



## เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางการพัฒนา A Solar Dryer Technology and Its Development

จารุวัฒน์ เจริญจิต\*

Jaruwat Jareanjit\*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

\*Correspondent author: j.jaruwat@gmail.com

Received November 1, 2011

Accepted January 26, 2012

### บทคัดย่อ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขอเสนอแนะบทความนี้เป็นบทความวิชาการปริทรรศน์เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งด้วยอาทิตย์ในประเทศไทยพบว่าสามารถแบ่งตามวิธีการรับรังสีอาทิตย์ได้ 3 แบบ คือ รับรังสีอาทิตย์โดยตรง, โดยอ้อม และแบบผสม มีลักษณะการหมุนเวียนอากาศภายใน 2 ลักษณะ คือ หมุนเวียนตามธรรมชาติ (passive system) และหมุนเวียนแบบบังคับ (active system) โดยปัจจัยหลักของการเพิ่มสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ คือ อุณหภูมิ, ความเร็ว และความชื้นของอากาศในระบบ รวมถึงการพัฒนากระบวนการให้มีความสม่ำเสมอ และเพิ่มระยะเวลาการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้รังสีอาทิตย์มีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น ตามลำดับ โดยการประยุกต์ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ที่มีถึงสะสมน้ำร้อน ทำงานร่วมกับโรงเรือนกระจก เป็นแนวทางที่ควรศึกษา เพื่อพัฒนาการผลิตอากาศร้อนในกระบวนการอบแห้งแบบ Mixed active solar drying และ Mixed passive solar drying ตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่สามารถผลิตได้แปรผันตามสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด โดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางสะสมความร้อน หรือทำงานร่วมกับระบบฮีตปั๊ม ตามความเหมาะสมของวัสดุอบแห้งชนิดต่างๆ

### Abstract

This academic review article is on solar dryer technology aimed to provide development and to promote a use of solar dryer technology in Thailand. The article reveals 3 methods of solar reception, namely direct solar reception, indirect solar reception and mixed solar reception. Two systems of air circulation used in this solar dryer technology were a passive system and an active system. The main factors enhancing performance of the solar dryer were temperature, air velocity and humidity in the system. A development of system stability and duration of solar drying can provide more benefits of sunlight. An adaption of solar heat water system with a heated water tank and a greenhouse is worth experimenting to produce heat in drying process of mixed active solar drying and mixed

passive solar drying. The produced temperature varies according to the capacity of each type of solar collectors meanwhile water is used as either a heat accumulator or an accelerator with heat pumping system depending on types of materials appropriate for solar drying.

**คำสำคัญ :** การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พลังงานรังสีอาทิตย์

**Keywords :** solar dryer, solar collector, solar energy

## 1 บทนำ

ปัญหาด้านการขาดแคลน และราคาพลังงานที่สูงขึ้นมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจเป็นหนึ่งในกลไกหลักในการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ของประเทศ เนื่องจากมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นทุกปี โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรเพื่อแปรรูปและเพิ่มมูลค่าสินค้าเป็นกลุ่มหนึ่งที่ต้องส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุนทางด้านพลังงาน เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการทางความร้อน มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง โดยทั่วไปวิธีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยฮีตปั๊ม นอกจากนี้การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ (1) รวมถึงระบบถูกใช้ผสมผสาน เช่น ลมร้อนทำงานร่วมกับรังสีอินฟราเรด (2) และการใช้รังสีอาทิตย์สำหรับการผลิตลมร้อนในการอบแห้งแบบ passive, active และ hybrid หลายรูปแบบ (3) นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาการใช้วัสดุให้ประหยัดและเบา และเทคนิคการสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนเฟส (4) แบบต่างๆ เพื่อเพิ่มสมรรถนะและลดต้นทุนของระบบมากขึ้น โดยบทความนี้ให้ความสำคัญกับการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์เป็นหลัก เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด ปราศจากมลพิษ มีศักยภาพสูง และเหมาะแก่การนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนพลังงานฟอสซิล ซึ่งมีแนวโน้มราคาเพิ่มขึ้น และกำลังหมดไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน โดยภูมิประเทศของประเทศไทยมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  หรือ  $5.05 \text{ kWh/m}^2\text{-day}$

ซึ่งปัจจุบันการผลิตความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar thermal) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในการทำน้ำร้อน การอบแห้ง สามารถช่วยแก้ปัญหาทางด้านพลังงาน การแปรรูปอาหาร เป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงและทางอ้อม ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นในการพิจารณาการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

## 2. เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์

หลักการทำงานของ การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ ที่มีใช้กันอยู่ในประเทศไทย คือการไล่ความชื้นออกจากวัสดุ โดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุด้วยวิธีการพาด้วยอากาศ (convection) หรือการแผ่รังสี (radiation) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุให้ความชื้นกลายเป็นไอระเหยอออกไป โดยเริ่มต้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้ง จนเกิดการแพร่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุมาสู่พื้นผิว และจะถูกไล่ออกไปด้วยวิธีการพาด้วยอากาศต่อไป ให้ความชื้นโดยรวมของวัสดุลดลง โดยที่ความสามารถของอากาศในการทำให้เกิดการระเหยจากวัสดุ (drying potential) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รวมถึงความเร็วลมที่นำพาความร้อน ซึ่งกระบวนการในการอบแห้ง เป็นการระเหยน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ออกไปให้เหลือปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นสุดท้ายไม่เท่ากัน (5) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยความร้อนดังกล่าวจะอยู่ในรูปของรังสีอาทิตย์ โดยปกติแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสีต่างๆ 3 ช่วง คือ อัลตราไวโอเลต (UV) เป็นช่วงรังสีที่ฆ่าเชื้อโรคบางชนิดได้ ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ และจะทำให้สีซีดจาง อัลตราไวโอเลตมีประมาณ 3% ของรังสีอาทิตย์ ช่วงที่สอง คือ แสงสว่าง ทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ และช่วงสุดท้าย คือ

อินฟราเรด (infrared) เป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อการอบแห้งหรือตากแห้ง เพราะช่วงนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีปริมาณมากถึง 53% ของรังสีอาทิตย์ พลังงานที่

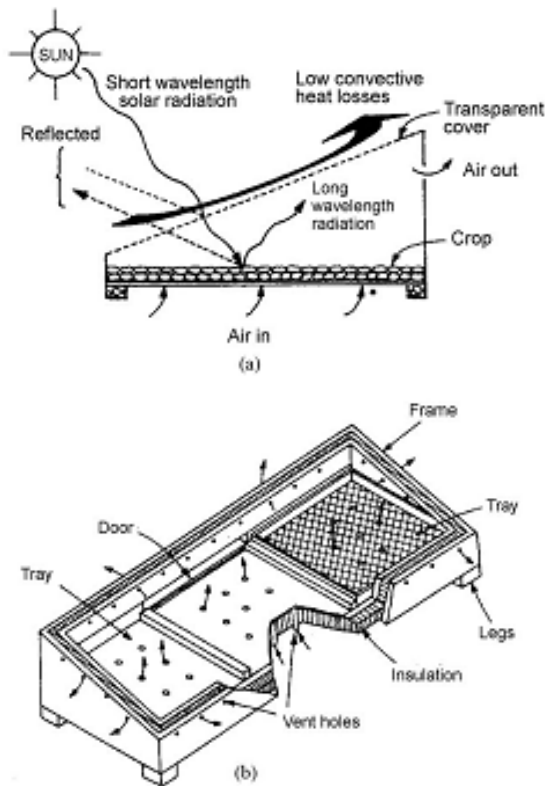
3. หลักการทำงานของกรอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ แบ่งตามวิธีการรับรังสีอาทิตย์ ของเครื่องอบแห้งสามารถจำแนกออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

