



## สารบัญ

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| สารบัญภาพ .....                                                | 4  |
| บทคัดย่อ.....                                                  | 6  |
| บทที่ 1 .....                                                  | 7  |
| บทนำ.....                                                      | 7  |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....                | 7  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....                           | 9  |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....                                    | 9  |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....                            | 9  |
| บทที่ 2 .....                                                  | 10 |
| หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                 | 10 |
| 2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง .....                                       | 10 |
| 2.1.1 สมบัติของอากาศชื้น (properties of moist air) .....       | 13 |
| 2.1.2 สมบัติของวัสดุชื้น ( Properties of moist materials)..... | 14 |
| 2.1.3 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง.....                | 18 |
| 2.1.4 ประเภทของการอบแห้ง.....                                  | 18 |
| 2.1.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....                      | 20 |
| 2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง.....               | 23 |
| 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                 | 23 |
| บทที่ 3 .....                                                  | 35 |
| ระเบียบวิธีวิจัย.....                                          | 35 |

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้ง .....                   | 35 |
| 3.2 การสร้างเครื่องอบแห้ง .....                    | 35 |
| 3.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง .....             | 38 |
| 3.3.1 เครื่องมือวัด .....                          | 38 |
| 3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง .....                      | 42 |
| 3.3.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ .....                    | 43 |
| 3.4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ..... | 46 |
| 3.5 การหาความชื้นมาตรฐานเปียกที่เวลาต่างๆ .....    | 47 |
| บทที่ 4 .....                                      | 48 |
| ผลการทดลอง .....                                   | 48 |
| 4.1. สมบัติทางฟิสิกส์ของเครื่องอบแห้ง .....        | 48 |
| 4.1.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ .....                  | 48 |
| 4.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของพริก .....                  | 51 |
| 4.3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ .....                      | 53 |
| บทที่ 5 .....                                      | 54 |
| สรุปและอภิปรายผล .....                             | 54 |
| บรรณานุกรม .....                                   | 55 |

## สารบัญภาพ

| รูปที่                                                                                                        | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย wiulsas และคณะ (1977) .....                                           | 24   |
| รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่พัฒนาโดย Wiulswas และ Thaina (1980) .....                                | 25   |
| รูปที่ 2.3 แสดงโรงบ่มยาสูบซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม (Boon-Long, A. Hirun et al. 1984)<br>..... | 25   |
| รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Thongprasert และคณะ (1985).....                                   | 26   |
| รูปที่ 2.5 แสดงยุงเก็บและอบแห้งข้าวซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Soponronnait และคณะ (1986).....                           | 27   |
| รูปที่ 2.6 แสดงยุงเก็บและอบแห้งข้าวที่พัฒนาขึ้นโดย Praditwong และ Janjai (1989) .....                         | 29   |
| รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Rakwichian และ Sudapasert (1990).....                             | 29   |
| รูปที่ 2.8 แสดงโรงอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell (1990) .....                                                    | 30   |
| รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534).....                                         | 31   |
| รูปที่ 3. 1 แสดงการเทพื้นด้วยคอนกรีต.....                                                                     | 36   |
| รูปที่ 3. 2 แสดงโครงสร้างเครื่องอบแห้ง .....                                                                  | 36   |
| รูปที่ 3. 3 แสดงฉนวนที่ใช้บุเครื่องอบแห้ง .....                                                               | 37   |
| รูปที่ 3. 4 แสดงตะแกรงที่ใช้วางวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง .....                                                   | 38   |
| รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Lutron รุ่น YK-80AS.....                                               | 39   |
| รูปที่ 3.6 แสดงเทอร์โมคัปเปิ้ล 5x30 nm Type K J-30 จำนวน 2 ตัว.....                                           | 40   |
| รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ Kipp & Zonen's CMP3 .....                                    | 40   |
| รูปที่ 3.8 แสดงตู้อบไฟฟ้า .....                                                                               | 41   |
| รูปที่ 3. 9 แสดง Data Recorder ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DX 200 .....                                              | 41   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| รูปที่ 3. 10 แสดงเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น HT-3009 และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น HT-3007SD .....                                                                                                                                          | 42 |
| รูปที่ 3. 11 แสดงการติดตั้งหัววัดของอุปกรณ์ต่างๆ สีเหลืองติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ สีแดงเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ขาออก สีน้ำเงินเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิขาเข้า สีชมพูเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมภายนอก ..... | 42 |
| รูปที่ 3. 12 แสดงลักษณะของพริก.....                                                                                                                                                                                                                                              | 43 |
| รูปที่ 3. 13 แสดงลักษณะของดอกพริก.....                                                                                                                                                                                                                                           | 44 |
| รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของผลพริก .....                                                                                                                                                                                                                                            | 45 |
| รูปที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นสีอาทิตย์ระหว่างในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6 -11 เมษายน2557.....                                                                                                                                                                                   | 49 |
| รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557 .....                                                                                                                                                                       | 49 |
| รูปที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิอากาศอบแห้งตรงทางเข้า ข้างในและตรงทางออกของส่วนอบแห้ง ในระหว่างการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557.....                                                                                                                                               | 50 |
| รูปที่ 4.4 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งตรงทางเข้าและตรงทางออก ในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557 .....                                                                                                                                                        | 51 |
| รูปที่ 4.5 แสดงความชื้นมาตรฐานแห้งระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557.....                                                                                                                                                                                                            | 52 |
| รูปที่ 4.6 แสดงความชื้นมาตรฐานเปียกระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557.....                                                                                                                                                                                                           | 52 |
| รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557.....                                                                                                                                                                                          | 53 |
| รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557 .....                                                                                                                                                                                      | 53 |

### บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมถูกออกแบบเพื่อใช้อบแห้งพริก เครื่องอบแห้งนี้ ประกอบส่วนแผงรับรังสีดวงอาทิตย์และส่วนอบแห้งผลิตภัณฑ์ ขนาด 1.8x2.4x1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับระบบ ระบายอากาศจะใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 38 วัตต์ 1 ตัว เพื่อให้มีการถ่ายเทภายในเครื่องอบ ทำให้ ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนทั้งจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโดยตรงและจากแผงรับรังสีมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เร็วขึ้น ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้ในระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน พ.ศ. 2557 โดยใช้พริก จำนวน 30 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งพริกที่ความชื้น 72.95% wb และความชื้นสุดท้ายที่ 8.43% wb ภายใน 43 ชั่วโมง หรือประมาณ 3 วันครึ่ง โดยอุณหภูมิภายในเครื่อง อบแห้งแปรค่าระหว่าง 29.50-72.09 องศาเซลเซียส ซึ่งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ และพริกที่ได้มี คุณภาพดี

### Abstract

A Solar Tunnel Dryer is designed for chili, which consists of solar collector and a drying tunnel placed. It has a dimension of 1.8x2.4x1m<sup>3</sup>. An Ac-fan driven 38W was installed for blowing hot air inside the solar tunnel dryer. To investigate its performance, 30kg of chillies were used for drying inside the dryer on 6-11 April 2007. The red chillies were dried from initial moisture content of about 72.95% wb to the final moisture content about 8.43% wb in 43hr (three and a half day). The temperature in the drying varied between 29.05-72.09°C. With this dryer, red chilli dried faster in the dryer than in open sun and dried red chilli are of the highest quality.

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม Solanaceae พริกถูกใช้ในการประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่าง ๆ และใช้เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคบางชนิด จากสถิติการค้าสินค้าของเกษตรไทยของสำนักงานเศรษฐกิจเกษตร พบว่าการส่งออกพริกและผลิตภัณฑ์ของพริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ได้แก่การส่งออกของผลิตภัณฑ์จาก พริกสด ซอสพริก พริกแห้งและพริกป่น พริกที่ปลูกโดยส่วนใหญ่เป็นพริกชี้หนูผลใหญ่ พริกชี้หนูสวน และพริกชี้ฟ้า พื้นที่เพาะปลูกโดยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่จังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ เลย ศรีสะเกษ อุบลราชธานี และนครพนม ในเขตจังหวัดนครพนมพริกเป็นพืชเศรษฐกิจของชาวอำเภอเรณูนคร โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำบลนางามซึ่งนิยมปลูกพริกกันเป็นจำนวนมากทำให้ราคาพริกจะตกต่ำเนื่องจากเกินภาวะพริกล้นตลาด ดังนั้นกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรนางามเหนือจึงหันมาทำพริกแห้งเพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์พริก ไม่ว่าจะเป็นพริกป่น และน้ำพริก ซึ่งผลิตภัณฑ์พริกป่นเป็นผลิตภัณฑ์โอท็อป ระดับ 4 ดาว นอกจากนี้เกษตรกรกลุ่มนี้ยังอยู่ในโครงการส่งเสริมอาชีพตามพระราชดำริของพระเทพรัตนราชสุตาฯ สยามบรมราชกุมารี (สสท.) จากความสำเร็จในการทำงานอย่างขยันขันแข็งของหัวหน้ากลุ่มเกษตรและสมาชิกทุกคนทำให้กลุ่มเกษตรกลุ่มนี้ได้รับรางวัลกลุ่มเกษตรกรดีเด่นระดับประเทศในปี 2550

ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ  $17 \text{ MJ/day-m}^2$  ถึงแม้ว่าในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมยังคงอยู่ในระดับปานกลางประมาณ  $15\text{-}18 \text{ MJ/day-m}^2$  (เสริม จันทรฉายและคณะ 2542) ซึ่งมีศักยภาพเพียงพอที่สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของพลังงานความร้อน จากการศึกษาข้อมูลจะพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานในการอบแห้งได้เป็นอย่างดี ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและยังเป็นการช่วยประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดี พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีค่าใช้จ่ายน้อยและปริมาณของแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการอบแห้ง การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อนำแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งจึงเป็นหนทางหนึ่งในการใช้พลังงานหมุนวนให้เกิดประโยชน์สูงสุด การตากแห้งเป็นกระบวนการที่ง่ายที่เกษตรกรทำกันมาตั้งแต่โบราณและมีการใช้อย่างแพร่หลาย การตากแห้งพืช ผัก ผลไม้ ส่วนใหญ่ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงกระบวนการคือมีการตากแห้งผลิตภัณฑ์โดยตรงกับแสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่จะทำการในพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งทันทีหลังจากทำการตากแห้ง ข้อดีของการ

ตากแห้งแบบนี้คือลดต้นทุนการผลิตและต้องการไม่ต้องมีการใช้ทักษะอะไรมากมาย ส่วนข้อเสียของการตากแห้งคือ การเหี่ยวแห้ง การถูกทำลายจากนก หนู และแมลง แห้งช้าหรือแห้งไม่ต่อเนื่อง ไม่มีการป้องกันจากฝนหรือน้ำค้าง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแห้งที่ไม่มีความสม่ำเสมอ การตากแห้งตามธรรมชาติการแห้งในบริเวณพื้นผิวเป็นไปได้ค่อนข้างลำบากเพราะต้องมีการพลิกกลับของผลิตภัณฑ์ และมีการเคลื่อนย้ายเมื่อมีฝนตก ซึ่งส่งผลกระทบต่อลดลงของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็น สีหรือวิตามิน

เนื่องจากในปัจจุบันต้นทุนของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นและความไม่แน่นอนของราคาเชื้อเพลิงในอนาคตและความไม่แน่นอนของปริมาณเชื้อเพลิงที่จะมีความเพียงพอที่จะใช้ได้ในอนาคต การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในกระบวนการอบแห้งจะกลายเป็นหนทางหนึ่งของการประหยัดพลังงานในอนาคต ข้อดีของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คือพริกสามารถแห้งได้เร็วกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ โดยความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 10-30 องศา ซึ่งทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนตัวได้เร็วส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงได้เร็วขึ้น การแห้งเร็วทำให้ลดความเสี่ยงของการทำให้เกิดความเสียหายของพริก และช่วยในการปรับปรุงคุณภาพการผลิต เครื่องอบแห้งยังช่วยในการปกป้องผลิตภัณฑ์จากฝุ่น แมลง นก และสัตว์อื่นๆ ดังนั้นเครื่องอบแห้งสามารถให้ประโยชน์ในทุกๆพื้นที่ในประเทศไทย

บ้านนางาม หมู่ที่ 3 และ 13 เป็นหมู่บ้านในตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม ซึ่งประชากรในหมู่บ้านจะมีอาชีพปลูกข้าวเป็นหลัก แต่หลังจากช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยว ประชากรในหมู่บ้านจะมีอาชีพปลูกพืชไร่เป็นอาชีพรองจากการปลูกข้าว โดยพืชไร่นิยมปลูกกันมากคือพริก โดยพริกที่นิยมปลูกกันมากคือ พริกพันธุ์จินดา และพันธุ์เกษตร ผลผลิตจากการปลูกพริกในตำบลนางามมีผลผลิตมากติดอันดับในจังหวัดนครพนม จากการสำรวจข้อเบื้องต้นพื้นที่ในการปลูกพริกจำนวน 800 ไร่ ผลผลิตทั้งหมด 1,520 ตัน ซึ่งช่วงที่พริกยังไม่ออกสู่ตลาดมากราคาระดับของพริกจะสูงถึงราคาระดับโลกรั่มละ 20-25 บาท ซึ่งสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกรในหมู่บ้านเป็นอย่างมาก ในแต่ละปีที่ผ่านมาในช่วงของการเก็บผลผลิต ราคาของพริกจะตกต่ำมากโดยราคาของพริกจะลดลงเหลือโลกรั่มละ 5 บาท โดยส่วนมากบางครั้งเรือ้นไม่มีทางเลือกก็ต้องขาย ซึ่งจะทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวที่ขายพริกเกษตรกรต้องประสบกับปัญหาการขาดทุน เกษตรนางามเหนือ หมู่ที่ 3 และ 13 บ้านนางามเหนือ ตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม จึงได้ดำเนินการแปรรูปพริกในรูปผลิตภัณฑ์

ในปี พ.ศ. 2550 กลุ่มเกษตรบ้านนางามได้รับเงินทุนจัดสรรจากจังหวัด เพื่อใช้ในการสร้างโรงอบแห้งพริก แต่โรงอบพริกดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเกษตร เพราะว่าโรงอบแห้งดังกล่าวมีขนาดใหญ่เกินไป มีสามารถกักเก็บความร้อนได้ และที่สำคัญไม่สามารถใช้ในการอบแห้งพริกได้ เนื่องจากว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวถูกสร้างขึ้นโดยขาดการออกแบบที่เหมาะสม และไม่มีนักวิชาการเข้าไปมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน ซึ่งในปัจจุบันโรงอบแห้งดังกล่าวได้ถูกใช้เป็นสถานีแปรรูปพริก และอุปกรณ์ต่างๆ ที่

ใช้ในการแปรรูปพริก เช่น เครื่องคั่วพริก เครื่องปั่นพริก รวมทั้งใช้เป็นโรงเก็บพริกแห้งด้วย ดังนั้นเกษตรกรกลุ่มนี้ยังคงขาดแคลนเครื่องอบแห้งพริกที่สามารถใช้เป็นเครื่องต้นแบบและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้เหมาะสม

จากการศึกษาในรายงานการสร้างสิ่งประดิษฐ์เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมจากวัสดุในท้องถิ่น เพื่อใช้ในการอบแห้งพริกได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ได้รับทุนสนับสนุนจาก สวทช ปี 2547 พบว่าเครื่องอบแห้งที่ได้สร้างขึ้นยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุงอีกหลายๆ ด้าน เช่น ขนาดของโรงอบกับขนาดของพัดลมที่ใช้ในการระบายอากาศยังไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสมกัน การปรับระยะช่องว่างระหว่างหลังคาหน้าจั่ว 2 ชั้น ขนาดบรรจุของโรงอบกับปริมาณพริกที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละวัน โครงการดังกล่าวยังไม่มีเผยแพร่เนื่องจากปัญหาที่กล่าวมา จากปัญหาต่างๆ ที่กล่าวมา ผู้วิจัยจึงขอเสนอหัวข้อวิจัย การศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งดังกล่าวเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างสูงสุด และเหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกรในเขตตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอโครงการวิจัยนี้เพื่อขอรับทุนสนับสนุนการงานวิจัยจากสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครในปีงบประมาณ 2555

ดังนั้นผู้วิจัย จึงสนใจที่จะศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมใช้ในการอบแห้งพริก เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาของกลุ่มเกษตรกรปลูกพริกบ้านนางาม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมสำหรับอบแห้งพริกในเขตตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม
2. เพื่อเผยแพร่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมให้แก่สมาชิกกลุ่มเกษตรกรบ้านนางามตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมสำหรับอบแห้งพริกของกลุ่มเกษตรกรบ้านนางามเหนือ ตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้คือจะได้ต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในครัวเรือน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพการผลิตพริกแห้ง ในเขตตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม

## บทที่ 2

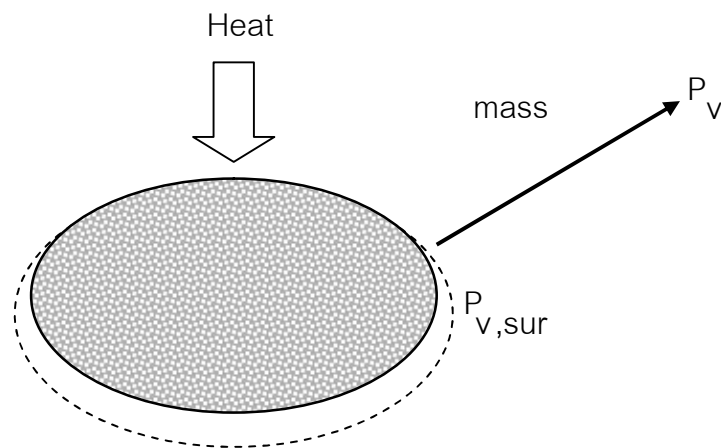
### หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง เป็นการแยกน้ำออกจากวัตถุดิบ (Moist material) โดยการให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ โดยอาศัยความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมักเป็นการอบแห้งแบบการพาความร้อน (convective drying) โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นวัตถุดิบจะถูกเป่าด้วยอากาศร้อน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุ ทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำในวัตถุจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและระเหยออกมา การถ่ายเทมวลของน้ำจากวัตถุดิบไปยังอากาศจะหยุดเมื่อ

$$P_{v,sur} = P_v \quad (2.1)$$

เมื่อ  $P_{v,sur}$  คือ ความดันของไอน้ำที่ผิววัตถุ  
 $P_v$  คือ ความดันไอน้ำในอากาศ

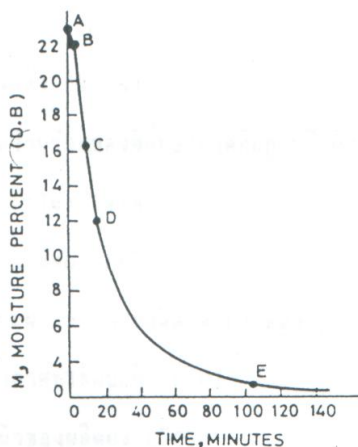


รูปที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทมวลและความร้อนในการอบแห้ง (Sodha 1987)

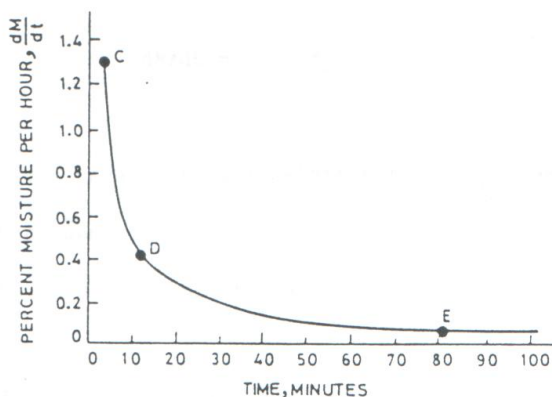
การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในวัตถุดิบออกมาที่ผิว เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นกับโครงสร้างของวัตถุดิบ ตัวอย่างกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ การแพร่ (Diffusion) การไหลภายในท่อเล็กในโครงสร้างของวัตถุ (capillary flow) การไหลจากความดันออสโมติก (osmotic pressure) และการไหล

เนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นต้น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายกระบวนการเหล่านี้มีความซับซ้อนมาก

ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การลดลงของความชื้นและอัตราการแห้ง (Drying rate) โดยทั่วไปจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงการลดลงของความชื้นในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรทั่วไป (Sodha 1987)



รูปที่ 2.3 แสดงอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรระหว่างการอบแห้ง (Sodha 1987)

โดยทั่วไปอัตราการแห้งของผลผลิตทางการเกษตรจะแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ C ถึง D ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (constant-rate regime) D ถึง E ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก

ในช่วงอัตราการแห้งคงที่ การระเหยของน้ำจะเกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการระเหยจะคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ เราสามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$DM/dt = (h_c A/L)(T_a - T_{sur}) \quad (2.2)$$

|       |           |                                                                                                           |
|-------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $dM/dt$   | คือ อัตราการแห้งคงที่ [kg/s]                                                                              |
|       | $h_c$     | คือ การนำความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่เหนือผิวผลผลิต (thermal conductance of air film) [ $W/m^2 \cdot K$ ] |
|       | $A$       | คือ พื้นที่ผิวของผลผลิต [ $m^2$ ]                                                                         |
|       | $L$       | คือ ความร้อนแฝงของน้ำในผลผลิต [J/kg]                                                                      |
|       | $T_a$     | คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง [ $^{\circ}C$ ]                                                     |
|       | $T_{sur}$ | คือ อุณหภูมิที่ผิวของผลผลิต [ $^{\circ}C$ ]                                                               |

สำหรับช่วงที่อัตราการแห้งลดลง (falling-rate regime) โดยทั่วไปเราสามารถเขียนอัตราการแห้งในรูปสมการได้ดังนี้

$$dM/dt = -k(M-M_e) \quad (2.3)$$

|       |       |                                                            |
|-------|-------|------------------------------------------------------------|
| เมื่อ | $M_e$ | คือ ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ของผลผลิต |
|       | $M$   | คือ ความชื้นของผลผลิต                                      |
|       | $k$   | คือ ค่าคงที่การอบแห้ง (drying constant)                    |

การอบแห้งสามารถแบ่งตามการส่งผ่านความร้อนจากแหล่งความร้อนไปยังวัตถุดิบได้ 3 แบบดังนี้

1. การอบแห้งโดยการนำความร้อน (Conduction drying) ความร้อนจากแหล่งความร้อนถ่ายเทไปยังวัตถุดิบโดยขบวนการนำความร้อน เช่น การรีดผ้า
2. การอบแห้งโดยการพาความร้อน (Convection drying) การอบแห้งแบบนี้ความร้อนถูกส่งผ่านไปยังวัตถุดิบโดยขบวนการพาความร้อน เช่นการอบแห้งเมล็ดธัญพืช
3. การอบแห้งโดยการแผ่รังสี (Radiation drying) การอบแห้งวิธีนี้ไม่ค่านิยมมากนักเพราะตัวแหล่งกำเนิดความร้อนมีราคาแพง เช่น การอบแห้งรถยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีหลอดอินฟราเรดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

การอบแห้งเมล็ดธัญพืชเป็นอันตรกิริยา (Interaction) กันระหว่างวัตถุดิบ (moist material) และอากาศชื้น (moist air) ดังนั้นการที่จะเข้าใจกลไกการอบแห้งจำเป็นต้องเข้าใจคุณสมบัติของอากาศชื้น และวัตถุดิบ

### 2.1.1 สมบัติของอากาศชื้น (properties of moist air)

อากาศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการนำความร้อนไปสู่วัตถุขึ้น และพาความชื้นจากวัตถุนั้นออกมา จะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ ซึ่งมีสมบัติแสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัว ดังนี้

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ( $T_{db}$ ) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่บอกได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั่ว ๆ ไป
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $T_{wb}$ ) คือ อุณหภูมิของอากาศชื้นที่บอกได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้ากอสม์ที่เปียก และมีลมเป่าผ่านกระเปาะนี้ด้วยความเร็วอย่างน้อย 4.6 m/s
3. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew-point temperature) ( $T_{dp}$ ) คืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลงที่อัตราส่วนความชื้น และความดันบรรยากาศคงที่
4. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, rh) ( $\phi$ ) คืออัตราส่วนของเศษส่วนเชิงมวล (Mole fraction) หรือความดันไอของน้ำในอากาศต่อเศษส่วนเชิงมวล หรือความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 0–1
5. ความชื้นสัมบูรณ์ (absolute humidity) หรืออัตราความชื้น (humidity ratio) (H) คือมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศแห้งหนึ่งหน่วยมวล
6. เอนทัลปี (enthalpy) เป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในอากาศชื้น (h) ของอากาศชื้น คือค่าปริมาณความร้อนที่สะสมอยู่ในอากาศชื้น (เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนดขึ้น) ต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง ในการคำนวณโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของเอนทัลปี ดังนั้นอุณหภูมิอ้างอิงจะเป็นอุณหภูมิใดๆ ก็ได้ โดยทางปฏิบัติเรามักอ้างอิงกรณีของน้ำเท่ากับ  $32^{\circ}\text{F}$  และของอากาศแห้งเท่ากับ  $0^{\circ}\text{F}$  ในระบบอังกฤษและอุณหภูมิอ้างอิงทั้งกรณีของน้ำและอากาศเท่ากับ  $0^{\circ}\text{C}$  ในระบบเมตริกและระบบสากล
7. ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) (V) เป็นปริมาตรของอากาศชื้นต่อ 1 หน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง ตัวแปรทั้ง 7 มีความสัมพันธ์กัน และสามารถแสดงเป็นแผนภูมิ เรียกว่าแผนภูมิอากาศชื้น (psychrometric chart) ในกระบวนการอบแห้ง สมบัติของอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงดังแผนภูมิในรูปที่ 2.4



$M_d$  = ความชื้นฐานแห้ง (kg/kg)

$m_w$  = มวลของของเหลวในปริมาณที่พิจารณา (kg)

$m_s$  = มวลของของแข็ง ในปริมาณที่พิจารณา (kg)

ความชื้นฐานเปียก นิยมใช้กันในการค้า สำหรับความชื้นฐานแห้งมักใช้ในการคำนวณ และการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์

