

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้ง คือการลดปริมาณความชื้น (moisture content) ของผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการเน่าเสียในช่วงเวลาหนึ่ง กระบวนการอบแห้งประกอบด้วย 2 กระบวนการที่สำคัญคือ การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ และถ่ายเทความชื้นออกจากภายในผลิตภัณฑ์มาที่ผิวและออกสู่อากาศภายนอก วัสดุซึ่งมีความชื้นอยู่ภายในเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุนั้น ๆ และวัสดุอบแห้งดังกล่าวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นจะระเหยกลายเป็นไอออกไปจากวัสดุสู่บรรยากาศรอบข้าง ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ไหลผ่านวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ และอากาศที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุเป็นแบบการพาความร้อน ขั้นตอนการลดลงของความชื้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

2.1.1 ระยะเริ่มต้นของการอบแห้ง (Initial period) ระยะช่วงนี้อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน (dynamic equilibrium) และจะมีการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุอบแห้ง อัตราการอบแห้งของวัสดุจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.1.2 ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (Constant-rate period) ระยะนี้อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะมีค่าคงที่ และความชื้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว การกระจายความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้งมายังพื้นผิวของวัสดุมีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุ อัตราการอบแห้งในระยะนี้จะมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ

2.1.3 ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำลดลง (Falling-rate period) ระยะนี้จะเริ่มจากเมื่อความชื้นบนพื้นผิวไม่อิ่มตัว อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในของวัสดุอบแห้งไปยังบริเวณพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้ง จุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยที่คงที่มาเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยคงที่มาเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยลดลงเรียกว่า จุดความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) การระเหยของไอน้ำจะสิ้นสุดลงเมื่อถึงจุดที่เรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) เป็นจุดที่ความชื้นของวัสดุที่ยังคงที่มีอยู่ภายในเนื้อวัสดุวัสดุแต่ไม่มีการสูญเสียให้กับอากาศภายนอก

2.2 ชนิดของการอบแห้ง

2.2.1 การอบแห้งแบบตู้ (Cabinet Drying) ระบบการอบแห้งชนิดนี้จะใช้ภาชนะที่สามารถให้วัสดุอบแห้งสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องที่ปิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องอบแห้งแบบตู้จะทำงานลักษณะเป็นกะ (Batch system) การอบแห้งแบบนี้มีข้อเสียคือ การอบแห้งวัสดุไม่สม่ำเสมอที่

ตำแหน่งต่าง ๆ กันภายในระบบ จึงควรมีการปรับปรุงให้เหมาะสมได้เพื่อช่วยปรับปรุงการอบแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น

2.2.2 การอบแห้งแบบอุโมงค์ (Tunnel Drying) วัสดุจะวางเรียงอยู่บนถาดซึ่งจะซ้อนกันเป็นชั้น และถาดวางวัสดุอบแห้งที่เรียงซ้อนกันหลาย ๆ ถาดจะถูกนำเข้าไปยังอุโมงค์ที่มีอากาศ โดยสามารถส่งวัสดุอบแห้งเข้าและนำวัสดุออกจากอุโมงค์ได้หลายวิธีได้แก่ การไหลสวนทางของอากาศกับการเคลื่อนที่ของวัสดุอบแห้งผ่านอุโมงค์ หรือการเคลื่อนที่ขนานกันของอากาศและวัสดุอบแห้งผ่านอุโมงค์ หรือการเคลื่อนที่ของอากาศสวนทางกับวัสดุอบแห้งที่ผ่านอุโมงค์ และมีอากาศบางส่วนหมุนเวียนกลับมาใช้ ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับเครื่องอบแบบตู้คือ การอบแห้งวัสดุไม่สม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในอุโมงค์เพื่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดสามารถทำได้โดยการกระจายความเร็วของอากาศผ่านอุโมงค์อย่างสม่ำเสมอ

2.2.3 การอบแห้งแบบสายพาน (Conveyor Drying) ทำได้โดยการวางเรียงวัสดุอบแห้งชั้นเดียวบนสายพานเจาะรูที่เคลื่อนที่ อากาศที่ใช้ทำแห้งจะไหลผ่านรูของสายพานไปในทิศทางขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของวัสดุอบแห้ง นิยมอบให้ความชื้นของวัสดุลดลงถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องที่สอง เพื่อทำการอบแห้งวัสดุจนถึงระดับความชื้นที่ต้องการ

2.2.4 การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูง และอยู่ในสภาพเริ่มต้นเป็นของเหลว ลักษณะเฉพาะของการอบแห้งแบบพ่นฝอยคือ วงจรการอบแห้งจะเร็วเวลาที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องอบแห้งสั้น และผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมที่จะบรรจุทันทีที่ออกจากเครื่องอบแห้ง

2.2.5 การอบแห้งแบบนิวมาติก (Pneumatic Drying) เหมาะที่จะใช้กับวัสดุอบแห้งที่มีลักษณะเป็นผงเมล็ด หรือแผ่นซึ่งความชื้นส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อากาศร้อนจะนำวัสดุที่ผ่านช่วงอบแห้ง แล้วเข้าสู่ส่วนแยกในสถานะเช่นนี้จะมีการสัมผัสอย่างใกล้ชิดระหว่างวัสดุและอากาศที่ใช้ออบแห้ง ถ้าเวลาที่สัมผัสสั้นมากจะสามารถรักษาคุณภาพของวัสดุไว้ได้ สามารถใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนได้ถึง 1,100 องศาเซลเซียส

2.2.6 การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized-bed Drying) การสัมผัสระหว่างวัสดุและอากาศร้อนเช่นเดียวกับการอบแห้งแบบนิวมาติก อากาศจะถูกบังคับผ่านอนุภาคของวัสดุอบแห้งด้วยความเร็วสูงพอที่จะพองให้วัสดุลอยตัวอยู่ได้ และเคลื่อนที่ตามแนวนอนขณะที่กระบวนการอบแห้งดำเนินอยู่ โดยทั่วไปความเร็วลมที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.05-0.75 เมตรต่อวินาที

2.2.7 การอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (Drum Drying) เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะมีลูกกลิ้งทรงกระบอกร้อนจะหมุนในแนวนอน เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารละลายหรือของเหลวหนืดอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์จะแห้งขณะที่ติดกับลูกกลิ้งและจะแยกออกโดยใช้ใบมีด การอบแห้งเกิดขึ้นในฟิล์มของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนโดยการนำจากผิวของลูกกลิ้งไปยังผลิตภัณฑ์ วิธีนี้จะให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงแต่ทำให้คุณภาพลดลงได้มาก ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน

2.2.8 การอบแห้งแบบการระเหิด (Freeze Drying) เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่แข็งก่อนแล้วจึงให้ความร้อนแก่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำแข็งระเหิด ณ จุดนั้นแล้วไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปทันที การระเหิดและกำจัดไอน้ำจะทำให้ผิวหน้าของน้ำแข็ง (Ice front) ลดน้อยลงขณะที่

Ice front เคลื่อนที่ห่างจากผิวผลิตภัณฑ์จะมีการถ่ายเทความร้อน และการแพร่กระจายของไอน้ำเป็นตัวบ่งบอกอัตราการอบแห้งแบบระเหิดของผลิตภัณฑ์ ข้อดีของกระบวนการอบแห้งแบบระเหิดคือ การกำจัดความชื้นสามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอุณหภูมิสูงเกินไป เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีโครงสร้างดี คือมีโครงสร้างเปิดเป็นรูพรุนทำให้สามารถคืนรูปเดิมได้ดีและรวดเร็วมีกลิ่นดี แต่การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูงมากจึงใช้เฉพาะงานที่ต้องการผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงจริง ๆ

2.2.9 การอบแห้งโดยไมโครเวฟ (Microwave Drying) เป็นวิธีการอบแห้งโดยใช้ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมาะสม สามารถทะลุทะลวงเข้าไปในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้ง โดยคลื่นดังกล่าวจะถูกดูดกลืนโดยน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ การระเหยของน้ำจึงเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก การอบแห้งวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายเพราะต้องลงทุนและเสียค่าใช้จ่ายสูง