ตารางที่ 1. ปริมาณความชื้นเริ่มต้น-สุดท้าย และอุณหภูมิสูงสุด ในการอบแห้งวัสดุทางเกษตรต่างๆ (5)

|    | วัสดุทางเกษตรต่างๆ         | ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (%w.b.) | ปริมาณความชื้นสุดท้าย (%w.b.) | อุณหภูมิสูงสุด °C |
|----|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 1  | ข้าวเปลือก (Paddy, raw)    | 22-24                          | 11                            | 50                |
| 2  | ข้าวึ่ง (Paddy, parboiled) | 30-35                          | 13                            | 50                |
| 3  | ข้าวโพด (Maize)            | 35                             | 15                            | 60                |
| 4  | ข้าวสาลี (Wheat)           | 20                             | 16                            | 45                |
| 5  | ข้าวโพด (Corn)             | 24                             | 14                            | 50                |
| 6  | ข้าว (Rice)                | 20                             | 11                            | 50                |
| 7  | ถั่ว (Pulses)              | 20-22                          | 9-10                          | 40-60             |
| 8  | เมล็ดพืชน้ำมัน (Oil seed)  | 20-25                          | 7-9                           | 40-60             |
| 9  | ถั่วลันเตา (Green peas)    | 80                             | 5                             | 65                |
| 10 | กะหล่ำดอก (Cauliflower)    | 80                             | 6                             | 65                |
| 11 | แครอท (Carrots)            | 70                             | 5                             | 75                |
| 12 | ถั่วกรีนบี (Green beans)   | 70                             | 5                             | 75                |
| 13 | หัวหอม (Onions)            | 80                             | 4                             | 55                |
| 14 | กระเทียม (Garlic)          | 80                             | 4                             | 55                |
| 15 | กะหล่ำปลี (Cabbage)        | 80                             | 4                             | 55                |
| 16 | มันเทศ (Sweet potato)      | 75                             | 7                             | 75                |
| 17 | มันฝรั่ง (Potatoes)        | 75                             | 13                            | 75                |
| 18 | พริก (Chillies)            | 80                             | 5                             | 65                |
| 19 | แอปเปิ้ล (Apples)          | 80                             | 24                            | 70                |
| 20 | แอพริคอต (Apricot)         | 85                             | 18                            | 65                |
| 21 | องุ่น (Grapes)             | 80                             | 15-20                         | 70                |
| 22 | กล้วย (Bananas)            | 80                             | 15                            | 70                |
| 23 | ฝรั่ง (Guavas)             | 80                             | 7                             | 65                |
| 24 | มะเขือมอญ (Okra)           | 80                             | 20                            | 65                |
| 25 | สับปะรด (Pineapple)        | 80                             | 10                            | 65                |
| 26 | มะเขือเทศ (Tomatoes)       | 96                             | 10                            | 60                |
| 27 | มะเขือยาว (Brinjal)        | 95                             | 6                             | 60                |

ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์และเคลื่อนที่มายังบรรยากาศนอกโลกอันที่จริงมีปริมาณสูงมาก แต่จะถูกบรรยากาศเหนือพื้นโลกดูดซับบางส่วนและเหลือประมาณ 800-1000 W/m<sup>2</sup>

### 3.1 รับรังสีอาทิตย์โดยตรง (Direct solar drying; DSD)

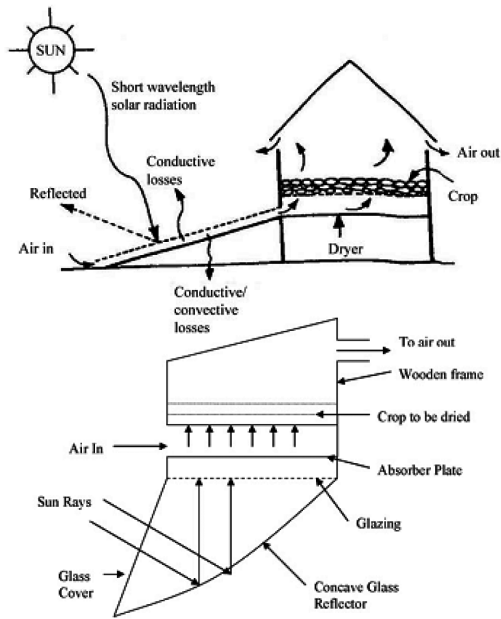


รูปที่ 1. โครงสร้างของระบบอบแห้งแบบ Direct solar drying (DSD) (5)

การอบแห้งแบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง การอบแห้งด้วยวิธีนี้วัสดุอบแห้ง รับรังสีอาทิตย์โดยตรง วัสดุอบแห้งมักจะอยู่ในวัสดุโปร่งใส อากาศภายในเครื่องอบแห้ง ได้รับความร้อน และจะพาความชื้นออกจากวัสดุ และหมุนเวียนตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติ เครื่องอบแห้งแบบนี้อุณหภูมิภายในอาจสูงกว่าบรรยากาศประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$  ทำให้เวลาในการอบแห้งจะสั้นลง มีโครงสร้างพื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นตู้อบแห้ง (cabinet solar dryer) ประกอบด้วยวัสดุโปร่งใส เพื่อให้รังสีอาทิตย์ส่องผ่านไปยังวัสดุอบแห้งในตู้อบ โดยรังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับสู่บรรยากาศ ที่เหลือส่วนใหญ่จะผ่านกระจกเข้าไปในตู้และถูกดูดกลืนโดยวัสดุอบแห้ง และแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์สีดำ เพื่อ

เพิ่มประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ตามลำดับ จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเปล่งรังสีความร้อนออกมาจากตัวมันเอง ซึ่งรังสีความร้อนดังกล่าวอยู่ในย่านอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นยาวกว่ารังสีอาทิตย์ ไม่สามารถสะท้อนทะลุผ่านกระจกออกไปได้ ปรากฏการณ์สถานะเรือนกระจก (greenhouse effect) ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องอบสูงขึ้น ตามลำดับ โดยมีกระจกใสปิด เพื่อช่วยลดความร้อนที่สูญเสียความร้อนออกจากตู้อบสู่บรรยากาศโดยตรง อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวมีการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน และการระเหยตัวของความชื้นเสมอ เนื่องจากการเจาะรูที่ฐานและที่ด้านบนของตู้อบเพื่อก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน เพื่อพาความชื้นออกจากวัสดุอบแห้ง เครื่องอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในเขตที่อากาศร้อนและค่อนข้างแห้ง โดยที่สามารถก่อสร้างและใช้งานได้ง่าย ข้อจำกัดของตู้อบแห้งแบบ Cabinet dryer คือ ส่วนใหญ่มีความจุขนาดเล็ก สีของวัสดุอบแห้งซีดจางลงเนื่องจากสัมผัสกับรังสีอาทิตย์โดยตรง ความชื้นกลั่นตัวเป็นหยดบริเวณกระจก ทำให้ค่าส่งผ่านรังสีอาทิตย์ลดลง ประสิทธิภาพการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่ำเนื่องจากมีวัสดุอื่นมาบังแผ่นดูดกลืนรังสี ซึ่งปัจจุบันเครื่องอบแห้งแบบนี้ได้รับการพัฒนาให้มีรูปแบบและวัสดุโปร่งใสให้ มีประสิทธิภาพสูง เช่น วัสดุที่ใช้ทำหลังคา ต้องโปร่งใสทนทานรังสีอัลตราไวโอเลต รังสีอาทิตย์ผ่านเข้าง่ายและสะท้อนออกยาก ทำให้เก็บสะสมความร้อนได้เป็นอย่างดี และมีน้ำหนักเบาเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้าง ปัจจัยสำคัญในการพิจารณาปัจจัยหนึ่งคือ ราคาของวัสดุที่เลือกใช้ กระจกถือว่า เป็นวัสดุที่มีการเลือกใช้กันมากเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี ราคาถูก แต่มีปัญหาเรื่องการแตกหักง่าย เครื่องอบแห้งแบบโดยตรงที่มีใช้ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น แบบตู้อบแห้ง อุโมงค์หลังคาโค้ง หรืออาจเป็นหลังคาทรงจั่ว