ปริมาณความชื้นฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำในวัตถุต่อน้ำหนักวัตถุขึ้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าตัวเปอร์เซ็นต์การแสดงความชื้นแบบนี้นิยมใช้ในการค้า

$$M_{wb} = \frac{(w - d) \times 100}{w} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $M_{wb}$  คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

$W$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัตถุขึ้น (kg)

$D$  คือ น้ำหนักของวัตถุแห้ง (kg)

ปริมาณความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุต่อน้ำหนักวัตถุแห้งหาค่าเปอร์เซ็นต์ดังนี้

$$M_{db} = \frac{(W - d) \times 100}{d} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $M_{db}$  คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$W$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัตถุขึ้น (kg)

$D$  คือ น้ำหนักของวัตถุแห้ง (kg)

การแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ในด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณหาค่าแตกต่างที่เกี่ยวข้องในกระบวนการอบแห้งได้ง่าย เนื่องจากน้ำหนักแห้งของวัตถุคงที่ซึ่งค่าปริมาณความชื้นสามารถหาได้ 2 วิธีคือ

วิธีตรง

- โดยใช้ตุ๋บทำได้โดยนำตัวอย่างมาอบให้แห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนัก
- การกลั่นโดยการใส่ตัวอย่างวัตถุไว้ในน้ำและทำให้ร้อน น้ำที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้เย็นลงและ

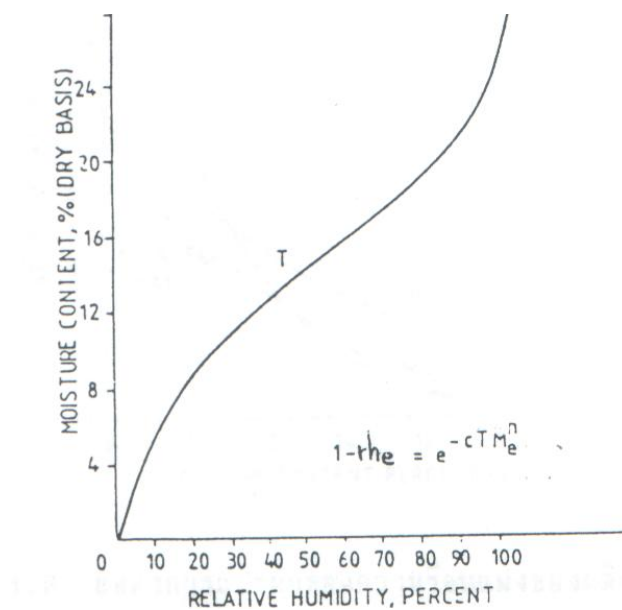
ความหนาแน่น ปริมาณน้ำที่ได้ก็คือปริมาณน้ำที่อยู่ในวัตถุ

วิธีอ้อม

ทำได้โดยการหาความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัตถุซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นกับปริมาณความชื้นของวัตถุ

#### 2.1.2.2 ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content)

วัตถุขึ้นจะมีการรับและดูดความชื้นจากอากาศรอบๆ จนกระทั่งความชื้นมีค่าคงที่ เรียกความชื้นนี้ว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ความชื้นสมดุลจะขึ้นกับธรรมชาติของวัตถุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หาได้โดยการทดลอง



รูปที่ 2.5 แสดงความชื้นสมดุลของผลผลิตทางการเกษตร (Sodha 1987)

ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์เกษตรโดยทั่วไปเขียนในรูปสูตรเอ็มไพริคัลได้ดังนี้

$$rh_e = 1 - e_e^{-\frac{M_e}{C,n}} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $rh_e$  = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะที่เกิดสมดุล [%]

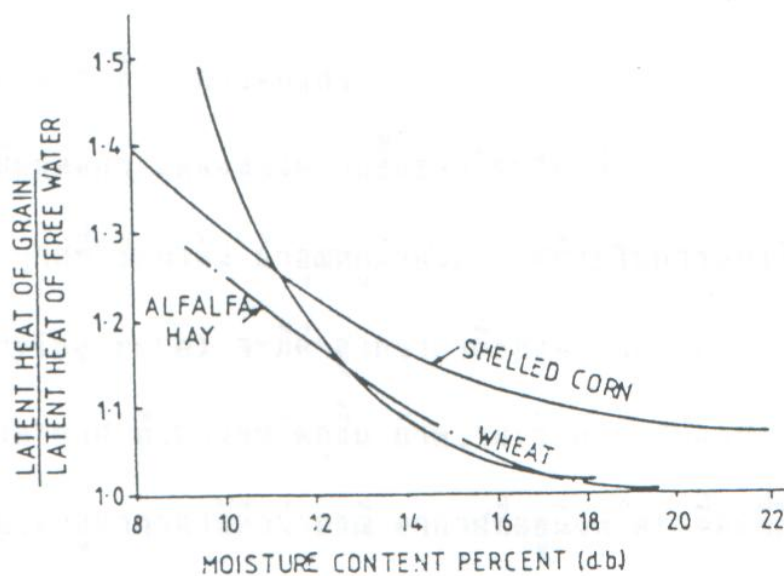
$T$  = อุณหภูมิ [K]

$M_e$  = ความชื้นสมดุลฐานแห้ง [%]

$C,n$  = ค่าคงที่ ขึ้นกับวัตถุ

### 2.1.2.3 ความร้อนแฝง (latent heat)

ความร้อนแฝง คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุขึ้น มีค่าขึ้นกับชนิด และ ความชื้นของวัตถุ ตัวอย่างความร้อนแฝงของผลิตภัณฑ์เกษตร แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการแปรค่าของความร้อนแฝงของผลิตภัณฑ์เกษตร (Sodha 1987)

ความร้อนแฝงของผลิผลการเกษตรสามารถเขียนในรูปของสูตร เอ็มไพริคัลได้ ดังนี้

$$L/L' = 1 + a \exp(-bM_d) \quad (2.9)$$

เมื่อ  $L$  = ความร้อนแฝงของวัตถุดิบ  $[J/kg]$

$L'$  = ความร้อนแฝงของน้ำ  $[J/kg]$

$M_d$  = ค ความชื้นของวัตถุดิบแห้ง  $[\%]$

$a, b$  = ค่าคงที่ ขึ้นกับชนิดของวัตถุ

นอกจากนี้ ยังมีสมบัติความร้อนอื่นๆ ของวัตถุดิบที่มีผลต่อการอบแห้ง เช่น ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) สภาพนำความร้อน (heat conductivity) สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convective heat transfer coefficient) พื้นที่ผิวต่อปริมาตรวัตถุ เป็นต้น สมบัติเหล่านี้มักจะขึ้นกับปริมาตรของวัตถุ และหาได้โดยการทดลอง

### 2.1.3 ผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของวัตถุดิบได้แก่

- 1) อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าสูง อัตราการแห้ง (Drying rate) จะมีค่าสูงกว่ากรณีของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ
- 2) ความเร็วอากาศที่ไหลผ่านวัตถุดิบ ถ้าความเร็วอากาศมีค่าสูงความชื้นจากวัตถุดิบจะถ่ายเทออกมาสู่อากาศได้ดีกว่ากรณี อากาศที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ต่ำ
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับความชื้นที่ถ่ายเทจากวัตถุดิบได้มากกว่ากรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง

### 2.1.4 ประเภทของการอบแห้ง

การอบแห้งแบบการพาความร้อน

- 1) การอบแห้งชั้นบาง (thin layer drying)

การอบแห้งแบบนี้ วัตถุดิบจะวางเรียงเป็นชั้นบางๆ หรือเพียงหนึ่งชั้นของเมล็ดพืชกรณีที่เป็นกรอบแห้งเมล็ดพืช การลดลงของความชื้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(M(t)-M_e) / (M_{in}-M_e) = \exp(-kt) \quad (2.10)$$

|       |        |   |                   |
|-------|--------|---|-------------------|
| เมื่อ | $M(t)$ | = | ความชื้นขณะเวลา   |
|       | $M_e$  | = | ความชื้นสมดุล     |
|       | $M$    | = | ความชื้นเริ่มต้น  |
|       | $K$    | = | ค่าคงที่การอบแห้ง |

ในการอบแห้งวัตถุดิบที่มีรูพรุนเรามาจะใช้อากาศเป็นส่วนกลาง โดยการผ่านอากาศไปยังวัตถุ การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัตถุและการถ่ายเทมวลอากาศในรูปของไอน้ำจากวัตถุไปยังอากาศจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่วัตถุได้รับ ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำของวัตถุ วัตถุเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วของอากาศคงที่ อัตราการแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะลดลง (ดังรูป 2.7) ความชื้นของวัตถุขณะที่อัตราการแห้งเริ่มเปลี่ยนจากคงที่เป็นลดลง เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ค่าความชื้นวิกฤตนี้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และสภาวะของอากาศในการอบแห้ง