2.2.10 การอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying) การอบแห้งแบบนี้จะสามารถระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำในสภาพบรรยากาศปกติ ช่วยลดการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื่องจากผลของการใช้ความร้อนสูงในการอบแห้ง แต่การลงทุนและการทำงานของเครื่องต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงมักใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างไวต่อการเสื่อมเสียด้วยความร้อน และต้องการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำมาก

2.2.11 การอบแห้งแบบการเกิดฟอง (Foam-mat Drying) นิยมใช้ในการทำน้ำผลไม้ผง เช่น น้ำส้ม น้ำมะเขือเทศ และน้ำอุน เป็นต้น อาศัยหลักการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหารที่จะสัมผัสกับอากาศร้อน ซึ่งในขั้นแรกต้องทำให้อาหารเหลวเกิดเป็นฟองเล็ก ๆ โดยใช้สารทำให้เกิดฟอง (Foaming agent) จากนั้นจะผ่านอาหารเหลวไปบนตัวกลางที่มีความร้อนทำให้น้ำระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำมากอาจเหลือเพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

2.2.12 การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน (Heat Pump Drying) ระบบนี้แบ่งตามการไหลเวียนของอากาศได้เป็น 2 ลักษณะคือการอบแห้งระบบเปิด (Open system) เมื่ออากาศร้อนถูกนำไปใช้ในการอบแห้งแล้วจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศทั้งหมด และการอบแห้งระบบปิด (Close system) ซึ่งอากาศหลังอบแห้งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งหมด เพื่อช่วยประหยัดพลังงานและยังสามารถแบ่งย่อยเป็นระบบปิดบางส่วน (Partial closed system) คืออากาศหลังอบแห้งจะถูกปล่อยทิ้งบางส่วนและนำอากาศใหม่เข้ามาแทนที่ สำหรับการอบแห้งแบบระบบปิดซึ่งใช้ปั๊มความร้อนลดความชื้นและอุ่นอากาศรวมกัน จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอื่นเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งสองส่วน ควบคุมการทำงานของระบบได้ง่ายและไม่มีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อม

2.2.13 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying) การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้นเนื่องจากจุดประสงค์หลัก 2 ประการ คือประการแรกเพื่อควบคุมอัตราการอบแห้ง โดยการสร้างตู้หรือห้องที่สามารถเก็บสะสมความร้อนโดยมีแผงสะสมความร้อน เพื่อช่วยให้อุณหภูมิในตู้อบสูงทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้เร็วขึ้น และควบคุมอัตราการอบแห้งได้ประการที่สองเพื่อควบคุมความสะอาด เนื่องจากการอบแห้งแบบนี้จะไม่มีปัญหาจากแมลงวัน สัตว์ปีกหรือสัตว์อื่น ๆ มารบกวนผลิตภัณฑ์อบแห้งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดและคุณภาพดี

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

1. ลักษณะทางธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ หากสภาพทางธรรมชาติของผลิตภัณฑ์เอื้ออำนวยต่อการส่งผ่านความร้อนไปยังโมเลกุลของน้ำภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ และเอื้ออำนวยต่อการเคลื่อนที่ของไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพืชผลทางการเกษตร โมเลกุลของน้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายทำให้มีอัตราการอบแห้งเร็วขึ้น
2. ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดและรูปร่างที่ทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมากจะทำให้การระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น
3. ปริมาณและการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ การจัดเรียงผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม ควรทำการจัดเรียงเป็นชั้นบางเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
4. อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงและความชื้นต่ำอัตราการลดความชื้นจะเร็ว เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับผลิตภัณฑ์มีมาก ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสู่น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ดี มีผลทำให้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่และระเหยเร็วขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิสูงจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดด้วย
5. ความเร็วของอากาศ หากความเร็วของอากาศมีค่ามากจะทำให้การระเหยของน้ำที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น มีผลให้อัตราการลดความชื้นเร็วขึ้น
6. ความดันบรรยากาศ การลดความชื้นโดยทั่วไปมักทำที่ความดันบรรยากาศ หากมีการลดความดันบรรยากาศในขณะที่ทำการลดความชื้น จะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลงมีผลให้อัตราการลดความชื้นสูงขึ้น
7. คุณสมบัติเชิงความร้อนและฟิสิกส์ของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติเชิงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ได้แก่ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน ส่วนคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่น และสัดส่วนของช่องว่างอากาศในกองผลิตภัณฑ์

2.4 การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผลิตภัณฑ์และสภาวะที่ใช้ในการลดความชื้นดังนี้ คือ

1. การหดตัวของวัสดุ การเสียน้ำทำให้เซลล์หดตัวจากผิวนอกส่วนที่แข็งจะคงสภาพอยู่ได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะยุบลงไป ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมากจะหดตัวแล้วบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ
2. การเปลี่ยนสี ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี การเกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและช่วงเวลาผลิตภัณฑ์มีความชื้น 10-20% มีผลต่อความเข้มของสีจึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้
3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะการแข็งที่ผิวของผลิตภัณฑ์ เปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งเกิดจากในช่วงแรกน้ำระเหยเร็วเกินไปจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาลโปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูง เพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร
4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ ผลิตภัณฑ์แห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพแต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้สภาพเหมือนเดิม เพราะเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และโปรตีน

เสียความสามารถในการดูดน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ให้ความร้อนที่จะทำให้ลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีน

5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เกิดจากการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีน จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไบโพรฟลาวินจากแสง ไทอะมินจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

6. การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งก็คือ การเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งเรียกชื่อต่างกัน เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้หรือความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่าเป็นตำหนิต่างคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่น รส ความสามารถในการคืนตัว และปริมาณกรดแอสคอร์บิกถูกกระทบกระเทือนไปด้วย อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิ และเวลาเช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิอาจจะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 33 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาทีโดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมงที่ 49 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นในอาหารปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นอันเนื่องมาจากการอบแห้งปฏิกิริยาที่จะเกิดอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงที่สุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลางคือ ในช่วงระหว่าง 15-20% เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ การอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 1-2% จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานาน

2.5 ประโยชน์ของการอบแห้ง

1. เพื่อลดปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำเป็นสาเหตุหลักของการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ เมื่อผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำลดลงก็จะทำให้จุลินทรีย์เจริญช้าลงทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานยิ่งขึ้น

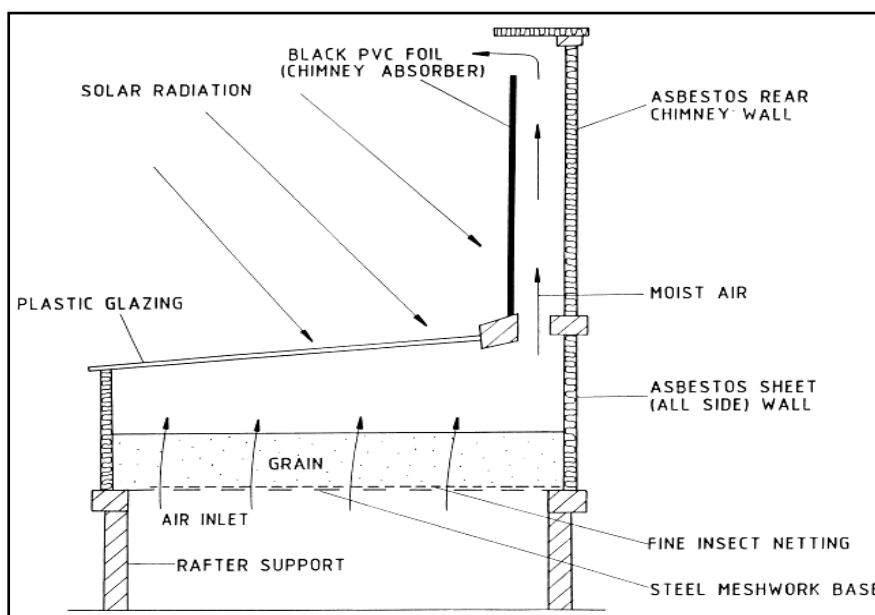
2. เพื่อลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อความสะดวกต่อการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตภัณฑ์บางชนิดในสภาพของสดจะกินเนื้อที่และการดูแลรักษาลำบาก ในการลดความชื้นทั่ว ๆ ไปพบว่าอาหารแห้งที่ได้มีน้ำหนักลดลงไปมากทำให้การขนส่งสะดวกและประหยัดขึ้น