### 3.2 รับรังสีอาทิตย์โดยอ้อม (Indirect solar drying; ISD)



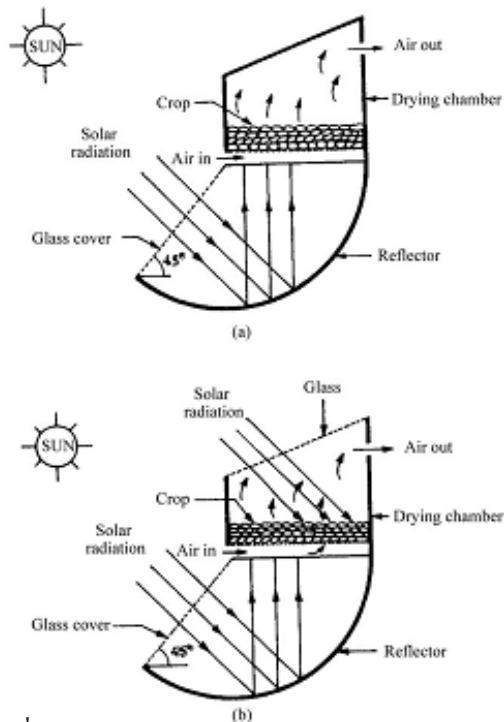
รูปที่ 2. โครงสร้างของระบบอบแห้งแบบ Indirect solar drying (ISD) (6)

เครื่องอบแห้งแบบนี้วัสดุอบแห้งไม่ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรง ทำให้ลดการเปลี่ยนสี และผลกระทบอื่นๆ ของวัสดุอบแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการสัมผัสรังสีโดยตรง โดยระบบดังกล่าวจะมีส่วนของอุปกรณ์ผลิตอากาศร้อนแบบต่างๆ สำหรับใช้ในห้องอบแห้ง ที่หุ้มฉนวนไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกภายนอกภายในห้องอบแห้งอาจทำเป็นชั้น หลายๆ ชั้น เพื่อให้บรรจุวัสดุในการอบแห้งได้มากขึ้น ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งแบบนี้สามารถแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ (solar air system collector) หรือใช้หลักการสะท้อนรังสีอาทิตย์ไปยังแผ่นดูดกลืนรังสี (6) สำหรับผลิตอากาศร้อน ในการให้ความร้อนกับวัสดุเพื่อระเหยความชื้นออกจากวัสดุ โดย

หลักการถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศร้อนและวัสดุเปียก บนพื้นฐานของความแตกต่างความเข้มข้นของความชื้น ระหว่างอากาศที่ใช้ออบแห้งกับความชื้นของอากาศบริเวณผิวของวัสดุเปียก ในส่วนของการถ่ายโอนความร้อนและมวล ตามลำดับ

### 3.3 รับรังสีอาทิตย์แบบผสม (Mixed Solar Dryers)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับแบบ ISD ต่างกันตรงที่ห้องอบแห้งจะทำด้วยวัสดุโปร่งใสด้วย เพื่อให้ห้องอบแห้งสามารถรับรังสีอาทิตย์แบบ DSD ด้วยเป็นการรับรังสีอาทิตย์สองแหล่ง คือความร้อนจากแหล่งภายนอก และ ภายในห้องอบแห้ง โดยการเลือกใช้งาน พิจารณาตามคุณสมบัติของวัสดุอบแห้งว่าได้รับผลกระทบจากการรับรังสีอาทิตย์โดยตรงได้หรือไม่ เช่น สีของวัสดุอบแห้ง มีความสำคัญมากน้อยเพียงใด ซึ่งเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ แบบ Reverse absorber cabinet dryer (RACD) รับรังสีอาทิตย์แบบผสม ดังรูปที่ 3. พบว่าห้องอบแห้งแตกต่างกันในส่วน ของ แบบมีกระจก และไม่มีกระจก (7) ซึ่งออกแบบให้มีห้องอบแห้งอยู่เหนือแผ่นดูดซับรังสีซึ่งติดตั้งบริเวณด้านล่างของตู้อบ โดยส่วนล่างสุดของระบบดังกล่าว ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีทรงกระบอก เพื่อสะท้อนรังสีไปยังแผ่นดูดกลืนรังสี รวมถึงติดตั้งกระจกใสปิด บริเวณแผ่นสะท้อนรังสี เพื่อลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาบริเวณแผ่นดูดกลืนรังสี อากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นจากแผ่นดูดรังสีอาทิตย์ไปยังตู้อบแห้ง โดยอากาศเย็นจากด้านล่างจะเข้ามาทดแทนทางช่องอากาศเข้าของตู้อบ เพื่อทำการไล่ความชื้นจากชั้นวัสดุอบแห้ง แล้วถูกปล่อยทิ้งไปทางด้านบนของตู้อบแห้ง ตามลำดับ

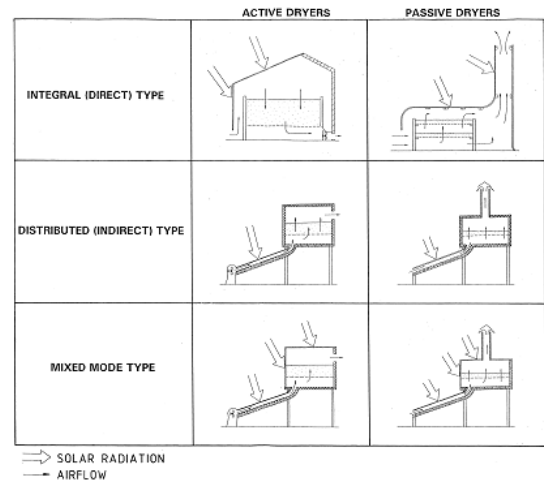


รูปที่ 3. Reverse absorber cabinet dryer (a) แบบ Indirect และ (b) แบบ Mixed (7)

#### 4. ชนิดของระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์

ปัจจุบันนี้มีเครื่องอบแห้งหลายประเภทที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ต่างๆ ของการอบแห้งวัสดุในท้องถิ่นต่าง ๆ โดยประเทศในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก พบว่าเครื่องอบแห้งที่มีศักยภาพและได้รับความนิยม เช่น ตู้อบแห้งชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ , เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับรังสีอาทิตย์โดยอ้อม และเครื่องอบแห้งแบบเรือนกระจก (8) นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์อบแห้งรังสีอาทิตย์ (tunnel dryers) เป็นที่นิยมในการอบวัสดุทางการเกษตรเช่นกัน จากข้อมูลข้างต้น สามารถจัดหมวดหมู่ให้เป็นระบบ โดยพิจารณาจากการออกแบบและรูปแบบการใช้ประโยชน์จากรังสีอาทิตย์ดังรูปที่ 4 การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบ่งตามการหมุนเวียนของอากาศในตู้อบแห้งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือการอบแห้งแบบหมุนเวียนตามธรรมชาติ (passive system) และแบบหมุนเวียนแบบ

บังคับ (active system) และสามารถแยกประเภทตามลักษณะการรับรังสีได้อีก 3 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งที่รับรังสีอาทิตย์โดยตรง (direct type) รับรังสีอาทิตย์โดยอ้อม (indirect type) และแบบผสม (mixed mode type) ตามลำดับ

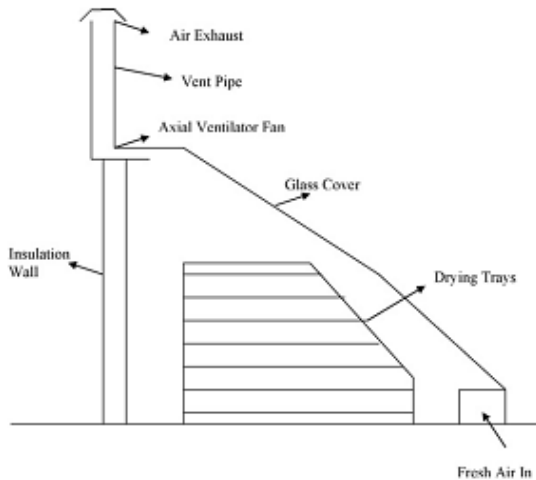


รูปที่ 4. การออกแบบระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบต่าง ๆ (9)

