวล (ไม้) กับ LPG ในการอบแห้งลำไย พบว่า การใช้ไม้ในการอบแห้งลำไยจะประหยัดต้นทุนในการอบแห้งเมื่อเทียบกับการใช้ LPG ได้ถึง 2.72 บาท/กิโลกรัม และหากนำชีวมวลไปใช้ในระบอบอบแห้งแบบน้ำร้อนจะประหยัดต้นทุนในการอบแห้งเมื่อเทียบกับการใช้ LPG ได้ 4.82 บาท/กิโลกรัม [6] จากการศึกษาพบว่าในส่วนของปริมาณชีวมวลในพื้นที่ที่จะมีปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งาน และระบบบำบัดควันสามารถลดการปล่อยมลพิษต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ และยังพบว่าการใช้ชีวมวลในการอบแห้งช่วยลดต้นทุนในการผลิตให้กับเกษตรกรได้



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [7]

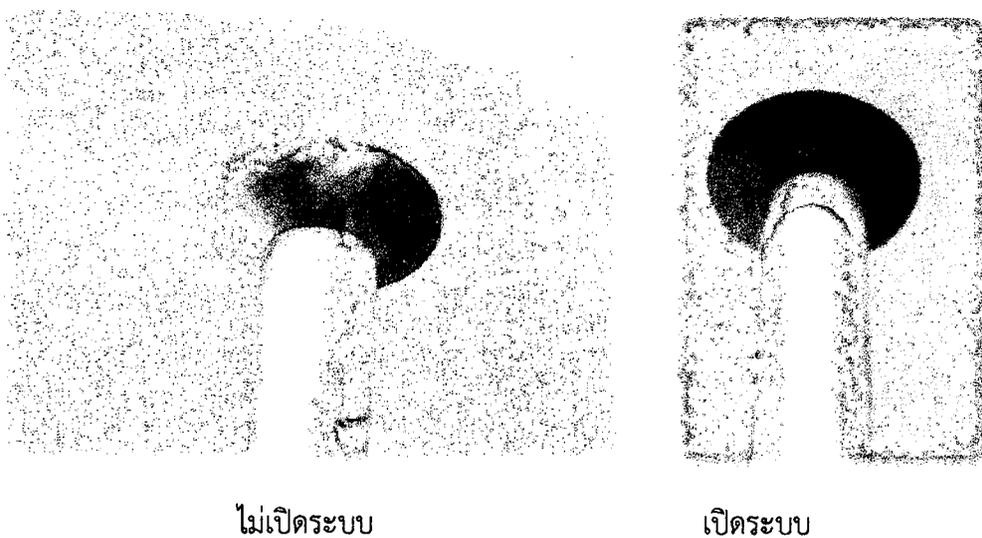
การอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ได้เริ่มเข้ามาในประเทศตอนปลายปี 1950 โดยได้มีการสร้างเตาอบแบบต่างๆ และมีการปรับปรุงแก้ไขอย่างต่อเนื่องทั้งการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งเพียงอย่างเดียว เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ โดยมีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.2 และการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เช่น การใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับ LPG หรือการใช้พลังงานความร้อน

ระบบอบแห้งสมุนไพรพลังงานทดแทนร่วม (ชีวมวล-แสงอาทิตย์)

แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า เช่น ในปี 2549 ได้ทำการพัฒนาสาธิตระบบอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้และเครื่องจักรสาน (สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้) เพื่อวิจัยและพัฒนากระบวนการอบแห้งไม้ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับนำมาใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย โดยทำการอบแห้งไม้ โดยใช้พลังงานความร้อนจาก LPG เปรียบเทียบกับการอบไม้พลังงานความร้อนร่วมกับแก๊ส LPG กับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองอบแห้งไม้เนื้อแข็ง (ไม้ห่าน้ำ) เปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส และการอบโดยใช้แก๊สเพียงอย่างเดียว [8]