2.6 การจำแนกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. จำแนกตามการไหลเวียนของอากาศ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หากจำแนกตามการไหลเวียนอากาศ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท (พูลทวิ, 2550 อ้างอิงตาม Ekechukwu and Norton, 1999) คือ

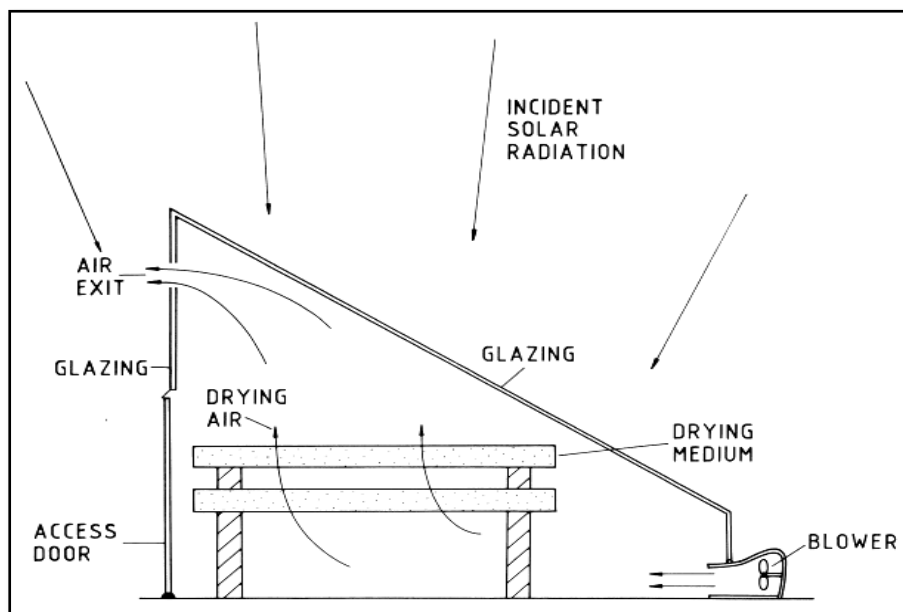
1.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอากาศไหลเวียนโดยธรรมชาติ (Natural-convection) หลักการทำงานของเครื่องประเภทนี้ จะอาศัยผลต่างของความดันภายในและ

ภายนอกเครื่องอบแห้ง มวลอากาศร้อนที่เบาซึ่งจะลอยขึ้นสู่ที่สูง ดังรูปที่ 2.1 แสดงการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ การเคลื่อนที่ของอากาศแบบนี้สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ กล่าวคือ อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะเบากว่ามวลอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ เครื่องอบแห้งที่อาศัยการไหลเวียนอากาศโดยธรรมชาติจะมีข้อดีคือ สร้างง่าย และต้นทุนต่ำ แต่จะมีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการอบแห้งต่ำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์อาจเกิดการเสียหายขึ้นก่อนได้ เนื่องจากจะใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน

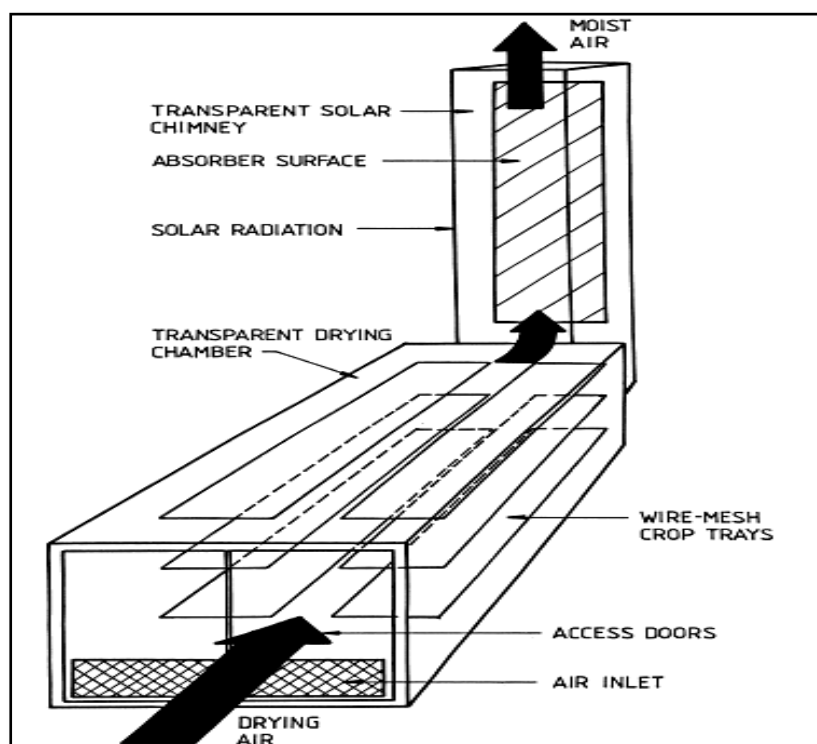


รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอากาศไหลเวียนโดยธรรมชาติ

1.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอากาศไหลเวียนโดยการบังคับ (Force-convection) เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้พัดลมช่วยในการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้อากาศมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง เครื่องอบแห้งประเภทนี้จะสร้างยุ่งยากกว่าแบบแรก และมีต้นทุนที่สูงกว่า นอกจากนั้นหากพัดลมใช้แหล่งพลังงานจากไฟฟ้าซึ่งไม่ได้ผลิตจาก Solar cell ก็จะทำให้มีต้นทุนการดำเนินการเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถึงแม้จะใช้ Solar cell ในการผลิตกระแสไฟฟ้าก็ยังมีต้นทุนที่สูง เนื่องจากราคา Solar cell ในปัจจุบันยังค่อนข้างแพง ในขณะที่ประสิทธิภาพยังต่ำด้วย ดังนั้นการใช้ Solar cell จึงส่งผลให้ระยะคืนทุนยาวนานขึ้นกว่าเดิม อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งประเภทนี้จะมีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพในการอบแห้งที่สูงกว่ากรณีที่ไม่มีการบังคับอากาศ



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอากาศไหลเวียนโดยการบังคับ

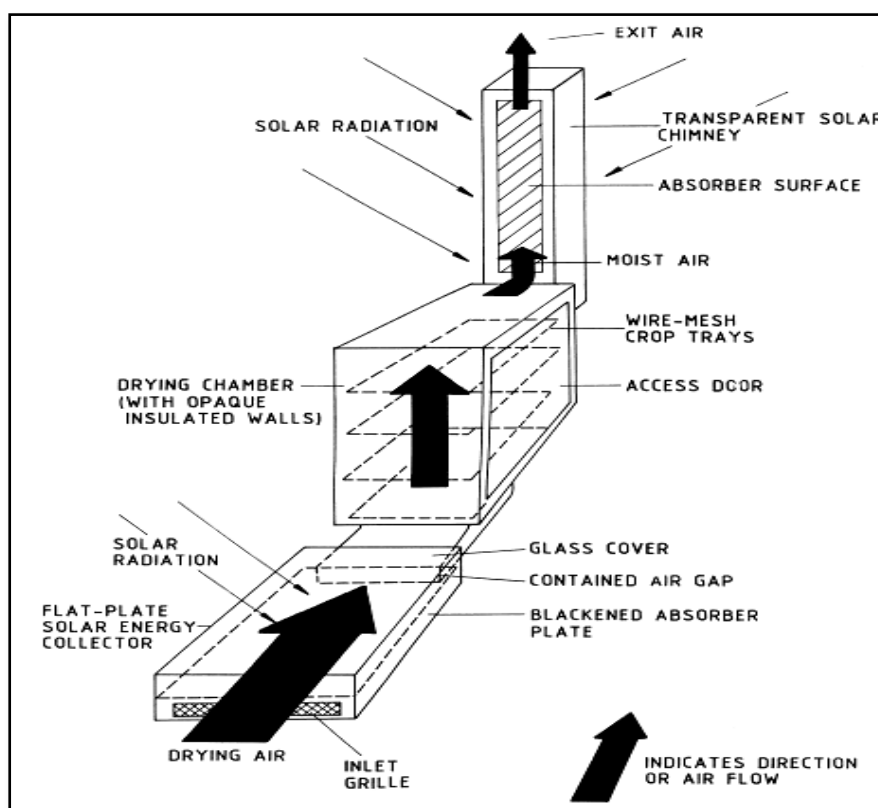


รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

2. จำแนกตามการรับรังสีดวงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หากจำแนกตามการรับรังสีดวงอาทิตย์ สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท(พูลทวี, 2550 อ้างอิงตาม Ekechukwu and Norton, 1999) คือ