#### 4.1 การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบ Passive system (natural convection)

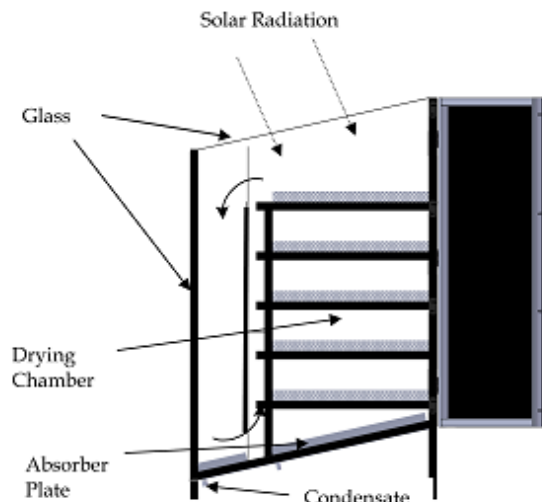
การอบแห้งแบบ Passive เป็นระบบที่ไม่อาศัยระบบขับเคลื่อนอากาศ เช่น พัดลม มาช่วยในการหมุนเวียนอากาศในระบบอบแห้ง อาศัยการเคลื่อนที่แบบธรรมชาติ ทำงานโดยอาศัยพลังงานจากรังสีอาทิตย์ในการสร้างอากาศร้อน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศจากแรงลอยตัวของอากาศร้อนในตู้อบ (buoyancy force) เช่น ตู้อบแห้งแบบ RACD และ ห้องอบแห้งแบบเรือนกระจก (green house dryer) หรือ การหมุนเวียนที่มีการใช้ปล่องเพื่อระบายอากาศที่นำพาความชื้นออกจากวัสดุที่ต้องการอบแห้ง โดยอาศัยปรากฏการณ์ Chimney effect หรือการเคลื่อนตัวของอากาศเนื่องจากความดันที่แตกต่าง รวมถึงการพัฒนาการอบแห้งโดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ในห้องอบแห้งแบบเรือนกระจก (10)





รูปที่ 5. Passive green houses dryer (11)

Jareanjit และ คณะ (12) ผสมผสานเทคนิคการอบแห้งที่รับรังสีอาทิตย์โดยตรงทำงานแบบ Passive ในระบบปิด โดยอาศัยหลักการของ แรงลอยตัวโดยอิสระของอากาศในตู้อบ สำหรับการหมุนเวียนของอากาศร้อนภายในระบบ ในการอบไล่ความชื้น ร่วมกับหลักการกลั่นน้ำ หรือเอทานอลด้วยรังสีอาทิตย์แบบถาด (basin type) สำหรับควบแน่นความชื้นออกจากระบบ โดยไม่มีการใช้พลังงานจากภายนอก ตู้อบดังรูปที่ 6 อาศัยปรากฏการณ์สถานะเรือนกระจก จนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศมีความหนาแน่นน้อยลงหรือน้ำหนักเบาขึ้น และลอยตัวขึ้นไปบริเวณส่วนบนของตู้อบผ่านวัสดุที่ต้องการอบแห้งพาความชื้นไปควบแน่นที่บริเวณผิวกระจกด้านบน และด้านหน้า ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศต่ำลง มีความหนาแน่นมากขึ้นเคลื่อนที่ลง มาทดแทน อากาศร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของตู้อบ ตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติในลักษณะเช่นนี้ ประกอบกับรูปทรงสี่เหลี่ยมด้านขนาน ของตู้อบทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้นของอากาศในตู้ ในขณะที่น้ำที่ควบแน่นจะถูก ระบายออกจากตู้อบผ่านทางท่อทางออกตลอดเวลา

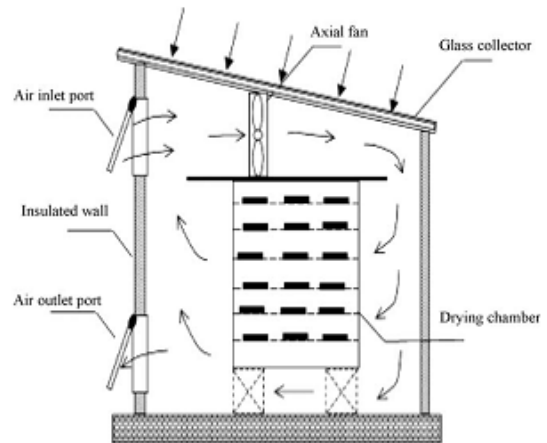


รูปที่ 6. ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไอโซฟอน (12)

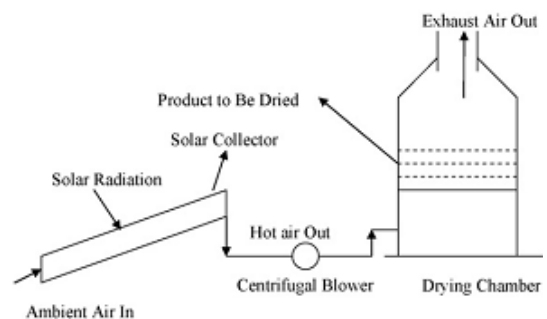
#### 4.2 การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบ Active system (forced convection)

การอบแห้งแบบ Active เป็นระบบที่มีอุปกรณ์ช่วยให้อากาศเคลื่อนที่ และหมุนเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น พัดลม โดยทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกให้เคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์เพื่อถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศ และเพิ่มความเร็วให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านวัสดุอบแห้ง ให้สูงกว่าการไหลเวียนโดยธรรมชาติ เพื่อลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะโดยทั่วไป ของเครื่องอบแห้งจะมีลักษณะคล้ายกับแบบ Passive เพียงแต่เพิ่มระบบขับเคลื่อนกระแสอากาศเข้าไปในเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มความเร็วของอากาศในการถ่ายโอนความร้อน และมวลความชื้นตามลำดับ โดยระบบนี้ส่วนให้ความร้อน และส่วนของตู้อบแห้งจะแยกส่วนกันตามความเหมาะสม รูปที่ 7-8 แสดงระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบ Active ที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ (solar air system collector) ซึ่งได้มีการพัฒนาให้มีสมรรถนะในการผลิตอากาศร้อน โดยการออกแบบแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นร่องตัววี เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสี กับอากาศ (13-14) ซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับผลิตอากาศร้อนบริเวณด้านบนของ

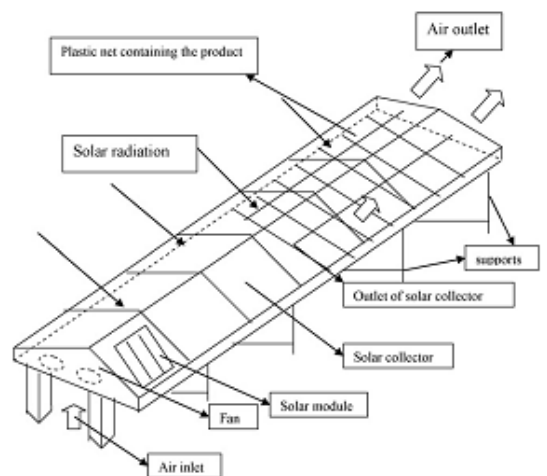
ตู้อบ โดยออกแบบให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศทำมุมที่เหมาะสมกับแนวระดับ เพื่อสามารถรับรังสีมากที่สุด รวมถึงทำให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศการติดตั้งแนวราบช่วยให้การไหลวนของอากาศดีขึ้น ตามลำดับ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ จะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตู้อบโดยตรงทางด้านบน โดยมีพัดลมช่วยในการหมุนวนอากาศในการรับความร้อนเพื่อผลิตอากาศร้อน และพาความร้อนไปอบแห้งวัสดุอบแห้งในแนวนานก่อนระบายความชื้นออกจากระบบบริเวณทางออกด้านล่างต่อไป หรือ Hossain และ Bala (15) ทำการประยุกต์ใช้แผงโซลาร์เซลล์สำหรับเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับขับพัดลมขนาดเล็กสำหรับการอบพริก ในเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์อบแห้งรังสีอาทิตย์ (solar tunnel dryers) ซึ่งอุณหภูมิในเครื่องอบสูงกว่าบรรยากาศเฉลี่ยประมาณ  $21.6^{\circ}\text{C}$  จากสภาวะเรือนกระจก โดยที่มีคุณภาพสีที่ดี ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าการตากรังสีอาทิตย์ปกติดังแสดงในรูปที่ 9a สำหรับระบบขนาดใหญ่ Condori และคณะ(16) ได้ทำการทดสอบเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์อบแห้งรังสีอาทิตย์ขนาดใหญ่ ที่ใช้วัสดุราคาถูกประเภทพลาสติกใส และสีดำเป็นอุปกรณ์หลัก ดังแสดงในรูปที่ 9b นอกจากนี้ Sethi และ Arora (10) ได้พัฒนาการอบแห้งโดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์ ในห้องอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ทำงานแบบ Active สามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศและวัสดุอบแห้งในเรือนกระจก  $1-4.5^{\circ}\text{C}$  และ  $1-3^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยลดเวลาอบแห้งลงประมาณ 16.67% เมื่อเทียบกับเรือนกระจกที่ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี ในขณะที่การทำงานแบบ Passive สามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศและวัสดุอบแห้งในเรือนกระจก  $1-6.7^{\circ}\text{C}$  และ  $1-4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ โดยลดเวลาอบแห้งลงประมาณ 13.13% เมื่อเทียบกับเรือนกระจกที่ไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี ตามกลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนและมวลแบบบังคับ ซึ่งตัวระบบเองมีความซับซ้อนมากขึ้น มีการใช้พลังงานเพิ่มเติมในส่วนของการหมุนวนอากาศ เหมาะกับระบบขนาดใหญ่ที่มีการจัดวางวัสดุอบแห้งซับซ้อนเกินกว่าการหมุนเวียนอากาศแบบธรรมชาติทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 7. เครื่องอบแห้งแบบ Indirect active solar drying ที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศในชุดเดียวกับเครื่องอบ (5)