ค่าที่พิจารณา	พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส	แก๊สเพียงอย่างเดียว
ปริมาณแก๊สที่ใช้ (kg _{gas})	72.3	120.1
ปริมาณแก๊สที่ใช้ต่อน้ำหนักไม้ (kg gas/kg _{wood})	0.0397	0.0482
ค่าแก๊สทั้งหมด (บาท)	1,214.64	2,017.68
อัตราการระเหยน้ำ (kg _{wood} /hr)	1.1064	1.3744
ราคาแก๊ส (บาท/kg _{wood})	0.6669	0.8105
ค่าพลังงานความร้อนให้กับอากาศ (MJ/kg _{wood})	0.2072	0.2292
ค่าพลังงานความร้อนให้กับไม้ (MJ/kg _{wood})	0.2082	0.2338
พลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้ง (MJ/kg _{wood})	0.4154	0.4630
พลังงานความร้อนที่ได้จากแก๊ส (MJ/kg _{wood})	1.6633	2.0214
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg _{water})	18.9356	20.8028
ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง (%)	-	22.9047
การประหยัดพลังงาน (%)	17.7160	0

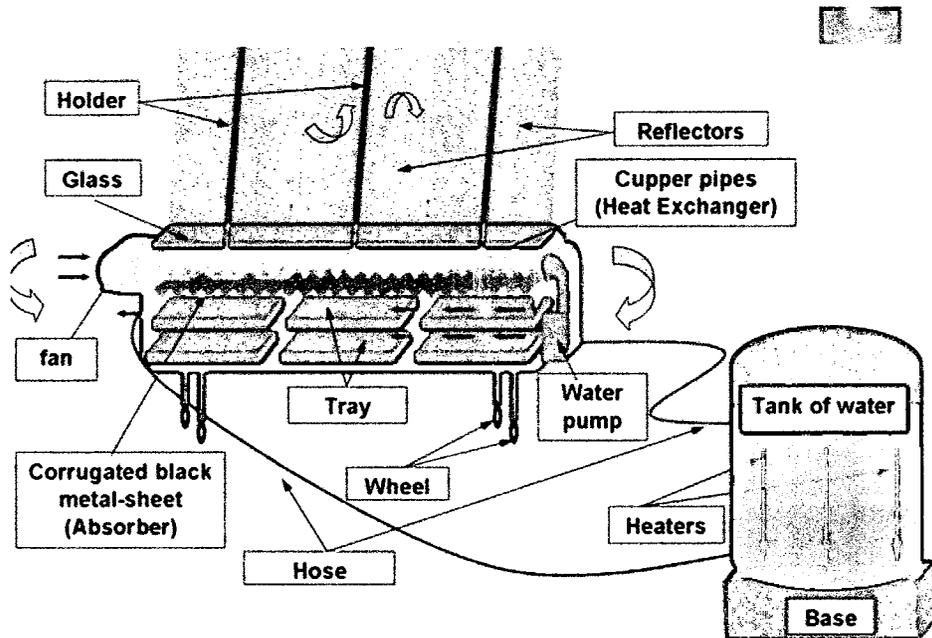


รูปที่ 2.3 ลักษณะของควันก่อนและหลังการเปิดระบบกำจัดควันแบบสเปรย์น้ำ 2 ครั้ง [5]

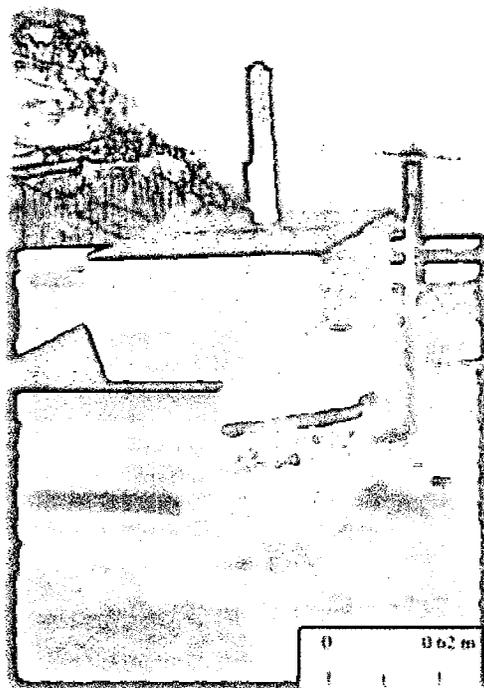
นอกจากนั้นได้มีการพยายามที่จะลดควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยจากการศึกษาในโครงการ การศึกษาวิจัย ถ่ายทอดการเพิ่มผลผลิตภาพ และการประหยัดพลังงานในการประกอบ การเมื่อมีการพบว่าเกิดควันเนื่องจากการเผาไหม้ขึ้น จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนา พร้อมติดตั้ง ทดสอบ ระบบกำจัดควันแบบสเปรย์น้ำ 2 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถลดการปล่อย CO ลงได้ประมาณ 80% จากปริมาณ CO ในกรณีที่ยังไม่มีการเพิ่มระบบกำจัดควันแบบสเปรย์น้ำ 2 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิของควันลดลง 8-10 °C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิของ ควันที่ยังไม่ผ่านระบบบำบัด และยังพบว่าออกซิเจนของควันที่ปล่อยออกมามีค่าสูงขึ้นจาก 9.19% เป็น 20.70%