การอบแห้งวัตถุดิบที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงอัตราความแห้งคงที่ และช่วงอัตราการแห้งลดลงที่อัตราการอบแห้งคงที่ ในช่วงแรกปริมาณความชื้นของวัตถุดิบค่ามากกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต ที่ปริมาณความชื้นของวัตถุความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังวัตถุ และน้ำจะระเหยจากวัตถุไปยังอากาศ การถ่ายเทความร้อนและมวลในรูปไอน้ำจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัตถุเท่านั้น ช่วงที่สองอัตราการอบแห้งจะลดลงปริมาณความชื้นของวัตถุจะมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในตัววัตถุดิบที่ผิวของวัตถุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำ และจะระเหยไปยังอากาศ เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดในระยะแรกขณะที่วัตถุดิบมีความชื้นสูง เมื่อปริมาณความชื้นลดต่ำลงแล้ว น้ำจะเคลื่อนที่อยู่ในรูปของไอน้ำ

#### 1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant – rate drying period)

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัตถุกับอากาศเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลในรูปไอน้ำที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ตัวแปรสำคัญที่ผลต่อการอบแห้งคือ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของอากาศ ซึ่งความสัมพันธ์ต่าง ๆ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_D A}{RT_{abs}} (P_{vwb} - p_v) = \frac{h' A}{h_{fg}} (T - T_{wb}) \quad (2.11)$$

เมื่อ  $T_{wb}$  คืออุณหภูมิกระเปาะเปียก และ  $P_{v_{wb}}$  คือความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกในการหาค่าโดยใช้สมการ (2.1) จำเป็นต้องรู้ค่าพื้นที่ผิว ( $A$ ) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ( $h'$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ( $h_b$ ) ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากการทดลอง ในการปฏิบัติอุณหภูมิของวัตถุที่ผิวมักจะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $T_{wb}$ ) และความดันไอก็จะสูงกว่าความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก ( $P_{v_{wb}}$ ) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่กับการสัมผัสระหว่างวัตถุและความร้อน

## 2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ( Falling – rate drying period)

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ปริมาณความชื้นของวัตถุมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อน และมวลได้เกิดเฉพาะที่ผิววัตถุเท่านั้น และการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัตถุมายังผิววัตถุช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัตถุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการแห้งลดลงในช่วงนี้อัตราการแห้งจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัตถุทำให้เกิดเกรเดียนต์อุณหภูมิภายในวัตถุ ซึ่งทำให้อุณหภูมิจากวัตถุมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

## 3) การอบแห้งขั้นหนา

เป็นการอบแห้งที่วัตถุวางซ้อนกันหลายชั้น การลดลงของความชื้นต้องคำนวนจากชุดของสมการ ที่อธิบายการถ่ายเทความร้อนและมวลของแต่ละชั้น โดยทั่วไปการอบแห้งแบบขั้นหนา มี 4 แบบด้วยกัน คือ

1) แบบวัตถุอยู่กับที่ (fix Bed) เป็นการอบแห้งแบบที่วัตถุอยู่กับที่ ส่วนอากาศจะไหลผ่านวัตถุ

2) แบบอากาศและวัตถุเคลื่อนที่ตัดกัน (Cross flow) เป็นการอบแห้งแบบที่อากาศไหลผ่านในแนวนอน ส่วนวัตถุไหลในแนวตั้ง

3) แบบอากาศและวัตถุเคลื่อนที่ตามกัน (Concurrent flow) เป็นการอบแห้งแบบที่วัตถุและอากาศเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน

4) แบบอากาศและวัตถุเคลื่อนที่สวนทางกัน (Counter flow) เป็นการอบแห้งแบบที่อากาศและวัตถุไหลในทิศทางที่สวนทางกัน

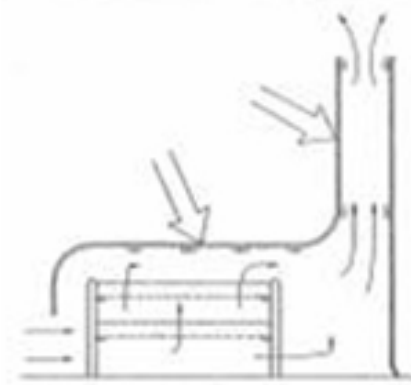
## 2.1.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ได้มีการวิจัยและพัฒนาที่ผ่านมามีอาจแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

### 2.1.5.1 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (Natural-convection solar dryer)

เครื่องอบแห้งประเภทนี้ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

#### 1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (direct mode)

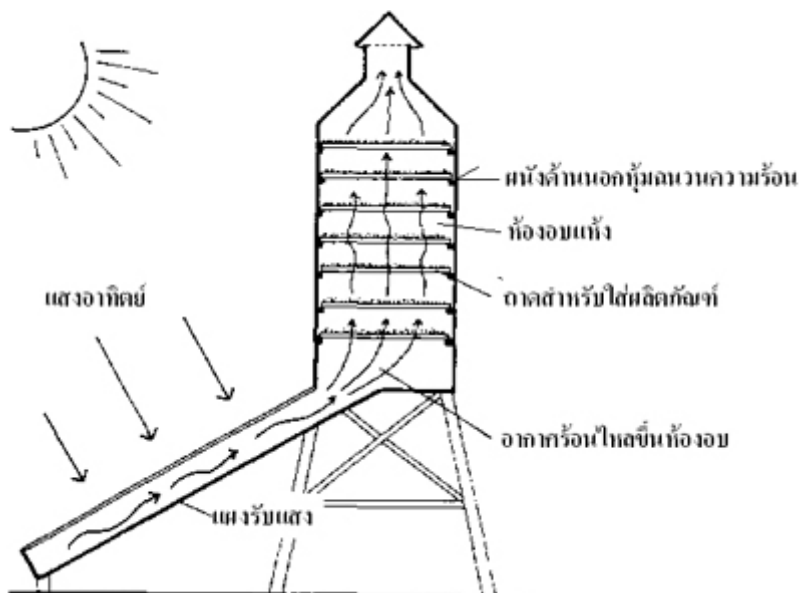


รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง (ทงศ์ศักดิ์ วัฒนา 2011)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ รังสีดวงอาทิตย์จะตกลงที่ผลผลิตที่ต้องการอบแห้งโดยตรง ความชื้นจากผลผลิตผลจะถูกพาขึ้นไปด้านบน โดยการไหลของอากาศซึ่งเกิดจากการพาความร้อนตามธรรมชาติ รังสีดวงอาทิตย์จะส่งผ่านวัตถุโปร่งแสง ซึ่งอาจเป็นพลาสติกหรือกระจกก็ได้ แผ่นโปร่งแสงดังกล่าวทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ทั้งยังป้องกัน ฝุ่นละออง และแมลงรบกวนต่าง ๆ ด้วย

## 2. เครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (indirect mode)

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) อากาศร้อนที่ได้จะลอยตัวและไหลผ่านผลผลิตที่ต้องการอบแห้ง

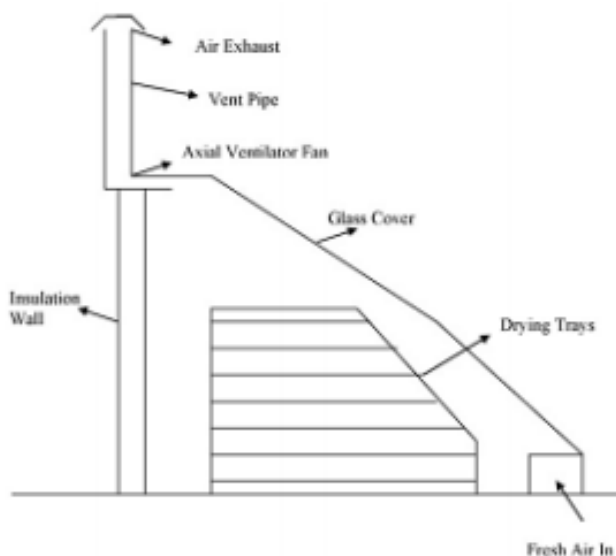


รูปที่ 2.8 รูปแสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม (ทงศ์ศักดิ์ วัฒนา 2011)

### 2.1.5.2 เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced-convection solar dryer)

#### 1. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

เครื่องอบแห้งแบบนี้ผลิตผลที่ต้องการอบแห้งจะรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยตรงอากาศร้อนจะถูกดูดผ่านผลิตผลโดยอาศัยพัดลมดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และใช้พัดลมดูดแสง (Jareanjit 2012)

#### 2. แบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อม

เครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบแผ่นราบซึ่งทำหน้าที่ผลิตอากาศร้อนแล้วเป่าหรือดูดผ่านส่วนที่บรรจุผลิตผลซึ่งแยกอยู่ต่างหากจากตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงเครื่องอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์ทางอ้อมและใช้พัดดูดอากาศ(ทนงศักดิ์ วัฒนา 2011)

## 2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพความร้อนของเครื่องอบแห้งโดยทั่วไปสามารถหาได้ เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัตถุดิบแห้งทั้งหมด และทราบค่าเอนทัลปี (Enthalpy) ของอากาศแห้งซึ่งมีค่าลดลงดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพความร้อน} = \frac{\text{น้ำหนักที่ระเหย} \times \text{ความร้อนแฝง}}{\text{ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบ}} \quad (2.12)$$

ในกรณีเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ ซึ่งอากาศได้รับความร้อนจากตัวรับแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\eta = \frac{mh_{fg} \times 100}{Al} \% \quad (2.13)$$

- เมื่อ  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์  
 $m$  คือ น้ำหนักของน้ำที่ระเหยต่อวัน  
 $h_{fg}$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ  
 $A$  คือ พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง  
 $l$  คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นที่ราบต่อตารางเมตร/วัน

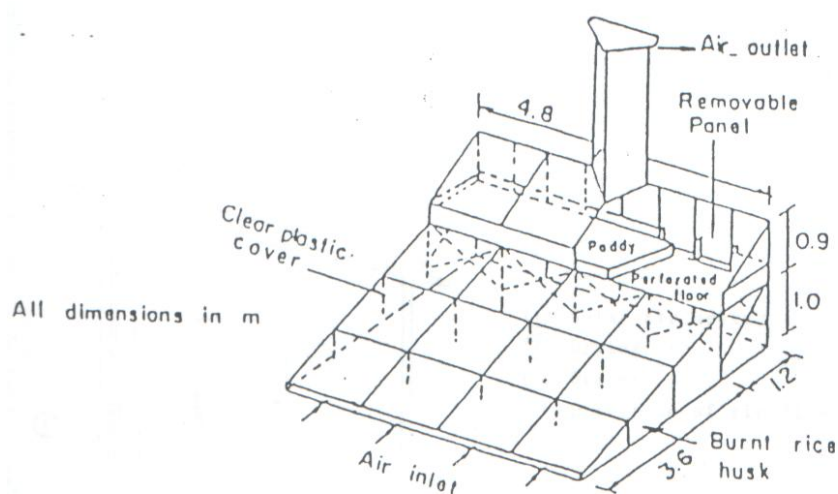
ประโยชน์ของการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้แก่ การลดการสูญเสียลดระยะเวลาการอบแห้ง เพิ่มคุณภาพของผลผลิต และประหยัดเชื้อเพลิง การวิจัยและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยให้การใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวเป็นไปอย่างกว้างขวางต่อไปในอนาคต

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และปัญหาการตากแห้งผลิตผลการเกษตร ในช่วงเวลาที่ผ่านมา 20 ปีที่ผ่านมา จึงได้มีการวิจัย และการพัฒนาเครื่องอบแห้ง ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ขึ้นหลายแบบในประเทศไทย ซึ่งพอจะกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

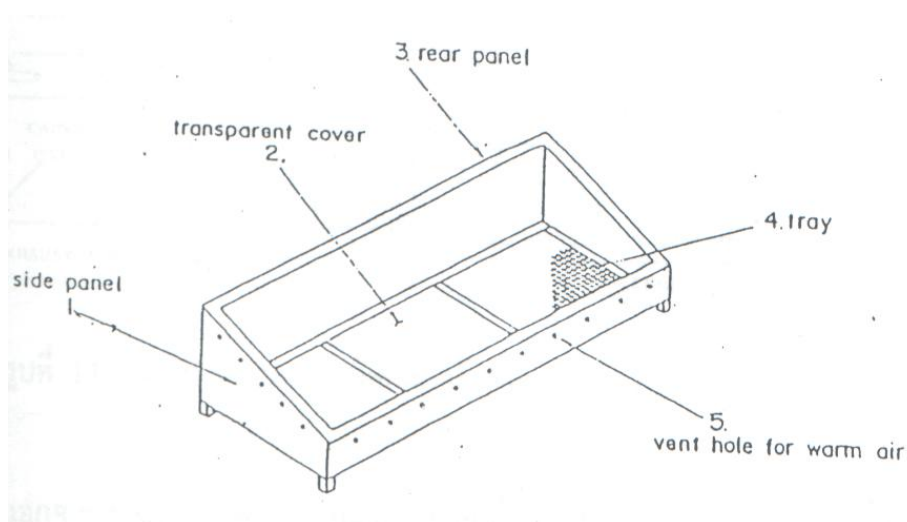
Exell และ Kornsakoo (1977) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีโครงสร้างเป็นแบบไม้ไผ่ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นส่วนผลิตอากาศร้อนทำด้วยพลาสติก และส่วนที่เก็บข้าวเปลือก ทำด้วยไม้ไผ่ยกพื้นให้อากาศร้อนไหลผ่านจากด้านล่าง เกิดจากการพาความร้อนโดยธรรมชาติ (natural convection) สามารถอบข้าวเปลือก

ได้ครั้งละ 1 ตัน ใช้เวลาประมาณ 1 วัน ในวันที่แสงแดดดี และ 2-3 วันในช่วงฤดูฝน ลักษณะของเครื่องแสดงไว้ดังรูป 2.11



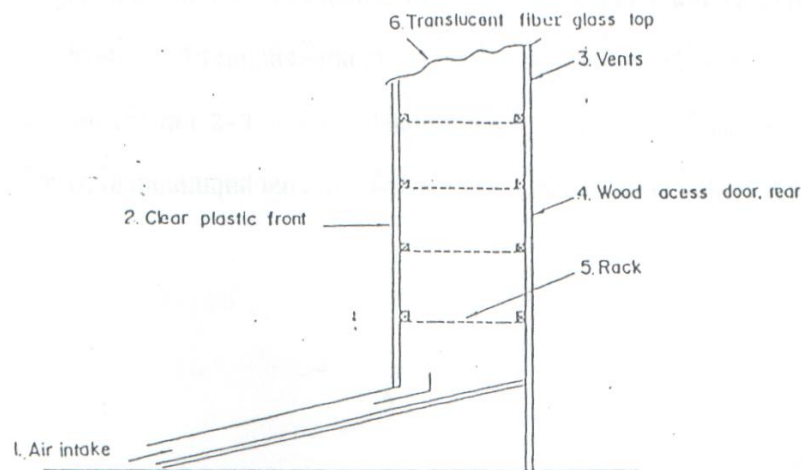
รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Exell และ Kornnsakoo (1977)

Wibulswas และคณะ (1977) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งที่มีลักษณะเป็นกล่อง โดยมีพื้นที่รับแสง 0.23 ตารางเมตร ปิดด้วยกระจกใส ทำมุมเอียง 18 องศา กับแนวระดับ จากการทดลองอบผ้าชุบน้ำ พบว่ามีอัตราการแห้งประมาณ  $4.2 \text{ kg/m}^2\text{-day}$  ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12

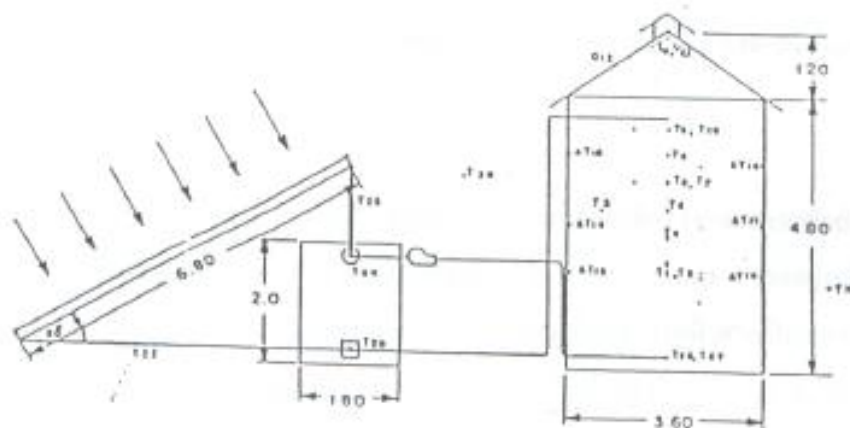


รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดย wiulsas และคณะ (1977)

Wibulswas และ Thaina (1980) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนตามธรรมชาติ (natural convection) ซึ่งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 1.92 ตารางเมตร และภายในตู้อบมีชั้นวาง 5 ชั้น จากการทดสอบพบว่ามียอดอัตราการแห้งประมาณ  $5 \text{ kg/m}^2\text{-day}$  ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.13



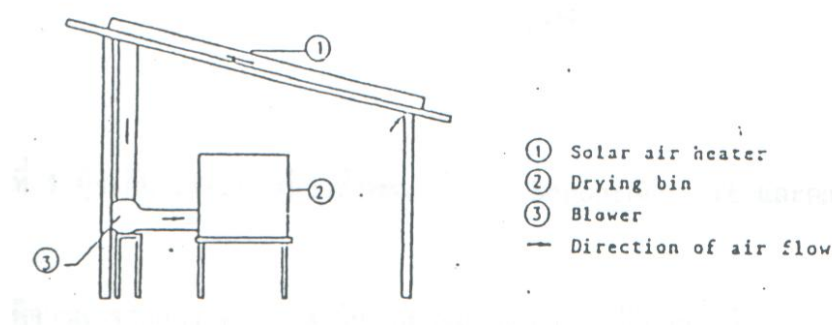
รูปที่ 2.2 แสดงเครื่องอบแห้งแบบตู้ที่พัฒนาโดย Wibulswas และ Thaina (1980)