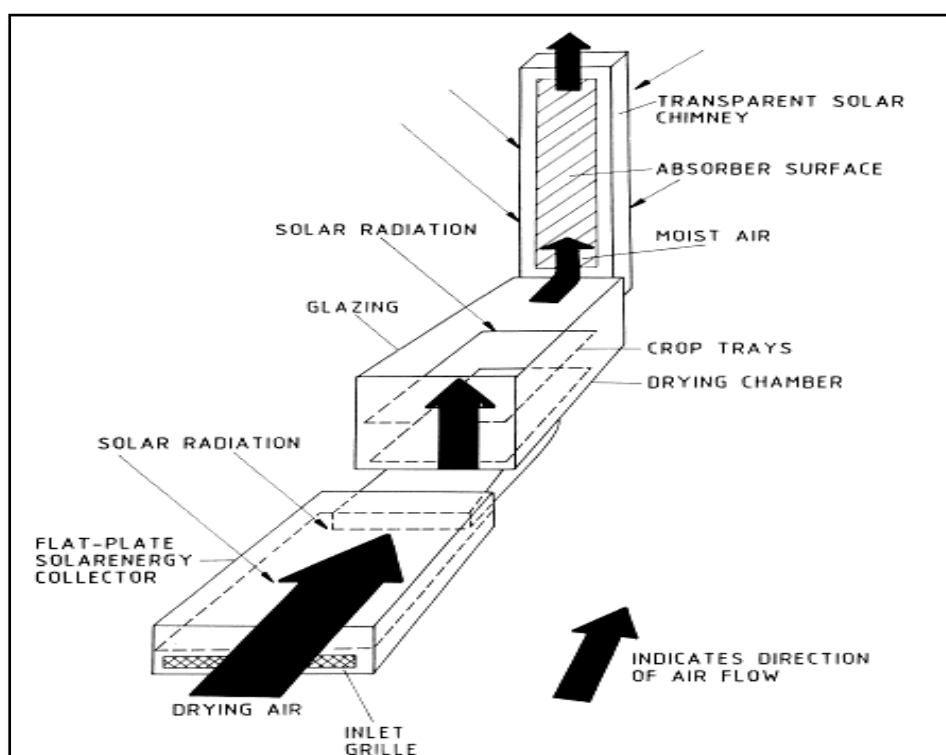
2.1 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Type) ลักษณะของเครื่องอบแห้งจะมีโครงสร้างทำจากวัสดุใส แสงแดดสามารถทะลุผ่านเข้าไปยังตัวเครื่องได้โดยตรงดังรูปที่ 2.3 ข้อดีคือ เป็นแบบที่สร้างและบำรุงรักษาง่ายมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่จะมีข้อเสียคือมีประสิทธิภาพการอบแห้งต่ำและมีการสูญเสียความร้อนสูง

2.2 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์ทางอ้อม (Indirect Type) ลักษณะของเครื่องอบแห้งนี้จะมีส่วนที่เป็นพื้นที่รับแสง โดยส่วนใหญ่่มักจะใช้พัดลมช่วยในการไหลเวียนของอากาศ เครื่องอบแห้งที่มีพื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศที่จะเข้าห้องอบแห้งได้ค่อนข้างสูง บริเวณห้องอบแห้งจะถูกออกแบบให้ทึบ มีการติดฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบนี้จึงมีประสิทธิภาพการอบแห้งที่สูงกว่ากรณีรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

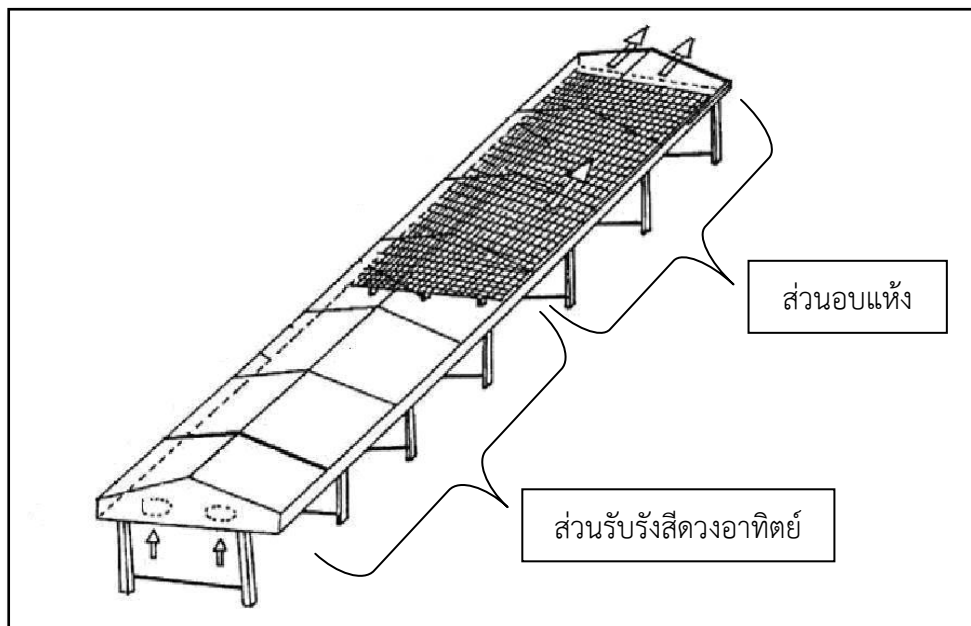


รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีดวงอาทิตย์ทางอ้อม

2.3 เครื่องอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสม (Mixed mode Type) ซึ่งจะมีการสร้างส่วนพื้นที่รับแสงและส่วนที่เป็นห้องอบแห้งทำจากวัสดุใส โดยส่วนมากจะใช้วัสดุใสเฉพาะด้านหน้าหรือด้านเดียวกับพื้นที่รับแสง ในขณะที่ด้านอื่นจะทึบและติดฉนวนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ผลลัพธ์ที่อบแห้งจะได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ทั้ง 2 ทาง คือได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นวัสดุโปร่งใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง และกรณีรับรังสีดวงอาทิตย์ทางอ้อม



รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสม



รูปที่ 2.6 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ โดยทั่วไปมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งมีส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งดังต่อไปนี้

1. แผ่นปิดใส (Transparent cover) ควรมีความสมบัติทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศและลดการสูญเสียความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งให้สูงตลอด ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาใช้จะต้องยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ผ่านได้สะดวก สามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดสูงและยอมให้ผ่านต่ำติดตั้งง่ายและมีน้ำหนักเบา

2. ฉนวนกันความร้อน (Insulation) จะทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนจากตัวดูดซับรังสี ดังนั้นฉนวนกันความร้อนจะต้องมีค่าการนำความร้อนต่ำ ทนต่ออุณหภูมิสูง ดูดซับน้ำได้ต่ำ หรือไม่ดูดซับน้ำยัดและหดตัวต่ำ