Erick Cesar และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-แก๊สหุงต้ม (LPG) เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-แก๊สหุงต้มสามารถ ครอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้สามระบบคือ การอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยให้ความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ เพียงอย่างเดียว (SHS), การให้ความร้อนจากระบบแก๊สหุงต้มเพียงอย่างเดียว (GHS) และระบบให้ พลังงานความร้อนพลังงานร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์-แก๊สหุงต้ม (HHS) เครื่องอบแห้งพลังงาน ร่วมมีพื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 3.2 m² ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดย ใช้มะเขือเทศเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้ในการทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพการอบแห้งของ เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมสูงสุด คือ 86% สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในเงื่อนไขการใช้พลังงาน ความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ประสิทธิภาพ 71% ในเงื่อนไขการใช้พลังงานความร้อนจากระบบพลังงาน ร่วมแสงอาทิตย์-แก๊สหุงต้ม และประสิทธิภาพ 24% สำหรับเงื่อนไขในการใช้พลังงานความร้อนจาก แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว การอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยระบบพลังงานร่วม คุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้ง ไม่มีส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้ง นอกจากนี้ยังทำการทดสอบการไหลเชิงมวลของอากาศใน แผงรับรังสีอาทิตย์พบว่าได้ปรับปรุงเอียงของแผงรับรังสีอาทิตย์เป็น 40 องศาจากแนวระนาบ(จากเดิม อยู่ที่ 23 องศา) ทำให้ประสิทธิภาพการไหลเชิงมวลของอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 36% แต่การอบแห้งใน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้ง

B.M.A. Amer a และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม แสงอาทิตย์โดยตรง-เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้ง ประกอบด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์ (กระจก) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำและห้องอบแห้ง เครื่อง อบแห้งพลังงานร่วมได้ใช้พลังงานความร้อนในการอบแห้งจากแสงอาทิตย์และยังใช้ระบบการ แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่ มีประสิทธิภาพของการนำพลังงาน หมุนเวียนกลับมาใช้ถึง 65% และเครื่องอบแห้งสามารถทำอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้สูงกว่าอุณหภูมิ แวดล้อมภายนอกถึง 30-40 °C ทำการทดสอบโดยใช้กล้วยเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้อบแห้ง พบว่าในการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมนั้น อบแห้งกล้วยด้วยระบบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์- ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ ใช้กล้วยในการอบทั้งหมด 30 kg ภายในเวลา 8 ชั่วโมง สามารถ ลดความชื้นของกล้วยจาก 82%db จนเหลือความชื้นสุดท้าย 18%db ในขณะเดียวกันทำการ เปรียบเทียบกับการตากแห้งแบบเปิด (ตากโดยวิธีธรรมชาติ) พบว่าในเวลาเท่ากันกล้วยมีเหลือ ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 62%db และผลิตภัณฑ์อบแห้งจากเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมมีคุณภาพ สีสัน และลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์ดีกว่าการตากโดยธรรมชาติ



รูปที่ 2.4 แสดงระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม
แสงอาทิตย์-ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำ [10]