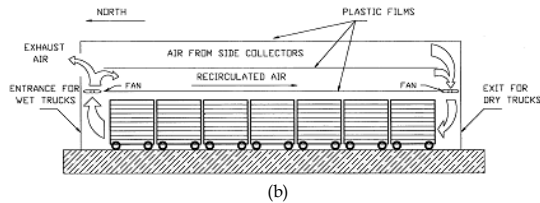


รูปที่ 8. เครื่องอบแห้งแบบ Indirect active solar drying ที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศแยกชุดกับเครื่องอบ (11)



(a)



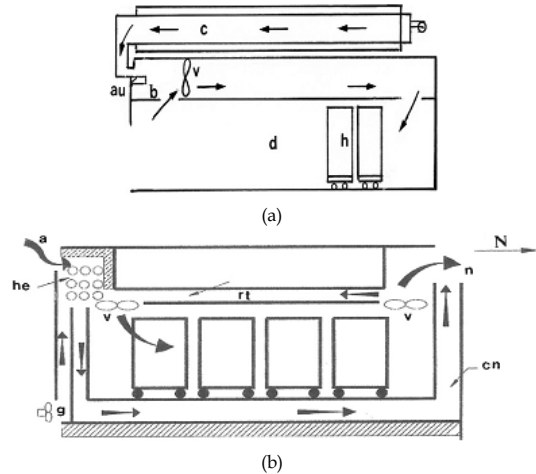


รูปที่ 9. เครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์คอปแห้งรังสีอาทิตย์ (solar tunnel dryers) (a) แบบเรือนกระจก ขนาดเล็ก (15) และ (b) แบบโรงเรือนพลาสติก ขนาดใหญ่ (16)

## 5. การเพิ่มสมรรถนะเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์

### 5.1 ระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ชนิดผสมผสาน (Hybrid solar dryer systems)

เครื่องอบแห้งแบบ Hybrid เป็นเครื่องอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ร่วมกับแหล่งความร้อนอื่น ในกรณีที่รังสีอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ หรือในบางฤดูที่มีปริมาณรังสีอาทิตย์น้อยเพื่อให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หรือต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้สูงขึ้น หรือลดระยะเวลาในการอบแห้งลง โดยแหล่งความร้อนเสริมที่นำมาใช้ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเหลือทิ้งจากแหล่งอื่น พลังงานความร้อนจากชีวมวล หรือก๊าซชีวภาพ จากลักษณะข้างต้นทำให้ระบบดังกล่าวมีความยืดหยุ่นสูง คือระบบสามารถทำงานได้โดยใช้รังสีอาทิตย์แหล่งเดียว ความร้อนเสริมแหล่งเดียว หรือทำงานร่วมกันทั้งคู่ การอบแห้งแบบผสมผสานมักใช้ในระบบที่มีความจุขนาดใหญ่ โดยใช้อัตราส่วนพลังงานรังสีอาทิตย์ในระบบประมาณ 50-60% ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งความร้อนเสริม Bena และ Fuller (17) พัฒนาเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์คอปแห้งรังสีอาทิตย์ ที่ใช้ร่วมกับ การใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ เป็นแหล่งความร้อนสำรอง ดังแสดงในรูปที่ 10a ซึ่งทำจากแผ่นพลาสติกใส ผนังด้านบนและด้านข้าง โดยด้านล่างใช้เอทิลีนโพลีเอทิลีนแบบทึบแสงสีดำทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนความร้อน เพื่อผลิตอากาศร้อน จากรังสีอาทิตย์แบบเรือนกระจก ร่วมกับเตาชีวมวลอย่างง่าย เหมาะการอบแห้งผลิตภัณฑ์ประเภทผักและผลไม้ ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า



รูปที่ 10. เครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์คอปแห้งรังสีอาทิตย์ชนิดผสมผสาน ที่มีแหล่งความร้อนภายนอก (a) แบบโรงเรือนพลาสติก (17) และ (b) แบบโรงเรือนพลาสติกที่มีการหมุนวนอากาศร้อนมาใช้ใหม่

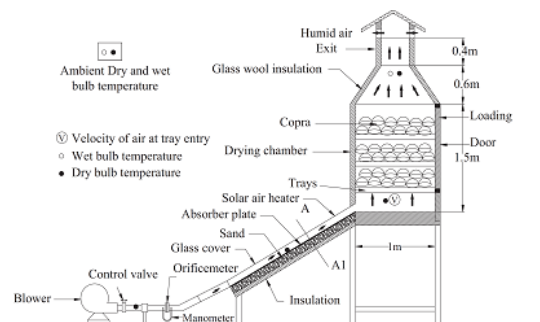
รูปที่ 10(b) แสดงเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์คอปแห้งรังสีอาทิตย์ที่ Condori และคณะ (16) ปรับปรุงเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยเพิ่มแหล่งความร้อนเสริม ในการอบแห้ง ชนิดอุโมงค์คอปแห้งรังสีอาทิตย์ ซึ่งทำงานโดยให้อากาศบางส่วน ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้ได้ค่าที่กำหนด โดยรับความร้อนจากการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพ อากาศอีกส่วนหนึ่งจะรับความร้อนจากผนังดูดกลืนรังสีที่ติดตั้งรับรังสีอาทิตย์ แบบเรือนกระจก เพื่อใช้อบแห้งในระบบ โดยมีพัดลมช่วยในการหมุนเวียนอากาศในระบบ และส่วนที่เหลือจะนำกลับมาผ่านทอร์ไบเคิล และระบายออกจากระบบผ่านปล่อง ตามลำดับ โดยระบบได้รับการพัฒนาต่อเนื่องในหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะสำหรับใช้ในการอบแห้ง จำนวนมากของวัสดุ รวดเร็วขึ้น ในกรณีความเข้มของรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ

### 5.2 ระบบอบแห้งที่มีการสะสมความร้อน (Heat storage for drying systems)

การสะสมความร้อนในระบบอบแห้ง เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน ระบบดังกล่าวจะช่วยให้ระบบอบแห้ง ทำงาน