3. ตัวดูดซับรังสี (Absorber) ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์ และจะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลเข้ามาในห้องอบแห้ง ตัวดูดซับควรมีค่าการดูดซับสูง ในขณะที่ค่าการปลดปล่อยต่ำ มีค่าการนำและการพาความร้อนสูง ไม่ขยายหรือหดตัว และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน หน้าที่สำคัญของส่วนรับรังสีคือ ดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์และในขณะเดียวกันต้องป้องกันการสูญเสียความร้อนผ่านลงไปยังด้านล่างมากที่สุดเพื่อเก็บความร้อนที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปพื้นที่รับแสงจะประกอบด้วย

- ตัวดูดซับรังสี (absorber)
- แผ่นปิดใส (transparent cover) อาจจะทำด้วยพลาสติกหรือกระจกโปร่งแสง

- ฉนวนกันความร้อน(insulator) ที่อยู่ด้านล่างตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์จะตกกระทบในส่วนแผ่นปิดใสและทะลุผ่านเข้ามา แต่จะสะท้อนออกไปบางส่วนซึ่งการสะท้อนออกนี้มีค่าไม่มากนัก รังสีที่สามารถทะลุผ่านเข้ามากระทบกับตัวดูดซับรังสีและถูกดูดซับรังสีไว้ รังสีที่ถูกดูดซับไว้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนและถ่ายเทให้กับอากาศเหนือตัวดูดซับรังสี ความร้อนที่เปลี่ยนมาจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์บางส่วนจะสามารถทะลุผ่านตัวรับรังสีไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้แผ่นฉนวนวางซ้อนด้านล่างตัวดูดซับรังสีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่สามารถทะลุผ่านออกทางด้านล่างสุดออกไปได้

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เป็นเครื่องอบแห้งที่มีต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ การก่อสร้างไม่ยุ่งยากซับซ้อนและยังเป็นเครื่องอบแห้งที่ทำงานได้ดี มีความเหมาะสมที่จะส่งเสริมให้กลุ่มผู้ประกอบการ ชุมชนเกษตรกร วิชากิจชุมชน ภาครัฐ และเอกชน ตลอดจนผู้สนใจทั่วไปในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เหมาะสำหรับแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส เช่น ถั่วลิสง พริก ขิง ข่า พืชสมุนไพรต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต ช่วยลดปัญหาเมื่อมีผลผลิตออกมาตามฤดูกาลแต่จำหน่ายไม่หมด ผักและผลไม้ที่เหลือจะเน่าเสียและมีราคาต่ำ ดังนั้นการแปรรูปผักและผลไม้ที่เหลือโดยการอบแห้งเพื่อเก็บไว้จำหน่ายหรือเก็บไว้บริโภคระยะยาวจึงช่วยลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันฝุ่นละออง และแมลงที่จะมารบกวนหรือวางไข่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายภายหลัง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกสุขลักษณะ

2.8 ปัจจัยที่มีผลกับการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์

1. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ความเข้มรังสีหาได้จากละติจูดของที่ตั้งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และความแจ่มใสของท้องฟ้า
2. อุณหภูมิของอากาศ อัตราการลดความชื้นของผลผลิตทางการเกษตรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ สำหรับ Direct solar dryer นั้นผลิตภัณฑ์อบแห้งจะดูดซับรังสีดวงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนส่วนหนึ่งให้กับอากาศแห้งที่เข้าไปในเครื่องอบแห้ง และอากาศจะนำเอาความชื้นที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์ออกไป แต่สำหรับกรณีของ Indirect solar dryer อากาศจะถูกทำให้ร้อนในตัวเก็บรังสีและถูกส่งเข้าไปยังห้องอบแห้ง โดยอุณหภูมิของอากาศแห้งต้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์
3. ความชื้นสัมพัทธ์ ความสามารถในการลดความชื้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความชื้นของผลิตภัณฑ์กับความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ ซึ่งหาได้จากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแห้ง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงความสามารถในการลดความชื้นจะช้าลงทำให้อัตราการลดความชื้นต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำสุดตอนอุณหภูมิสูงสุด
4. ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ในการเลือกแบบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นและปริมาณความชื้นที่จะเอาออก ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ถูกบังคับโดยระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แห้ง คือถ้าความชื้นสุดท้ายต่ำอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จะนาน และอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์จะถูกบังคับโดยความชื้นของผลิตภัณฑ์

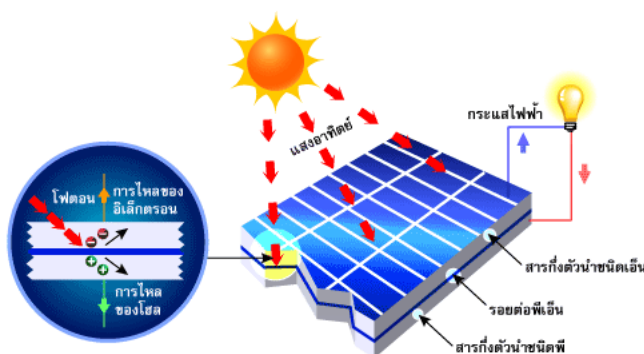
2.9 Solar Cell หรือ Photovoltaic (PV)

Solar Cell หรือ PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

2.9.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุด และมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.9.2 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.10 พารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้ง

1. ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุขึ้น เมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_w = \frac{(w - d) \times 100\%}{w} \quad (2.1)$$

เมื่อ	M_w	คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %
	w	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, kg
	d	คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

2. ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง เมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

$$M_d = \frac{(w - d) \times 100\%}{d} \quad (2.2)$$

เมื่อ	M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %
	w	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุขึ้น, kg
	d	คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง, kg

3. ปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Content) เป็นปริมาณความชื้นตรงจุดสุดท้ายของช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่ หลังจากผ่านจุดนี้แล้วการอบแห้งจะอยู่ในช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง

4. ปริมาณความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) ความชื้นสมดุลเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการอบแห้ง เนื่องจากเมื่อทำการอบแห้งในสภาวะคงที่ คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศคงที่ เมื่ออบแห้งความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ ไปจนถึงจุด ๆ หนึ่งซึ่งความชื้นของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะนั้นความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอที่อยู่บริเวณรอบ ๆ และอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิรอบ ๆ เราจะเรียกความชื้นขณะนั้นว่า “ความชื้นสมดุล” ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

5. ปริมาณความชื้นอิสระ (Free Moisture Content) เป็นปริมาณความชื้นที่มีในวัสดุซึ่งเกิดจากการจับตัวอย่างหลวม ๆ ระหว่างน้ำกับเนื้อวัสดุ (Weakly Banded) เมื่อทำการอบแห้งวัสดุ ปริมาณความชื้นที่ถูกระเหยไปทั้งหมดที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ค่าหนึ่งจะเป็นปริมาณความชื้นอิสระค่านี้ จะคงที่ถ้าไม่เปลี่ยนสภาวะการอบแห้ง

6. ปริมาณความชื้นที่ถูกอุ้มไว้ (Bound Moisture Content) เป็นความชื้นที่จับตัวอยู่กับสารอาหาร เช่น โปรตีน การจับตัวค่อนข้างแน่น การระเหยออกของปริมาณความชื้นที่ถูกอุ้มไว้ค่อนข้างลำบาก ปริมาณความชื้นที่ถูกอุ้มไว้จะหมายถึง ปริมาณความชื้นทั้งหมดหลังจากจุดปริมาณความวิกฤต คือ ปริมาณความชื้นทั้งหมดในช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง ส่วนในช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่นั้น จะเป็นปริมาณความชื้นที่ไม่ได้ถูกอุ้มไว้ (Unbound Moisture Content)

2.11 การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

ในการประเมินสมรรถนะของการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทั่วไปมักประเมินและเปรียบเทียบกับค่าอัตราการอบแห้ง รวมไปถึงประสิทธิภาพรวมของระบบอบแห้ง ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงแบ่งการประเมินสมรรถนะของระบบ ดังนี้

1. ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying) เป็นการวัดความเร็วหรือความสามารถในการระเหยน้ำต่อเวลา โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.3

$$\text{Drying rate, (DR)} = \frac{\text{Water evaporated, kg}}{\text{Drying time, h}} \quad (2.3)$$

2. การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการ ที่ 2.4

$$m_a = \frac{m_w h_{fg}}{C_p t (T_i - T_o)} \quad (2.4)$$

เมื่อ	m_a	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลเข้าตัวรับรังสี, kg/h
	m_w	=	ปริมาณน้ำที่ระเหย, kg
	h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอ, kJ/kg
	C_p	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศ, kJ/kg °C
	t	=	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, h
	T_i	=	อุณหภูมิอากาศที่ห้องอบแห้ง, °C
	T_o	=	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกเครื่องอบแห้ง, °C

3. การหาประสิทธิภาพตัวรับรังสี ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$\eta_c = \frac{m_a C_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c G_T} \times 100 \quad (2.5)$$

เมื่อ	η_c	=	ประสิทธิภาพตัวรับรังสี, %
	G_T	=	รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบตัวรับรังสี, W/m^2
	A_c	=	พื้นที่รับรังสี, m^2
	m_a	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่ไหลเข้าตัวรับรังสี, kg/h
	C_p	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศ, $kJ/kg \text{ } ^\circ C$
	T_{fo}	=	อุณหภูมิอากาศที่ทางออกตัวรับรังสี, $^\circ C$
	T_{fi}	=	อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าตัวรับรังสี, $^\circ C$

4. การหาประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ดังสมการที่ 2.6

$$\eta_d = \frac{m_w h_{fg}}{Q_{use}} \times 100 \quad (2.6)$$

เมื่อ	η_d	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้ง, %
	m_w	=	ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ, kg
	h_{fg}	=	ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ, kJ/kg
	Q_{use}	=	พลังงานที่นำมาใช้ในการอบแห้งทั้งหมด, kJ

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการได้สำรวจงานวิจัยที่ได้ทำการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปโดยวิธีการอบแห้ง เพื่อช่วยในการเก็บรักษาผลผลิตไว้ได้นานขึ้น ซึ่งมีผู้ที่ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งดังนี้คือ

เสริม และยุทธศักดิ์ (2548) ได้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่ใช้กระจกปิดด้านบน การไหลเวียนอากาศร้อนเป็นแบบบังคับ โดยใช้กล้วยเป็นตัวอย่างในการทดลอง ตัวเครื่องมีขนาด 1.22 m. x 12.2 m. โดยให้ครั้งแรกของเครื่องอบเป็นส่วนรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงและครึ่งหลังเป็นส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ กล้วยน้ำว้าสุกที่ใช้ออบมีมวลรวม 35 – 55 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งมีค่าระหว่าง 40 – 70 องศาเซลเซียส ในวันที่อากาศแจ่มใสในช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. ความชื้น

ของกล้วยลดลงจาก 65 % เหลือ 25 % ภายใน 3 วัน โดยแห้งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ 1 – 2 วัน และได้กล้วยที่มีคุณภาพดีทั้งในด้านของสีกลิ่นและรสชาติ

สุขฤดี และบงกช (2548) ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีสมรรถนะทางด้านความร้อนสูงร่วมกับความร้อนเสริมจากระบบแก๊สชีวภาพ (Biogas System) ผลผลิตแห้งที่ใช้ทดสอบคือ กล้วยน้ำว้า พริกและมะม่วงแช่อิ่ม เครื่องอบแห้งมีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ 1. ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ 2. อุโมงค์อบแห้ง 3. แหล่งพลังงานความร้อนเสริม ผลผลิตแห้งที่ใช้ทดสอบจะถูกวางไว้ในอุโมงค์อบแห้งได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ทั้ง 2 ทาง คือได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงเนื่องจากหลังคาของอุโมงค์อบแห้งเป็นพลาสติกใส และได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้พัดลมในการกำหนดอัตราการไหลของอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง และในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอหรือมีฝนตกตลอดทั้งวันจะมีแหล่งพลังงานความร้อนเสริมจากระบบแก๊สชีวภาพ ส่งความร้อนผ่านระบบแลกเปลี่ยนความร้อนภายในห้องอบแห้ง ทำให้ระบบสามารถทำงานได้ตลอดทั้งวันทั้งคืน จากการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 54.9% ประสิทธิภาพของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เมื่อผลผลิตแห้งที่ใช้ในการทดสอบเป็น กล้วยน้ำว้า พริก และมะม่วงแช่อิ่ม เท่ากับ 42.8%, 33.4% และ 76.9% ตามลำดับ

มนตรี (2534) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลเวียนของอากาศ เครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนทำความร้อนและส่วนอบแห้ง ส่วนรับความร้อนมีตัวเก็บกักความร้อนโดยใช้หินสีดำเก็บความร้อนมีแผ่นกระจกใสปิดด้านบนทำมุมเอียง 14 องศากับแนวระดับ ส่วนห้องอบแห้งเป็นแบบชั้น 3 ชั้น ด้านหลังของส่วนห้องอบแห้งติดพัดลมระบายอากาศ 2 ตัว แต่ละตัวมีอัตราการไหลของอากาศ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยทดสอบอบพริกที่อัตราการไหลของอากาศ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และการไหลเวียนของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลเวียนของอากาศที่ 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ 0.1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที นั้น ใช้เวลาในการอบแห้ง 15 ชั่วโมง และ 19 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงว่าอัตราการถ่ายเทอากาศออกจากตู้อบเป็นปัจจัยหนึ่งในการอบแห้ง การที่อากาศมีอัตราการไหลสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าอัตราการไหลเวียนของอากาศต่ำ เนื่องจากอากาศร้อนจะถูกดูดออกจากตู้อบมากเกินไปจนทำให้เกิดการสูญเสียความร้อน

รัฐิปัตย์ (2545) ได้ทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนรับแสง และส่วนอบแห้ง ซึ่งวางต่อกันเป็นแนวยาว ทั้งสองส่วนคลุมด้วยพลาสติกใสและใช้พัดลมช่วยในการไหลเวียนอากาศร้อน จากการศึกษาพบว่า การปิดส่วนต้นทางของพื้นที่รับแสงเพื่อให้อากาศไหลผ่านน้อยที่สุด โดยติดตั้งพัดลม 3 ตัว บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่รับแสงกับพื้นที่อบแห้ง ซึ่งมีอัตราการไหลเวียนของอากาศที่ 0.59 - 1.18 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที และใช้อัตราส่วนพื้นที่รับแสงต่อพื้นที่อบแห้งเป็น 3 : 2 จะสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งได้เฉลี่ยประมาณ 35 องศาเซลเซียส ในวันที่มีอากาศแจ่มใส นั่นคืออุณหภูมิห้องอบแห้งเพิ่มจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเพียงพอสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีพื้นที่อบแห้งขนาด 3 ตารางเมตร สามารถอบพริกชี้ฟ้าสดได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยสามารถลดความชื้นของ

พริกจาก 72 - 73% เป็น 7-8% (มาตรฐานเปียก) ภายใน 2 วัน เมื่อความชื้นของแสงอาทิตย์เฉลี่ย 5.752 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อตารางเมตร โดยเครื่องอบมีประสิทธิภาพเท่ากับ 34.69% ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง กล่าวคือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนเท่ากับ 1.14 อัตราส่วนผลตอบแทนภายในเท่ากับ 21.91% มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 4870 บาท และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

ทวีศักดิ์ และคณะ (2546) ทำการวิจัย เครื่องอบพืชผลทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนใต้พิภพมาใช้ในการอบแห้ง โดยอาศัยความร้อนจากน้ำพุร้อน มีช่วงอุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส มีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซฟอน ทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร จำนวน 65 ท่อ ให้อากาศไหลผ่านส่วนระเหยและส่วนควบแน่นที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 240×280 สูง 210 มิลลิเมตร ทดสอบโดยปรับอัตราการไหลของน้ำร้อนที่ 0.025 0.043 0.063 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการไหลของอากาศ 1.0 1.1 และ 1.2 เมตรต่อวินาที จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง พบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งประมาณ 50 องศาเซลเซียส ชุดแลกเปลี่ยนแบบเทอร์โมไซฟอนมีขนาด 1,700 วัตต์ ใช้อุปกรณ์ผลิตไอน้ำได้คราวละ 5 กิโลกรัม ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักพืชผลทางการเกษตรกับเวลาในการอบแห้ง พบว่าเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งมากขึ้น น้ำหนักของพืชผลทางการเกษตรจะลดลงตามความสัมพันธ์ พืชผลทางการเกษตรที่ใช้อบคือ ขิง และพริก โดยใช้เวลาในการอบขิง 6 ชั่วโมง และพริก 22 ชั่วโมง