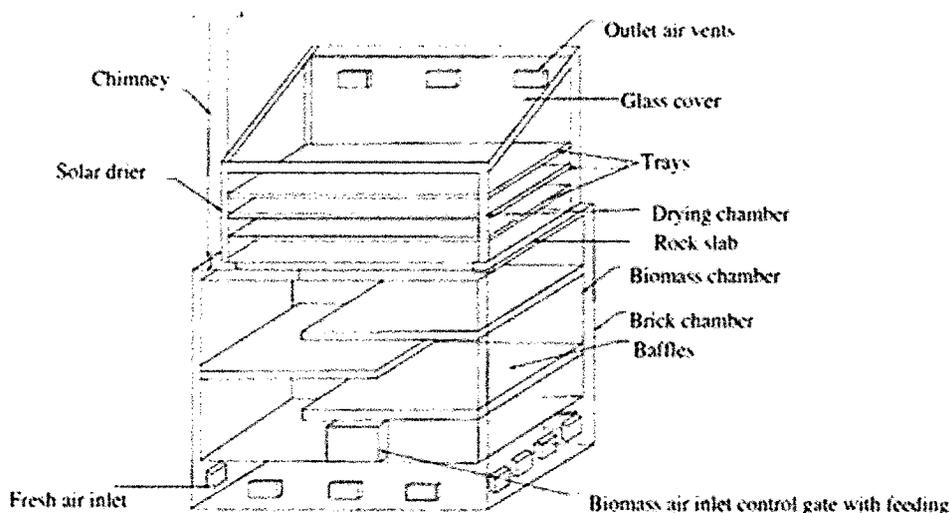


รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล [11]

A. Madhlopa and G. Ngwalo. [11] ทำการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ความร้อนจากชีวมวล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้ คือ เตาชีวมวล ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.58 m มีความยาว 0.89 m ส่วนของแผงรับรังสีอาทิตย์ มีพื้นที่การรับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 2.2 m² มีกระจกใสปิดคลุมด้านบนทำมุมเอียง 16 องศา และส่วนของห้องอบ มีพื้นที่ของถาดสำหรับใส่ผลิตภัณฑ์อบแห้ง 4.1 m² สามารถ

อบสับปะรดสดได้ 20 kg ต่อครั้ง ได้ทำการทดสอบการอบแห้งสับปะรดจำนวน 20 kg ใช้ระบบการอบแบบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล พบว่าเครื่องอบพลังงานร่วมสามารถลดความชื้นของสับปะรดที่มีความชื้นเริ่มต้นจาก 669%db จนลดลงเหลือ 11%db และสามารถเก็บรักษาสับปะรดและยังมีคุณภาพทางโภชนาการสูง แต่ยังมีข้อผิดพลาดในส่วนของอัตราการอบแห้งไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งภาค ดังนั้นจึงต้องมีการสับเปลี่ยนภาตตัวอย่างในระหว่างการอบ เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของการอบ

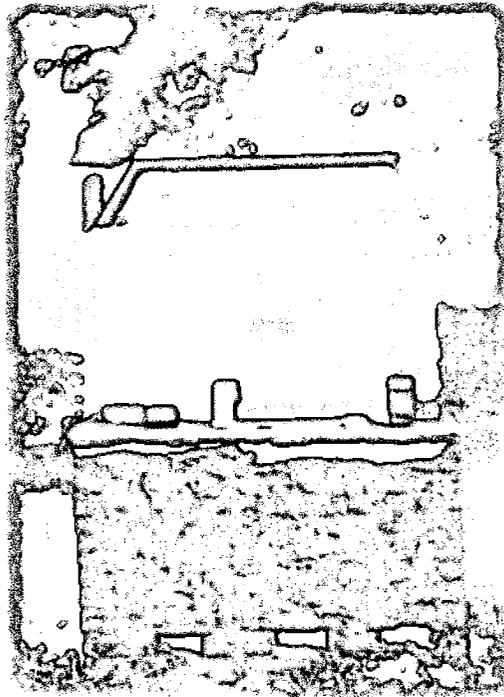
Jaishree Prasad และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวลสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้งาน เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมมีพื้นที่ของกระจกในส่วนของการรับรังสีอาทิตย์ 1.12 m² ทำมุมเอียง 28.5 องศา กับแนวราบ ส่วนระบบความร้อนจากการเผาไหม้แก๊ส ชีวมวลมีขนาด 0.65x0.60x0.55 m³ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอบ ใช้ไขมันเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งไขมันจากความชื้นเริ่มต้น 78%wb ให้เหลือความชื้นสุดท้ายที่ 9%wb ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 36-42 ชั่วโมง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การตากไขมันแบบเปิด (ตากแดดแบบธรรมชาติ) ใช้เวลาในการตากแห้งทั้งหมด 266 ชั่วโมงในการทำให้ไขมันมีตากมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับการอบในเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม ประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบพลังงานร่วมโดยรวมอยู่ที่ 28.57%