ต่อไปได้ในกรณีที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ หรือในกรณีที่ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์สูงเกินไป ซึ่งการเก็บความร้อนดังกล่าวไว้เพื่อหลีกเลี่ยงการอบแห้งของผลิตภัณฑ์เสียหายจากการที่อุณหภูมิที่สูงเกินไปกำหนด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ละเอียดอ่อนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ รวมถึงเป็นการเพิ่มเวลาการอบแห้งจากปกติ สามารถดำเนินการอบแห้งต่อเนื่องจนถึงเวลากลางคืน กรณีที่ผลิตภัณฑ์ต้องการอบแห้งให้เสร็จสิ้นในขั้นตอนเดียว หรือทันทีหลังการเก็บเกี่ยว โดยวิธีการที่พบมากที่สุดในการสะสมความร้อน ประกอบด้วยการสะสมความร้อนในตัวของสารทำงานประเภทของเหลว และการจัดเก็บความร้อนโดยตรงจากรังสีอาทิตย์ โดยระบบสะสมความร้อนจะมี 3 ประเภท คือ แบบความร้อนสัมผัส (sensible heat) เช่น การเก็บสะสมในน้ำ หรือน้ำมัน รวมถึงหิน พื้นดิน คอนกรีตและทราย แบบความร้อนแฝง (latent heat) ใช้สารเปลี่ยนสถานะ (phase change material, PCM) ในรูปของแข็ง-ของเหลว เช่น พาราฟิน และแบบความร้อนในรูปเคมี (chemical energy storage) ซึ่งสารตัวกลางในการเก็บสะสมความร้อน มีการเปลี่ยน โครงสร้างทางเคมี เมื่อมีการรับความร้อนหรือคายความร้อน โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติทางอุณหภาพของสารทำงานที่ใช้สะสมความร้อนแบบความร้อนสัมผัส และแบบความร้อนแฝง(PCM) ในสถานะของแข็ง และของเหลว รวมถึงสารเคมีต่างๆ (18-19) สำหรับพิจารณาเลือกสารสะสมความร้อนที่เหมาะสม ซึ่งส่งเสริมการเลือกใช้เทคโนโลยีทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมต่อไป Alkilani และคณะ(20) ปฏิทรรศงานวิจัยด้านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ ทำงานร่วมกับระบบสะสมความร้อนในการผลิตอากาศร้อนในระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ และใช้ร่วมกับระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก พบว่าส่วนใหญ่ให้ความสำคัญแนวทางการใช้วัสดุสะสมแบบเปลี่ยนสถานะ (PCM) ซึ่งมีข้อดีคือคุณสมบัติของการสะสมความร้อนแบบเปลี่ยนสถานะสูงกว่าแบบความร้อนสัมผัสหลายเท่าที่ปริมาตรสารทำงานกับ ส่งผลให้การใช้ปริมาณของสารทำงานน้อยกว่ามากเป็นการประหยัดต้นทุนในส่วนจากระบบสะสม นอกจากนี้ Sethi และ Sharma (21) ปฏิทรรศ

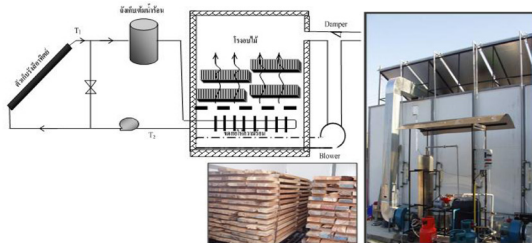
งานวิจัยด้านสมรรถนะการใช้ชั้นหิน น้ำ และ PCM ชนิดต่าง ๆ เป็นวัสดุสะสมความร้อนในระบบอบแห้งแบบเรือนกระจกที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน โดยสมรรถนะของแต่ละระบบขึ้นกับ ตำแหน่งติดตั้ง สภาพอากาศ และขนาดของเรือนกระจก ซึ่ง วัสดุสะสมความร้อน สามารถเพิ่มอุณหภูมิในเรือนกระจก ให้สูงกว่าบรรยากาศภายนอกในเวลากลางคืน ได้ประมาณ 2-14°C โดยระบบที่ใช้ PCM จะมีขนาดของระบบสะสมความร้อนเล็กกว่า เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากสามารถสะสมความร้อนได้ในรูปแบบความร้อนแฝง และความร้อนสัมผัส



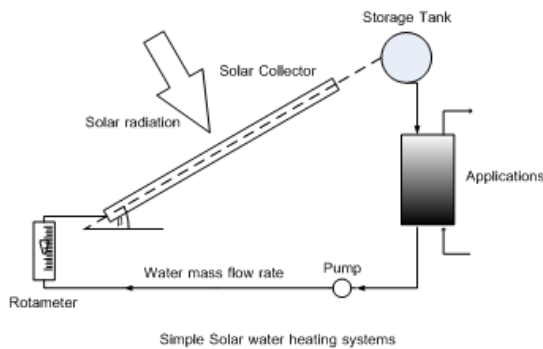
รูปที่ 11. เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ที่มีระบบสะสมความร้อน (22)

### 5.3 ระบบอบแห้งร่วมระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ (Solar water heating systems)

เป็นระบบอบแห้งที่ประยุกต์ใช้ ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ที่มีถึงสะสมความร้อน เป็นแหล่งพลังงานความร้อนหลักในการผลิตน้ำร้อนระดับอุณหภูมิต่างๆ เพื่อนำไปถ่ายเทให้กับอากาศในการผลิตอากาศร้อน สำหรับระบบอบแห้ง ตามลำดับ รูปที่ 12 เป็นการผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ (23) น้ำร้อนที่ผลิตได้ จะถูกป้อนผ่านชุดท่อในห้องอบไม้ และทำอากาศภายในห้องให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นอากาศร้อน จะลอยตัวผ่านกองไม้ที่ต้องการอบแห้ง และพาความชื้นออกไปจากห้อง ในกรณีที่อุณหภูมิไม่สูงพอ ที่ถังต้มน้ำร้อนจะมีการให้ความร้อนเสริมเพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำที่เข้าสู่ชุดท่อในห้อง ไม้มีค่าคงที่ อุณหภูมิอากาศร้อนสามารถทำได้ถึง 80°C



รูปที่ 12. การอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม้ ด้วยระบบน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ (23)



รูปที่ 13. ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์พื้นฐาน

โดยรูปที่ 13 แสดงพื้นฐานของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอาทิตย์เปลี่ยนเป็นความร้อนถ่ายโอนให้กับสารตัวกลาง (น้ำ อากาศ หรือ

ของไหลชนิดอื่น) ที่ไหลผ่านท่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ในกระบวนการทางความร้อนทันที หรือส่งไปถึงสะสมความร้อน สำหรับใช้ในกรณีที่ไหลลดความร้อนไม่คงที่ หรือสำรองความร้อนเพื่อใช้ในช่วงที่ไม่มีรังสีอาทิตย์ โดยใช้ปั๊ม หรือพัดลม ในระบบ Active หรือ อาศัยหลักการหมุนเวียนโดยธรรมชาติ ในระบบ Passive ตามลำดับ ซึ่งพลังงานความร้อนดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานโดยตรง (direct systems) หรือ โดยทางอ้อม (indirect systems) โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (24) ดังแสดงในรูปที่ 14 กรณีแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารตัวกลางถ่ายโอนความร้อนต่างชนิดกันตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนหลัก หรือ แหล่งความร้อนเสริมเพื่อประหยัดพลังงาน โดยน้ำเป็นสารทำงานที่นิยมใช้ในระบบดังกล่าว จากคุณสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสมคือค่าความจุความร้อนจำเพาะที่มีค่าเท่ากับ  $4.187 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$  ส่งผลให้สามารถสะสมความร้อนได้ดี และสามารถถ่ายโอนความร้อนให้กับสารทำงานชนิดอื่นที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะต่ำกว่า (อากาศ หรือน้ำมัน) และมีการผลิตเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ในรูปแบบของแหล่งความร้อนหลัก หรือแหล่งความร้อนเสริมเพื่อประหยัดพลังงาน ต่อไป