มขิมนต์ธรรม และคณะ (2546) ทำการศึกษาวิจัยพบว่า การแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้อัดใช้ได้ดี เครื่องอบแห้งมีลักษณะเป็นตู้ อากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีจะไหลเข้าบริเวณด้านล่างของตู้ และไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางบนชั้นที่บีบ ซึ่งออกแบบให้เกิดการไหลของอากาศผ่านแต่ละชั้นอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่ใช้ไม้อัด ขณะที่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ นั้น จะใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยให้ก๊าซร้อนไหลในท่อเหล็กที่วางไว้ใต้ชั้นวางแต่ละชั้น อุณหภูมิในห้องอบอยู่ในช่วง 45-58 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศในห้องอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 - 0.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในขณะที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และควบคุมให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ขณะใช้ไม้อัดจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือส้มแขกแห้งล้างน้ำ และเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้ว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร พบว่าใช้เวลาในการอบแห้งให้ได้ค่าความชื้นตามมาตรฐาน อบ. คือ 14 และ 16 ชั่วโมงตามลำดับ โดยค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็วใน 6 ชั่วโมงแรก ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน มีค่าประมาณ 29 เปอร์เซ็นต์

นิรุบล และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาวิจัย การอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้เครื่องทำความร้อนมีส่วนประกอบด้วยกัน 4 ส่วน คือ 1) ฮีตปั๊มที่มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน 2) เครื่องทำความร้อน 3) ตู้อบแห้ง 4) พัดลมหอยโขง อากาศจากภายนอกผ่านเข้ามายังส่วนฮีตปั๊มที่มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และมีความชื้นลดลงกล่าวคือ เป็นอากาศที่ร้อนและแห้ง หลังจากนั้นก็ผ่านไปยังส่วนเครื่องทำความร้อน เพื่อเพิ่มและควบคุมอุณหภูมิของอากาศ หลังจากนั้นอากาศจะผ่านไปยังส่วนตู้อบแห้ง เพื่ออบแห้งผลไม้แช่อิ่ม และอากาศที่ผ่านส่วนตู้อบแห้งจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ จากการทดลองวัดและเก็บ

ข้อมูลของอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของระบบแล้วนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับเวลาที่ใช้อบแห้ง พบว่าอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าฮีตปั๊มเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส หลังจากผ่านฮีตปั๊มที่ประกอบด้วยท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส แล้วผ่านเครื่องทำความร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จะเห็นว่า เมื่ออากาศเข้าไปยังตู้อบแห้งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสาร ระหว่างอากาศกับสับปะรด อากาศที่ออกจากตู้อบแห้งในช่วงแรกจะมีอุณหภูมิที่ลดลงต่ำกว่าช่วงหลัง เนื่องจากอัตราการอบแห้งในช่วงแรกสูงกว่าอัตราการอบแห้งในช่วงหลัง และในช่วงหลังอุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

กิตติ และคณะ (2546) พบว่าคุณลักษณะในการอบแห้งพริก ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด พริกที่เก็บสดจะมีความชื้นประมาณ 80%db. ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำการอบให้แห้งเพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาและการขนย้าย ในการอบพริกให้แห้งภายใต้แสงอาทิตย์จะใช้เวลาประมาณ 12 - 15 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของดินฟ้าอากาศและคุณภาพของพริก ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้ง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ ใช้เทคนิคของฟลูอิดไดซ์เบด ในการอบแห้งพริก โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขของการอบแห้งแบบชั้นบาง อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางเข้าห้องอบแห้ง 4 ระดับคือ 70 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลมของอากาศร้อน 5 ระดับคือ 7 7.5 8 8.5 และ 9 เมตรต่อวินาที จากการทดลองพบว่า พริกจะถูกอบให้แห้งและมีความชื้นเป็น 17%db. ในระยะเวลา 2 - 4 ชม. อุปกรณ์อบแห้งซึ่งประกอบด้วย พัดลมหอยโขง 1 ชุด พรอมมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า และชุดลดความร้อนขนาด 500 วัตต์ 7 ชุด และขนาด 1,000 วัตต์ 14 ชุด ชุดควบคุมอุณหภูมิที่นำอากาศร้อน ตู้อบแห้งหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสพร้อมทั้งถาดบรรจุวัสดุในการอบแห้ง จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาที่ระดับความเร็วลมร้อนระดับเดียวกัน พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิลมร้อน การเปลี่ยนแปลงของความชื้นของพริกมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดในระดับ 90 และ 100 องศาเซลเซียส โดยความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 90 นาทีแรก และจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีระดับความชื้นคงที่ประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงแล้ว และเมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิของลมร้อนระดับเดียวกัน พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเร็วลมร้อนเป็น 7 7.5 8 8.5 และ 9 เมตรต่อวินาที ผลกระทบของความเร็วของลมร้อนจะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความชื้น

Dogantan และคณะ ได้ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดการไหลเวียนอากาศแบบธรรมชาติ ผลลัพธ์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ พริก จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิที่เครื่องอบแห้งทำได้ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที และการหันพริกแบบบาง ๆ สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ถึง 60% ของเวลาอบแห้งทั้งหมด การลดชั้นหนาในการอบแห้งจาก 10 เซนติเมตรเป็น 5 เซนติเมตร สามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 30% เมื่อทำการเปรียบเทียบกับตากแดดโดยตรงพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สามารถอบแห้งพริกได้เร็วกว่าการตากแดดโดยตรง 4 วัน

Horn (1988) ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ อบแห้งพริกขึ้นในประเทศเปรู เครื่องอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนรับรังสีดวงอาทิตย์และส่วนอบแห้ง เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะไม่มีการพัดลมแต่จะมีปล่องยกสูงขึ้นเป็นแท่ง เพื่อให้

อากาศไหลเวียนออกไปตามธรรมชาติเอง ส่วนด้านบนปิดด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) อุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ได้คือ 77 องศาเซลเซียส พริกชี้หนูที่ใช้ในการทดลองประมาณ 10 – 12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร วางบนตาข่ายพลาสติกพื้นที่ 33 ตารางเมตร อบพริกที่ความหนา 10 เซนติเมตร ใช้เวลาอบทั้งหมด 3 วัน สามารถลดความชื้นจาก 85% มาตรฐานเปียก เหลือความชื้นสุดท้ายที่ 19% มาตรฐานเปียก

Schirmer และคณะ (1997) ได้ทำการอบแห้งกล้วยน้ำหว้าในประเทศไทย โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ซึ่งมีลักษณะเป็นอุโมงค์เตี้ย กว้าง 1.8 เมตร ยาว 20 เมตร อากาศภายนอกถูกดูดโดยใช้พัดลมซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ขนาด 53 วัตต์ มีอัตราการไหลของอากาศ 800 – 1200 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผ่านตัวรับรังสีความร้อนที่ถูกปิดด้วยพลาสติกใส ขนาดพื้นที่รับรังสีความร้อน 1.8 เมตร x 10 เมตร หรือ 50% ของพื้นที่ทั้งหมด อากาศร้อนจะไหลผ่านกล้วยที่วางอยู่บนตาข่ายพลาสติกภายในอุโมงค์อบแห้ง กล้วยได้รับความร้อนจากอากาศร้อนและการดูดกลืนแสงอาทิตย์โดยตรง เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งได้ครั้งละ 300 กิโลกรัม อุณหภูมิอากาศร้อนอยู่ในช่วง 45 – 65 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งได้แล้วเสร็จภายใน 3 – 5 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตากแดดโดยตรงจะใช้เวลา 5 – 7 วัน ปริมาณการอบแห้ง 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