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล [12]

Jaishree Prasad and V.K. Vijay. [13] ได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์ระบบพาความร้อนแบบธรรมชาติและระบบความร้อนจากเตาชีวมวล เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมมีพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ 0.16x0.05 m² และมีขนาดของเตาชีวมวลเท่ากับ 0.65x0.60x0.55 m³ ในการศึกษาได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานร่วม โดยใช้ ชিং ไขมัน และบอระเพ็ด ทำการทดสอบในช่วงหน้าร้อนของนิวเดลี ทำการทดสอบการอบแห้งชিংสดหนัก 18 kg ที่มีความชื้นเริ่มต้น 319.74 %db จนเหลือความชื้นสุดท้าย 11.8%db ใช้เวลาในการอบแห้ง 33 ชั่วโมง ทำการทดสอบอบแห้งไขมันและบอระเพ็ดโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับการทดสอบการอบแห้งชিং พบว่าความชื้นของไขมันและบอระเพ็ด พบว่าสามารถอบแห้งไขมันที่มีความชื้นเริ่มต้น 358.96%db ให้เหลือ 8.8%db ภายใน 36 ชั่วโมง และ สามารถอบแห้ง

บอระเพ็ดจากความชื้นเริ่มต้นจาก 257.45 %db เหลือ 9.67%db ภายใน 48 ชั่วโมง เมื่อทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั้งสามชนิดโดยใช้พลังงานความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์เพียงอย่างเดียวพบว่าใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 72-120 ชั่วโมง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการตากแดดโดยตรงพบที่ใช้เวลาในการตากแห้งมากที่สุดคือ 192-288 ชั่วโมง ในงานวิจัยยังพบว่าการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายใต้การศึกษาพบว่าการพัฒนาเครื่องอบแห้งเหมาะสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์เหล่านี้



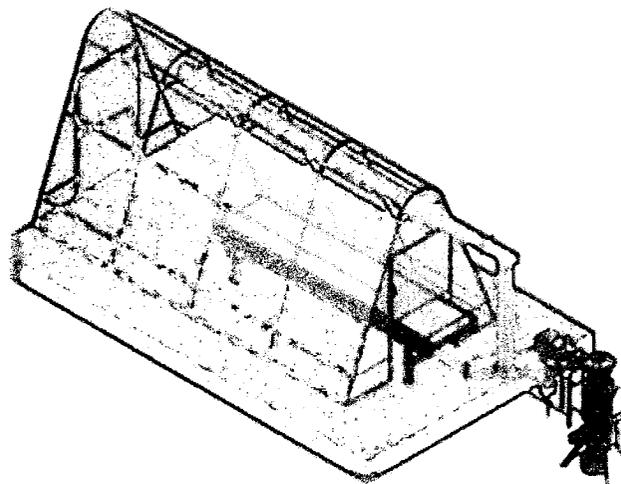
รูปที่ 2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวลสำหรับการอบขิง ขมิ้น และบอระเพ็ด [13]

E. Tarigan and P. Tekasakul. [14] ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-พลังงานชีวมวลและใช้อิฐในการเก็บกักความร้อน แผงรับรังสีอาทิตย์มีขนาดกว้าง 1.75 m ยาว 2.75 m ในส่วนพลังงานความร้อนเสริมจากเตาชีวมวลที่มีขนาด $1.75 \times 0.9 \times 1.5 \text{ m}^3$ เครื่องอบแห้งมีความจุประมาณ 60-65 kg ของน้ำหนักรับแห้งสด เมื่อได้ทำการทดสอบการอบแห้งโดยใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวล พบว่าเครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งถึงลิสงจากความชื้นเริ่มต้น 135%db ลดลงเหลือ 13%db ภายในเวลาการอบแห้ง 16 ชั่วโมง เมื่อทำการเปรียบเทียบโดยการทดสอบการอบแห้งถั่วลิสงเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวพบว่าใช้เวลาอบแห้งทั้งหมด 3 วัน เพื่ออบแห้งถั่วลิสงความชื้นเริ่มต้น 100%db ลดลงเหลือสุดท้าย 13%db ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวพบว่ามีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 23% ในขณะที่ประสิทธิภาพการอบแห้งในระบบเตาชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้งเท่ากับ 40% และทำการศึกษาคุนสมบัติที่สำคัญสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความสม่ำเสมอของความร้อนในห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์อีกด้วย