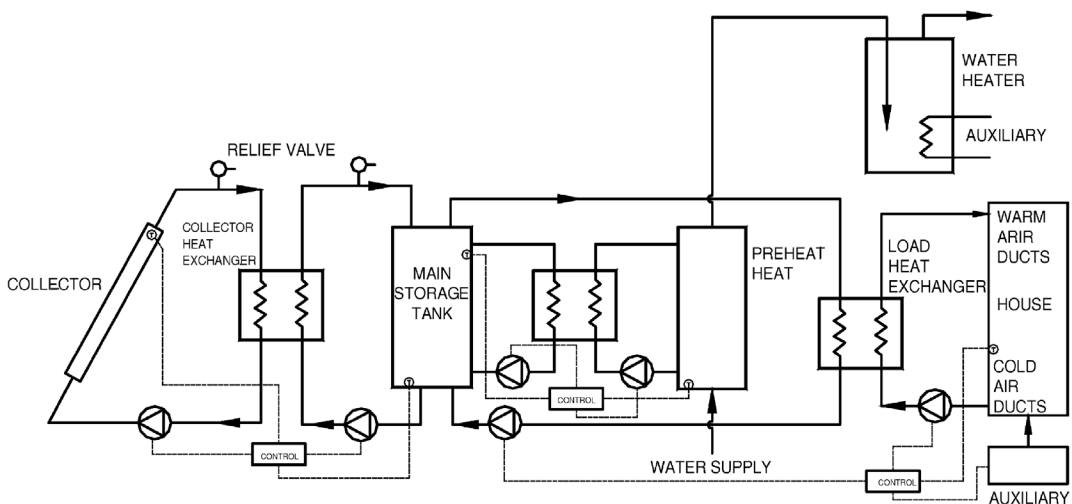


Fig. 36. Detail schematic of a solar water heating system.

รูปที่ 14. ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์แบบมีแหล่งความร้อนเสริม พร้อมถังสะสมความร้อนสำหรับจ่ายน้ำร้อน และอากาศร้อน (24)

**ตารางที่ 2.** ประเภทของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบต่างๆ และช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้ (25)

| การเคลื่อนที่                 | ประเภทตัวเก็บรังสีอาทิตย์          | ลักษณะการ<br>ดูดกลืนรังสี | ช่วงอุณหภูมิ<br>(°C) |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| อยู่กับที่                    | ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC)       | แผ่นราบ                   | 30-80                |
|                               | ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC)   | แผ่นราบ                   | 50-200               |
|                               | ตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC)        | แนวท่อ                    | 60-240               |
| ติดตาม<br>ดวงอาทิตย์<br>1 แกน | ตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (CPC)        | แนวท่อ                    | 60-300               |
|                               | Linear Fresnel reflector (LFR)     | แนวท่อ                    | 60-250               |
|                               | ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลา (PTC)   | แนวท่อ                    | 60-300               |
|                               | ตัวเก็บรังสีแบบรางทรงกระบอก (CTC)  | แนวท่อ                    | 60-300               |
| ติดตาม<br>ดวงอาทิตย์<br>2 แกน | ตัวสะท้อนรังสีแบบจานพาราโบลา (PDR) | จุดโฟกัส                  | 100-500              |
|                               | Heliostat field collector (HFC)    | จุดโฟกัส                  | 150-2000             |

ปัจจุบันมีตัวเก็บรังสีอยู่หลายชนิด มีคุณลักษณะเฉพาะ (25) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 ซึ่งแต่ละชนิดมีศักยภาพเชิงความร้อน หรือช่วงอุณหภูมิที่ผลิตได้แตกต่างกัน โดยช่วงอุณหภูมิดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางความร้อนในหลายระดับตามความเหมาะสม แต่ที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์และเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะมีอยู่สองชนิดคือ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบมีกระจกปิด และตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของตัวเก็บรังสีแบบอยู่กับที่ (stationary) หันหน้าไปทางทิศใต้ เมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกเหนือ หรือหันหน้าไปทางทิศเหนือ เมื่อตำแหน่งติดตั้งอยู่ซีกโลกใต้ สำหรับประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร อยู่ซีกโลกเหนือ จึงหันหน้าไปทางทิศใต้ เพื่อรับรังสีได้ตลอดทั้งปี ทำมุมกับแนวระดับ 10–15° เท่ากับค่าแฉะจุด (latitude) เพื่อให้แสงตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ อาจมากกว่า หรือน้อยกว่า ตามความเหมาะสม

จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่ารังสีอาทิตย์มีศักยภาพทางความร้อนในการผลิตสารทำงานอุณหภูมิช่วงต่างๆ ผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่ง (European Solar Thermal Industry Federation, 2006) รายงานช่วงอุณหภูมิที่มีศักยภาพในกระบวนการทางความร้อนภาคอุตสาหกรรมต่างๆ โดยในอุตสาหกรรมการอบแห้ง ใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง (30-90°C) เมื่อพิจารณา

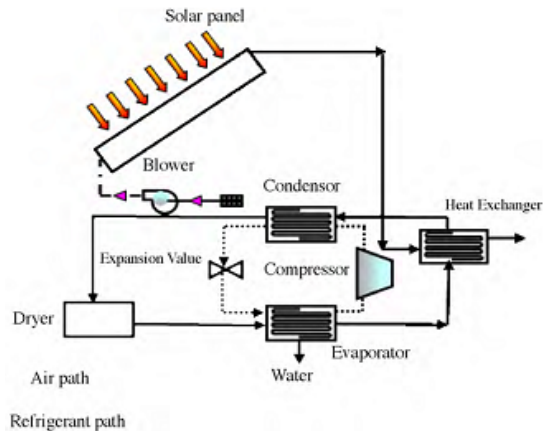
กับข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่า ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (FPC) สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะมีศักยภาพสูงขึ้น เมื่อสามารถทำอุณหภูมิได้ประมาณ 250°C ซึ่งช่วงอุณหภูมิ 80°C - 250°C ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (ETC), และตัวเก็บรังสีแบบซีพีซี (compound parabolic collector; CPC) มีสมรรถนะในการผลิตน้ำร้อนได้ มีความเป็นไปได้สูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอบแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นระบบ Active และสามารถเลือกใช้เป็นระบบสะสมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาในภาพรวม ระบบดังกล่าวสามารถใช้ในกระบวนการความร้อน ในรูปแบบความร้อนหลัก ความร้อนเสริม เพื่อลดการใช้พลังงานตามความเหมาะสม หรือ สามารถเลือกใช้เป็นระบบสะสมความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 5.4 ระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ร่วมฮีตปั๊ม (Solar assisted heat pump drying systems)

ฮีตปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ได้เปรียบเชิงพลังงาน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถดึงความร้อนจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงได้ เช่นการดึงความร้อนจากอากาศร้อนทิ้งจากระบบต่างๆ มาใช้ประโยชน์ที่อุณหภูมิที่สูงกว่าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อเทียบกับการใช้หลอดไฟฟ้าในการทำงาน การใช้พลังงานเสริมจากภายนอกจึงน้อยกว่า ส่งผลให้ระบบ

มีการประหยัดพลังงาน จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่นิยมใช้ในการอบแห้ง ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศที่ให้ออบแห้งได้ ผ่านการควบคุมที่เหมาะสม โดยระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ร่วมฮีตปั๊ม (SAHPD) สามารถออกแบบให้ใช้งานได้โดยตรง หรือทำงานร่วมกับระบบสะสมความร้อน ได้ตามความต้องการ โดยรูปที่ 15 แสดงระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ร่วมฮีตปั๊มพื้นฐาน (26) ซึ่งในระบบนี้ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ระบบอากาศ ทำหน้าที่ผลิตความร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในลักษณะเป็นแหล่งความร้อนเสริมให้กับอากาศในระบบอบแห้งแบบฮีตปั๊ม ในขั้นต้น ก่อนไปรับความร้อนจากคอนเดนเซอร์อีกครั้ง โดยใช้บรรยากาศเป็นแหล่งความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ และจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่คอนเดนเซอร์ เมื่ออากาศไหลผ่านห้องอบแห้ง อากาศร้อนจะนำความร้อนออกจากวัสดุอบแห้งไหลกลับมาที่อีวาพอเรเตอร์ ซึ่งจุดนี้ความชื้นจะควบแน่นเป็นหยดน้ำออกจากระบบไป เป็นการลดความชื้นของอากาศในระบบอบแห้งไปในตัว ดังนั้นความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง จะถูกดูดกลืนโดยการเดือดของสารทำงานในอีวาพอเรเตอร์ และยก ระดับพลังงานความร้อนไปยังคอนเดนเซอร์ต่อไป ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นได้ง่ายกว่าระบบอื่น สามารถผลิตอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าระบบฮีตปั๊มระบบเดียว รวมถึงเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยลดการปลดปล่อยมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น Carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), Sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) และ Nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ). โดยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะน้อยลงเพียงใด ขึ้นกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าชนิดใด โดยระบบใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังน้ำหรือพลังงานหมุนเวียนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก โรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ระบบดังกล่าวมีการลงทุนสูงในส่วนของอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่จะไม่คงที่ตลอดทั้งวัน เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ฮีตปั๊มระบบเดียว โดยองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดใน SAHPD คือตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สำหรับระบบอากาศและน้ำ โดยการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งปัจจุบันตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีสมรรถนะ

ที่สูงและมีการประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน



รูปที่ 15. ระบบอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ร่วมฮีตปั๊มพื้นฐาน (26)

## 6. สรุป

เนื่องจากประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก และมีปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์สูง การนำวัสดุหรือผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ มาผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ ในการแปรรูปอาหาร เพื่อการเก็บรักษา หรือเพิ่มมูลค่า สามารถช่วยแก้ปัญหาทางด้านพลังงาน เป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงและทางอ้อม ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อศักยภาพการแข่งขันทางการค้าอย่างมากในอนาคตอันใกล้ จากข้อมูลปริทรรศน์งานวิจัย พบว่าเป็นการพัฒนาสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ ในส่วนของปัจจัยหลักของการทำแห้งวัสดุเปียก คือ อุณหภูมิ, ความเร็ว และความชื้นของอากาศ โดยพัฒนาให้มีความสม่ำเสมอ และมีระยะเวลาการอบแห้งให้ยาวนานขึ้น ส่งผลให้มีการศึกษาพัฒนาระบบที่มีการทำงานแบบผสมผสาน และซับซ้อนมากขึ้น ผู้เขียนพิจารณาว่า การประยุกต์ใช้ระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก ทำงานร่วมกับระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบและแบบท่อสุญญากาศ ที่มีการผลิตเชิงพาณิชย์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เป็นแหล่งความร้อนในการอบแห้ง โดยมีถังเก็บน้ำร้อนเพื่อสะสมความร้อน เป็นแนวทางที่ควรศึกษาและพัฒนาการผลิตน้ำร้อนเพื่อถ่ายเทความร้อนให้



อากาศใน กระบวนการอบแห้งแบบ Mixed active solar drying และ Mixed passive solar drying ตามลำดับ โดย อุณหภูมิที่สามารถผลิตได้แปรผันตามสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แต่ละชนิด สำหรับกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินกำหนด สามารถใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางสะสมความร้อนโดยตรง เนื่องจากสะดวก ราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถทำงานร่วมระบบสะสมความร้อนแฝง ผ่านท่อทางน้ำร้อน ทำให้ระบบมีความสม่ำเสมอ และเพิ่มเวลาการอบแห้งให้ยาวนานขึ้น กรณีที่ต้องการควบคุมความชื้นในระบบอบแห้งให้เหมาะสม สามารถทำงานร่วมกับฮีตปั๊ม โดยใช้ฮีตปั๊มช่วยในการควบคุมความชื้นออกจากกระบอก โดยน้ำร้อน สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนหลัก หรือความร้อนเสริม ที่เหมาะสมกับกระบวนการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และอุตสาหกรรมต่างๆ ให้กว้างขวางมากขึ้น และเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของการประหยัดเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ตลอดจนการลดการปล่อยมลพิษ และก๊าซเรือนกระจก ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต สำหรับด้านเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ขึ้นกับ ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง และ พื้นที่ใช้งานกล่าวคือ ถ้านำเครื่องอบแห้งนี้ไปอบแห้งวัตถุดิบชนิดที่เมื่ออบแห้งแล้วมีมูลค่าสูงขึ้นมากก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง และการนำเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่มีความเข้มของพลังงานรังสีอาทิตย์มากก็จะมีมูลค่าด้านเศรษฐศาสตร์มาก

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิจัย บทความวิชาการ ที่ได้ใช้อ้างอิงในครั้งนี้ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนบทความนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- (1) Chu K.J, Chou SK. Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science & Technology. 2003; 14: 519-28.

- (2) Teeboonma U, Suwanakoot T. Comparative Study of Drying using Hot Air and Hot Air-Infrared Radiation. KKU Engineering Journal. 2007; 34(2):189 – 201. Thai.
- (3) Fudholi A, Sopian K, Ruslan HM, Al-ghoul MA, Sulaiman MY. Review of solar dryers for agricultural and marine products. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010; 14: 1–30.
- (4) Roonprasang N, Namprakai P, Pratinthong N. Mathematical model and Optimum sizing for a Solar Banana dryer Combined with Parabolic Trough and Phase Change Energy Storage System in Thailand. KKU Engineering Journal. 2006; 33(5): 495 – 510. Thai.
- (5) Sharma A, Chen CR, Vu Lan N. Solar-energy drying systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009; 13:1185–210.
- (6) Goyal RK, Tiwari GN. Parametric study of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept. Solar Energy. 1997; 60:41–8.
- (7) Goyal RK, Tiwari GN. Performance of a reverse flat plate absorber cabinet dryer: a new concept. Energy Convers Manage. 1999; 40(4):385–92.
- (8) Ong KS. Solar dryers in the Asia-Pacific region. Renewable Energy. 1999; 16:779–84.
- (9) Ekechukwu OV, Norton B. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. Energy Conversion & Management. 1999; 40: 615-55.
- (10) Sethi VP, Arora S. Improvement in greenhouse solar drying using inclined north wall reflection. Solar Energy. 2009; 83:1472–84.



- (11) Murthy MVR. A review of new technologies models and experimental investigations of solar driers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009; 13: 835–44.
- (12) Jareanjit J, Dusamoh Y, Detsopha S, Chuyin S. A Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow. *KKU Engineering Journal*. 2011; 38(1): 35-42. Thai.
- (13) Othman MYH, Sopian K, Yatim B, Daud WRW. Development of advanced solar assisted drying systems. *Renewable Energy*. 2006; 31:703–9.
- (14) Karim MA, Hawlader MNA. Performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications. *Applied Thermal Engineering*. 2006; 26:121–30.
- (15) Hossain MA, Bala BK. Drying of hot chilli using solar tunnel drier. *Solar Energy*. 2007; 81: 85–92.
- (16) Condori M, Echazu R, Saravia L. Solar drying of sweet pepper and garlic using the tunnel greenhouse dryer. *Renewable Energy*. 2001; 22: 447–60.
- (17) Bena B, Fuller RJ. Natural convection solar dryer with biomass back-up heater. *Solar Energy*. 2002; 72(1):75–83.
- (18) Gil A, Medrano M, Martorell I, La.zaro A, Dolado P, Zalba B, Cabeza LF. State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation.Part1-concepts, materials and modellization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010; 14(1): 31–55.
- (19) Barlev D, Vidu R, Stroeve P. Review Innovation in concentrated solar power. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2011; 95: 2703–25.
- (20) Alkilani MM, Sopian K, Alghoul MA, Sohif M, Ruslan MH. Review of solar air collectors with thermal storage units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011; 15:1476–90.
- (21) Sethi VP, Sharma SK. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy*. 2008; 82:832–59.
- (22) Mohanraj M, Chandrasekar P. Drying of copra in forced convection solar drier. *Biosyst Eng*. 2008; 99:604–7.
- (23) Vorayos N, Wongsuwan W, Kiatsiriroat T. Development of Solar Hot Water Systems in Thailand. *Engng.J.CMU*. 2009; 16 (2): 55-69. Thai.
- (24) Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2004; 30:231–295.
- (25) Kalogirou SA. The potential of solar industrial process heat applications. *Apply Energy*. 2003; 76:337–61.
- (26) Daghigh R, Ruslan MH, Sulaiman MY, Sopian K. Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010; 14: 2564–79.