Esper และ Muhlbaier (1996) ทำการทดลองอบแห้งผลไม้ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ เครื่องอบมีขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 10 เมตร ตัวเครื่องแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนรับความร้อน และส่วนอบแห้ง สามารถทำอุณหภูมิในเครื่องได้ 60 – 65 องศาเซลเซียส เครื่องใช้พัดลมในการบังคับอากาศไหลเวียนในห้องอบแห้งโดยมีขนาด 30 วัตต์ ขับด้วยพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มีอัตราการไหลของอากาศ 800 – 1000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อบได้ครั้งละ 100 – 300 กิโลกรัม ปริมาณการอบแห้งคิดเป็น 5 – 15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทำการอบผลไม้ได้แก่ มะม่วง มะละกอ สับปะรด ทั้งนี้ก่อนทำการอบจะนำผลไม้ไปปกเปลือกและผ่านเป็นแผ่น ๆ จากการทดลองพบว่า ผลผลิตที่ได้นั้นมีคุณภาพดีเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทั้งทางด้านสี กลิ่น และรสชาติ

Bala และคณะ (2003) ทำการศึกษาการอบแห้งสับปะรดโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ในบังคลาเทศ เป็นการศึกษาวิจัยหาความเหมาะสมของการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ภายใต้สภาพอากาศในบังคลาเทศ ตัวเครื่องประกอบด้วยตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ อุโมงค์อบแห้งและพัดลมขนาดเล็กที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนให้อากาศไหลเวียนผ่านบนผลิตภัณฑ์ในอุโมงค์อบแห้ง ตัวรับรังสีและห้องอบแห้งจะถูกปิดด้วยพลาสติกใส แผ่นดูดซับความร้อนจะถูกทาด้วยสีดำ ผลิตภัณฑ์อบแห้งจะถูกวางบนตาข่ายพลาสติกภายในห้องอบแห้ง อากาศไหลเวียนจะถูกบังคับโดยพัดลมที่ใช้พลังงานจากโซลาร์เซลล์ เพื่อเป็นการป้องกันน้ำเข้าภายในห้องอบแห้งซึ่งในระหว่างทำการอบแห้งอาจมีฝนตกควรทำหลังเครื่องอบให้ทรงจั่วสามเหลี่ยมเหมือนหลังคาบ้าน รังสีดวงอาทิตย์ผ่านแผ่นปิดใสเข้าไปกระทบกับแผ่นสะสมความร้อน แผ่นสะสมความร้อนก็จะดูดซับความร้อนเก็บสะสมเอาไว้ อากาศที่อยู่ภายนอกล้อมรอบเครื่องอบแห้งจะถูกบังคับให้ไหลผ่านเข้าไปยังตัวดูดซับความร้อน ตัวดูดซับความร้อนก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศและไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง อากาศจะดูดซับความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ อัตราการ

การอบแห้งและอุณหภูมิอบแห้งอยู่ระหว่าง 34.1 – 64.0 องศาเซลเซียส ค่ารังสีดวงอาทิตย์มีค่าจาก 0 – 580 วัตต์ต่อตารางเมตร การทดลองอบแห้งสับปะรดโดยการหั่นสับปะรดเป็นชิ้นวงกลมหนา 10 มิลลิเมตร ผสมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 40 กรัมต่อ 1 กิโลกรัมของสับปะรดสด แช่ไว้ประมาณครึ่งชั่วโมง หลังจากนั้นนำสับปะรดวางบนตาข่ายพลาสติกภายในอุโมงค์อบแห้ง สำหรับการทดลองแต่ละครั้งประสิทธิภาพของเครื่องอบสามารถอบได้เต็มที่ 150 กิโลกรัม ทำการอบแห้งเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 น. – 16.00 น. เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการอบกับเครื่องและการตากแดดโดยตรง ผลการทดลองปรากฏว่า ความชื้นของสับปะรดหลังจากทำการอบแห้งเสร็จแล้วมีค่า 14.3% (มาตรฐานเปียก) จาก 87.32% (มาตรฐานเปียก) ใน 3 วันของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ในขณะที่ถ้าทำการอบแห้งโดยการตากแดดโดยตรงใช้เวลา 3 วันเท่ากัน จะมีความชื้นเท่ากับ 21.52% (มาตรฐานเปียก) จะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์จะทำงานได้ดีกว่า และคุณภาพของสับปะรดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเหมาะสำหรับการบริโภค สะอาด ถูกหลักอนามัย

Gauhar และคณะ (1998) ทำการศึกษา การหาความเหมาะสมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์สำหรับการอบแห้งพริก เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัยไฮเฮนไฮม์ ประเทศเยอรมัน พบว่า มีความต้องการเครื่องอบแห้งขนาดเล็กและทำงานง่าย การออกแบบเครื่องใหม่ต้องการการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงและกำจัดความชื้นได้ดีกว่า ผลิตภัณฑ์ที่สามารถอบแห้งได้ดี ได้แก่ กล้วย องุ่น พริกขี้หนู กาแฟ ขิง พริกหยวก เป็นต้น ความจุของเครื่องอยู่ระหว่าง 1.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับพืชสมุนไพร และ 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สำหรับองุ่น เครื่องอบแห้งที่ออกแบบใหม่ใช้พลังงานจากเตาไฟฟ้าสำหรับจ่ายพลังงานให้กับพัดลมโดยใช้แบตเตอรี่หรือโซลาร์เซลล์ การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ ตามมาตรฐานของมหาวิทยาลัยไฮเฮนไฮม์ คือ ยาว 18 เมตร กว้าง 2 เมตร ประกอบด้วยพื้นที่รับแสงมีขนาด 16 ตารางเมตร และพื้นที่อบแห้ง 20 ตารางเมตร อย่างไรก็ตามได้มีการออกแบบลดขนาดของเครื่องลง เพื่อให้เหมาะสมกับประเทศในแถบอาเซียน เพื่อความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรจำนวนน้อย เครื่องอบอบแห้งของ AIT ประกอบด้วย ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ และอุโมงค์อบแห้ง ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ยาว 4 เมตร กว้าง 1.8 เมตร ห้องอบแห้งยาว 4.30 เมตร อัตราอากาศไหลเวียน 130 – 650 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที อุณหภูมิลมร้อนระหว่าง 30 – 70 องศาเซลเซียส ใช้พัดลม 5 ตัวสำหรับไล่ความชื้นออกจากเครื่องอบ ผลิตภัณฑ์ที่จะอบแห้งถูกวางไว้บนตาข่ายพลาสติกภายในอุโมงค์อบแห้ง อากาศผ่านตัวเก็บสะสมความร้อนเข้าไปยังอุโมงค์อบแห้งโดยถูกบังคับจากพัดลมขนาด 14 วัตต์ มีอัตราอากาศไหลเวียน 130 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สามารถใช้ไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่และโซลาร์เซลล์ มีการติดฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่ด้านหลังของตัวเก็บสะสมความร้อนและห้องอบแห้ง เพื่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด ในส่วนของการทดลองจะทำการทดลองเครื่องเปล่า กับการอบแห้งพริก โดยทำการวัดกับตัวแปรต่าง ๆ คือ 1. ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์และห้องอบแห้ง 2. อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตัวรับรังสีและห้องอบแห้ง 3. ความเร็วลม ทำการวัดอัตราการอบแห้งทุกวัน โดยวัดน้ำหนักที่หายไปจากผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

ในแต่ละวัน วัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการอบแห้ง วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องอบแห้ง การอบแห้งพริก โดยใช้พริกสุกโดยวางบนชั้นวาง และทำการทดลองแบบต่อเนื่องทุกวันจนกว่าจะได้ความชื้นของพริกตามที่ต้องการ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากโซลาร์เซลล์อยู่ที่ 14.2% และ 9.32% สำหรับใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ระยะเวลาคืนทุน 2 ปี