Arnold R. Elepaño and Karen T. Satairapan [15] ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวลเพื่อนำมาอบแห้งสับปะรดที่ไม่ได้ขนาดสำหรับการส่งออกเพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้ง เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมมีส่วนประกอบหลักสามส่วนคือ

ห้องอบแห้งที่มีความจุสำหรับการผลิตภัณฑ์ได้สูงสุด 50 kg เต่าชีวมวลใช้กะลามะพร้าวและฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตความร้อนสำหรับการอบแห้ง และส่วนประกอบสุดท้ายคือแผงรับรังสีอาทิตย์มีขนาด 90 cm ยาว 120 cm วางมุมเอียง 15 องศากับแนวระดับ เครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวลสามารถอบแห้งสับปะรดมีความชื้นเริ่มต้น 85%wb ให้มีความชื้นสุดท้ายเหลือ 20%wb ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 18 ชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 2 kg/h ในระบบเต่าชีวมวลมีอัตราการลดลงน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 20% ของน้ำหนัก 10 kg ของสับปะรดแห้งต่อภาค การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ชีวมวลสามารถช่วยทำให้สับปะรดขนาดเล็กที่ไม่ได้ขนาดสำหรับการขายไม่ต้องถูกนำมาทิ้ง การหาตลาดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์อบแห้งจะช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่เกษตรกร โดยมีระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 2 ปี

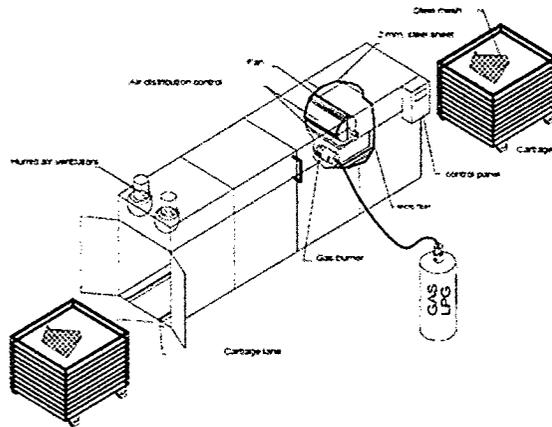
วิลาวลัย และคณะ [16] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ที่นำพลังงานแสงอาทิตย์และเชื้อเพลิงจากชีวมวลมาใช้ร่วมกัน ห้องอบแห้งภายในมีลักษณะเป็นอุโมงค์โค้งขนาดกว้าง 2.4 m ยาว 5 m และสูง 2.4 m ส่วนด้านล่างมีท่อลมร้อนต่อจากเตาแก๊สซีพีเออร์เข้ามาภายในอุโมงค์เพื่อปล่อยความร้อนที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซีพีเออร์ จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งผลผลิตจากการเกษตรทั้งสามชนิด ได้แก่ ขิง กลัวย่น้ำว้า และใบมะกรูด กรณีการใช้ถ่านไม้มาเป็นเชื้อเพลิงให้กับเตาแก๊สซีพีเออร์และนำความร้อนที่ได้มาใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ถึง 9.84% 12.76% และ 24.20% และ 13.88% ตามลำดับ เมื่อประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ โครงการที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนมากที่สุดคือ การแปรรูปการอบแห้งใบมะกรูด เนื่องจากให้อัตราผลตอบแทนภายในสูงที่สุดเท่ากับ 56.25% มีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดเท่ากับ 1.77 ปี และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อย CO₂ และการปล่อย SO₂ ได้มากกว่า 90% เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างของอุโมงค์อบแห้ง [16]

เวียง อากรชี่ และคณะ [17] ได้ทำการศึกษา วิจัย และพัฒนารูปแบบเครื่องอบแห้งลำไยเนื้อสีทอง ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยนำหลักการอบแห้งลำไย ของเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์มาผสมผสานกับเครื่องอบแห้งแบบที่ชาวบ้านใช้เดิมใช้ลมร้อนจากระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจากเต่าชีวมวล ห้องอบแห้งจะอยู่ส่วนล่าง มีขนาด 1.30x6.00x1.40 m³ ส่วนห้องลมแลกเปลี่ยนความร้อนจะอยู่ในระบบอบแห้งสมุนไพรพลังงานทดแทนร่วม (ชีวมวล-แสงอาทิตย์)

ส่วนบน มีขนาด 1.30x6.00x0.80 m³ ด้านในมีท่อแลกเปลี่ยนลมร้อน นอกจากนี้ยังมีระบบเวียนลมร้อนบางส่วนกลับมาใช้ใหม่ด้วย ในระบบเตาชีวมวลมีการใช้เชื้อเพลิงฟืนลำไย 25 kg/h จากการทดสอบประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน อยู่ที่ประมาณ 50 % ความสามารถในการผลิตลำไยเนื้อสีทองอบแห้ง 120 kg/วัน อบแห้งลำไยที่มีความชื้นอยู่ที่ประมาณ 80- 85% อบแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ 14% ใช้เวลาอบแห้ง ประมาณ 10- 12 ชั่วโมง มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 0.67 ปี หรือ ประมาณ 1 ฤดูกาล อัตราผลตอบแทนการลงทุนอยู่ที่ 148.83%



รูปที่ 2.9 เครื่องอบแห้งลำไยสีทองแบบอุโมงค์ลม [17]

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก และคณะ [18] ได้ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลแบบสลับลมร้อน ที่มีระบบนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ มาใช้อบแห้งพริกชี้ฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องอบและลดระยะเวลาการคืนทุนของเครื่องอบแห้งลำไย จากการทดสอบพบว่าสภาวะเหมาะสมในการอบแห้งพริกชี้ฟ้าคือ การอบแห้งที่ชั้นความหนา 20 cm จำนวน 200 kg อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 80 °C อบแห้งพริกชี้ฟ้าที่มีความชื้นเริ่มต้น 250%db ลดลงเหลือ 13%db การอบแห้งที่ไม่นำอากาศมาหมุนเวียนพบว่าใช้เวลาการอบแห้ง 15 ชั่วโมง สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 12.95 MJ/kg น้ำระเหย และการอบแห้งที่นำความร้อนของอากาศกลับมาหมุนเวียนร้อยละ 80 ใช้เวลาการอบแห้ง 17 ชั่วโมง สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 10.23 MJ/kg น้ำระเหย ลดการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลงร้อยละ 21 พบว่าในการอบแห้งลำไยร่วมกับพริกชี้ฟ้าสามารถลดระยะเวลาการคืนทุนจากการอบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียวจาก 1.15 ปี เหลือ 0.79 ปี และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องอบแห้งลำไยอีกด้วย

จากงานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่า การอบแห้งสามารถใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ ผลและความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในการอบแห้งผลผลิตต่างๆ โดยผ่านการอบแบบระบบแบบแห้งที่มีความเหมาะสมกับผลผลิตแต่ละชนิดแต่ยังไม่พบการใช้ข้อดี ข้อด้อย ของพลังงานทั้ง 2 ชนิด ในการอบแห้งผลผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการนำข้อดีของพลังงานชีวมวล มาสนับสนุนการทำงานหรือมาเสริมในส่วนที่เป็นข้อด้อยของพลังงานแสงอาทิตย์คือ เรื่องของช่วงเวลาและความสม่ำเสมอของความร้อนที่ได้ แต่ก็จะเป็นการเพิ่มต้นทุนทางด้านพลังงานในการอบแห้งผลผลิตได้ ซึ่งจะต้องทำการพิจารณาประกอบกันทั้ง 2 กรณี คือ ความต่อเนื่องในการอบแห้ง และต้นทุนในการผลิต