รูปที่ 2.3 แสดงโรงบ่มยาสูบซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม (Boon-Long, A. Hirun et al. 1984)

Boon-Long และคณะ (1984) ได้ทำการดัดแปลงโรงบ่มใบยาสูบ เพื่อใช้เป็นโรงอบแห้งหลายชนิด โรงอบดังกล่าวมีขนาด  $3.6 \times 3.6 \times 4.8$  ลูกบาศก์เมตร ใช้แผงรับรังสีขนาด 38.5 ตร.ม และมีระบบพลังงานเสริมเป็นก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง และยังมีถังเก็บความร้อนขนาด 6 ลูกบาศก์เมตร ภายในบรรจุหินก้อนเล็กๆ อากาศร้อนจากแผงรับแสงจะถูกดูดเข้าไปในโรงอบด้วยเครื่องเป่าอากาศ 2 ตัว ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1.50 KW และ 0.76 KW จากการทดสอบพบว่าต้องใช้พลังงานความร้อนโดยเฉลี่ยจากแหล่งพลังงานเสริม 28.9 MJ ต่อ กิโลกรัมของยาสูบแห้ง การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วยประหยัดเชื้อเพลิง 16 % ลักษณะโรงบ่มดังกล่าว แสดงดังรูป 2.14

Thongprasert และคณะ (1985) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยบังคับอากาศ (forced convection) ซึ่งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด  $3.74 \times 4.48$  เมตร มีพัดลมดูดอากาศร้อนผ่านชั้นของข้าวเข้าไปในยุ้ง ลักษณะของเครื่องอบแห้งแสดงไว้ในรูปที่ 2.15



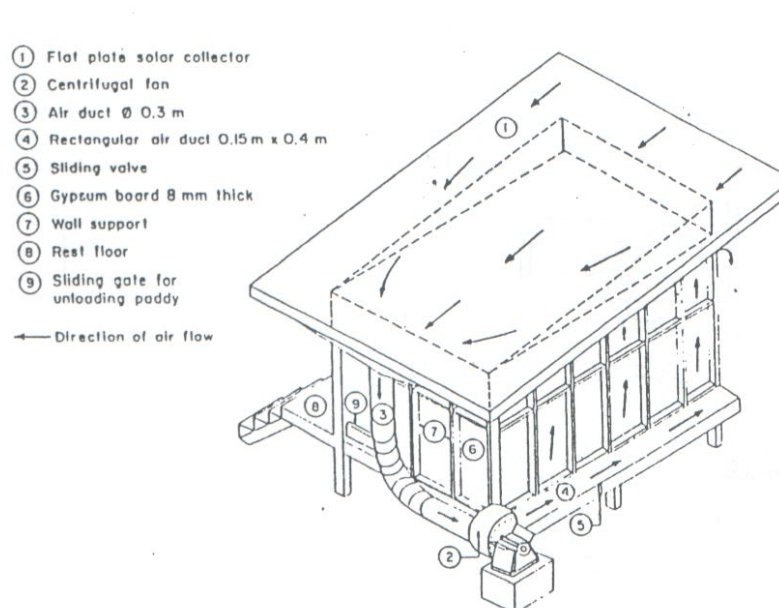
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Thongprasert และคณะ (1985)

จากการนำเครื่องอบไปทดสอบอบข้าว 1 ตัน จากความชื้น 17-21% (wb) ให้ลดลงเหลือ 14 % (wb) ภายใน 1-4 วัน ต่อการอบ 1 จวด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจพบว่า เครื่องอบนี้จะคุ้มต่อการลงทุน ถ้าพิจารณาในเรื่องของการสูญเสียของเมล็ดข้าว เมื่อเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ

วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, เจตน์ เม่นคำ, บรรจบ สุดประเสริฐ และ สุดฤดี สุขใจ มหาวิทยาลัยนเรศวร (2529) ได้ทำการศึกษาคุณภาพกล้วยตากที่ได้จากตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาการนำเอาแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านการอบแห้ง โดยการทำการทดลองเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ระหว่างการใช้อู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่แบบมีแผงรับรังสีกับการตากกลางแจ้ง เพื่อที่จะสามารถนำผลวิจัยไปใช้ในการนำตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่มาใช้ตากผลิตภัณฑ์ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป จากการวิจัยโดยใช้กล้วยน้ำว้าเป็นผลิตภัณฑ์ พบว่าภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งการไหลของอากาศเป็นแบบพาความร้อนโดยธรรมชาติ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ  $27-55^{\circ}\text{C}$  ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกมีค่าเฉลี่ย

ประมาณ 25-40 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบในระยะเริ่มแรกของการตากจะมีค่าสูงกว่าภายนอกตู้อบ และจะมีค่าลดลงน้อยกว่าภายนอกในวันสุดท้ายของการตาก อัตราการแห้งภายในตู้อบมีค่าเฉลี่ย 17.70 % ในตู้ที่ 1 และ 17.42 % ในตู้ที่ 2 ภายนอกตู้อบมีอัตราการแห้งเฉลี่ย 12.95 % การตากกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ จะใช้เวลาในการตากเพียง 4 วัน แต่การตากกล้วยกลางแจ้งจะใช้เวลา 5-6 วัน ลักษณะของกล้วยตากที่ได้จาก ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีสีเหลือง ผิวเป็นมันวาว มีความหวานมากกว่า และมีความสะอาดมากกว่ากล้วย ที่ตากนอกตู้อบ

Soponronnarit และคณะ (1986) ได้พัฒนาตู้ข้าวที่สร้างด้วยไม้ไผ่ หลังคาเป็นสังกะสี ที่อำเภอ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้พัฒนาหลังคาที่เป็นสังกะสีให้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน อากาศร้อนที่เกิด จากแผงรับรังสีจะถูกดูด เข้าไปด้านล่างของยังเก็บข้าวและเป่าผ่านมวนข้าว สามารถเก็บข้าวที่อบแล้วได้ 10 ตัน เครื่องดูดอากาศขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลและจากการทดสอบอบข้าวนาปีและนาปรังพบว่า ยัง ดังกล่าวสามารถช่วยลดความชื้นของข้าวในอัตรา 0.64% และ 0.30% ต่อชั่วโมง ต่อตันข้าวแห้ง ตามลำดับ ลักษณะของยังดังกล่าวแสดงไว้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.5 แสดงยังเก็บและอบแห้งข้าวซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Soponronnait และคณะ (1986)

ยังข้าวนี้จะคุ้มต่อการลงทุน โดยจะต้องอบข้าวทั้ง นาปีและนาปรัง ระยะเวลาคุ้มทุนอยู่ในช่วง 2.3 – 14.8 ปี

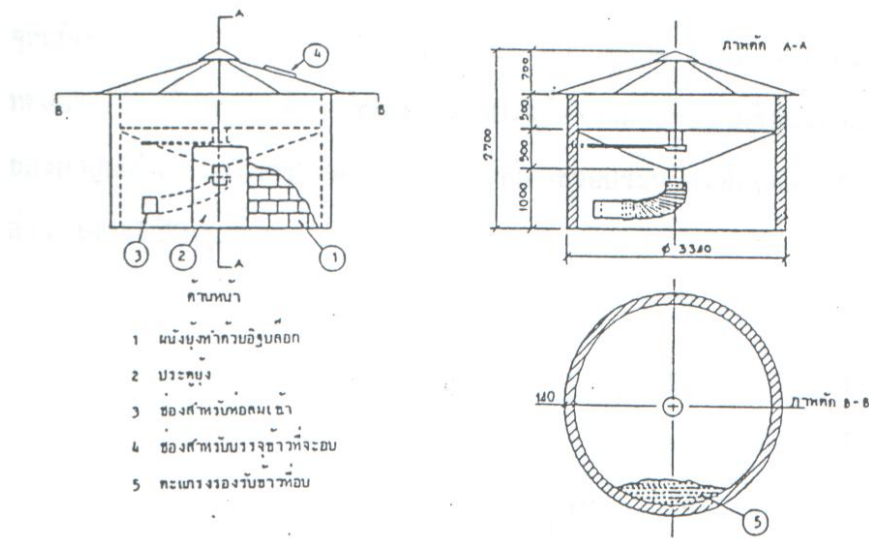
หมอคุณ สิทธิพงษ์ และประดิษฐ์ เทอดกุล (2530) ได้ดัดแปลงโรงบ่มยาสูบ เพื่อใช้เป็นเครื่องอบแห้ง พืชหลายชนิด สามารถบรรจุพืชได้จำนวนมาก และใช้ขอบพืชชนิดต่างๆ ตามเวลาที่เหมาะสมได้ตลอดปี โรงอบ ดังกล่าวมีขนาด 3.6x3.6x4.8 ลูกบาศก์เมตร จากการทดสอบการอบแห้งลำไย พริก และถั่วลิสง พบว่า

เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในการอบผลิตผลดังกล่าว มีค่าเป็น 94.1%, 93.9% และ 92.9 % ตามลำดับ

วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร, สักวาฬ เพ็งพัด, สมนึก รมณียกุล, เจตน์ เม่นคำ, บรรจบ สุดประเสริฐ, บัญชา แก้วงาม และสุขฤดี สุดใจ (2530) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากตูบแห้งที่ใช้แหล่งกำเนิดความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กับตูบแห้งที่ใช้หลอดอินฟราพารา(รังสีอินฟราเรด) โดยทำการอบตามขบวนการอบแห้งคือ อบเฉพาะเวลากลางวัน ในเวลากลางคืนจะหยุดเพื่อหมักกล้วย และศึกษาลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้จากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอย่างต่อเนื่องทั้งกลางวันและกลางคืนตลอดระยะเวลาของการอบแห้ง โยไม่หยุดหมักกล้วย เพื่อนำผลการวิจัยไปพัฒนาการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรมต่อไป จากการทดลองพบว่า อัตราการแห้งของตูบแห้งหลอดอินฟราพารา ที่ทำการอบอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน ให้ผลว่าอัตราการแห้งของกล้วย จะสูงกว่าการอบตามขบวนการอบแห้งปกติ ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้มีลักษณะสีผิวขาวซีด เนื้อกล้วยแข็งแต่มีความหวานดีกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะน้ำมีการระเหยนอกจากกล้วยไปมากปริมาณน้ำในเนื้อกล้วยเหลืออยู่น้อย

วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร, สักวาฬ เพ็งพัด, สมนึก รมณียกุล, เจตน์ เม่นคำ, บรรจบ สุดประเสริฐ, บัญชา แก้วงาม และสุขฤดี สุดใจ (2530) ได้ทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในตูบแห้งจากแหล่งกำเนิดความร้อนโดยใช้หลอดอินฟราพาราและลวดนิโครม ที่ติดตั้ง ณ ตำแหน่งต่างๆ กันโดยทดลองกับตูบแห้งขนาดกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อนแบบทแยงมุม ภายในตูบแห้งจะมีการกระจายอุณหภูมิได้ดีกว่าการติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อนที่ด้านหลังของตูบแห้ง เพราะการติดตั้งแบบทแยงมุมมีการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอ ทำให้มีพื้นที่ในการตากผลิตภัณฑ์มากขึ้น

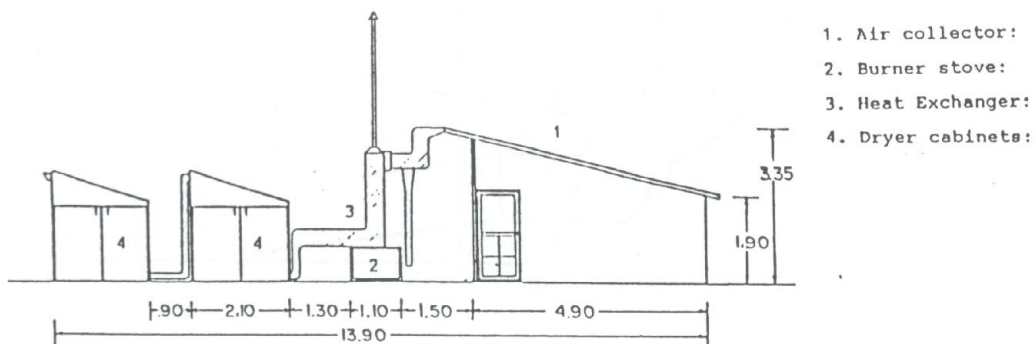
Praditwong และ Janjai (1989) ได้พัฒนาตู้เก็บและอบข้าวแห้งที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ลักษณะของตู้ยังมีลักษณะเป็นทรงกระบอกก่อด้วยอิฐบล็อกพิเศษ ซึ่งออกแบบโดย สถาพร เขียวมล (2529) อิฐบล็อกดังกล่าวสามารถสร้างเป็นตู้เก็บข้าวได้โดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้างของเหล็กหรือปูนซีเมนต์เชื่อมต่อ ทำให้สะดวกและเป็นการประหยัดแรงงานในการก่อสร้าง ซึ่งตัวตู้แบ่งเป็น 2 ชั้น โดยที่ชั้นบนใช้สำหรับอบข้าวและชั้นล่างใช้เป็นที่สำหรับเก็บข้าวที่อบแห้งแล้ว โดยไม่ต้องเสียแรงงานในการขนย้ายข้าวที่อบเสร็จแล้ว ส่วนของอากาศร้อนได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบไม่มีกระจกปิด ขนาดพื้นที่ 30 ตารางเมตร อากาศร้อนจากแผงรับแสงจะถูกดูดโดยเครื่องเป่าอากาศ (blower) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์และเป่าอากาศร้อนผ่านมวล์ข้าวจากด้านล่าง ตู้ข้าวนี้ใช้อบข้าวได้ครั้งละ 1-2 ตัน และเก็บข้าวแห้งได้ 5 ตัน เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี (annual cost analysis) พบว่าตู้เก็บและอบข้าวแห้งนี้จะคุ้มทุนภายในเวลา 5-8 ปี ลักษณะของตู้เก็บและอบข้าวแห้ง แสดงไว้ในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.6 แสดงยูนิตเก็บและอบแห้งข้าวที่พัฒนาขึ้นโดย Praditwong และ Janjai (1989)

นอกจากนี้ Janjai และ Doe (1991) ยังได้เสนอวิธีคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งดังกล่าวไว้ด้วย

Rakwichian และ Sudaprasert (1990) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งระดับอุตสาหกรรมสำหรับอบผลไม้ ซึ่งมีห้องอบที่สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยตรงและรับอากาศร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 30 ตารางเมตร ซึ่งสร้างแยกออกจากห้องอบ อีกทั้งมีแหล่งพลังงานเสริมจากก๊าซหุงต้มและจากวัสดุเหลือใช้การเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เครื่องอบดังกล่าวสามารถอบกล้วยที่ความชื้น 75 %(wb) จำนวน 1,500 กิโลกรัม ให้เหลือความชื้นที่ 25 %(wb) โดยใช้เวลา 4-5 วัน จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนต่อการลงทุน พบว่ามีค่าเกิน 1 ลักษณะของเครื่องอบแสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย Rakwichian และ Sudaprasert (1990)

The drawing consists of two parts: a top view and a side view.

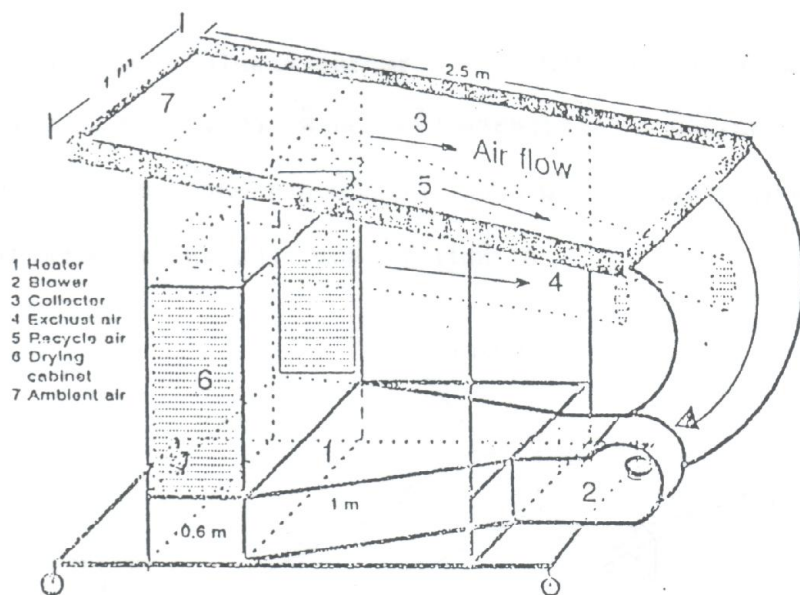
**Top View:** Shows a rectangular box with a grid pattern. The left side has a vertical strip with a wavy texture, labeled 'FLAP'. The top edge is labeled 'STEEL SHEET PAINT MATT BLACK'. The right edge has a vertical strip with a wavy texture, labeled 'FLAP'. The bottom edge is labeled 'CEMENT PAINT MATT BLACK'. Dimensions are given as 100 (width) and 115 (height).

**Side View:** Shows the box from the side. The top edge is labeled 'STEEL SHEET PAINT MATT BLACK'. The side edge is labeled 'HARDBOARD'. The bottom edge is labeled 'CEMENT PAINT MATT BLACK'. The front face has a wavy texture, labeled 'FLAP'. The back face has a wavy texture, labeled 'FLAP'. Dimensions are given as 100 (width) and 115 (height).

**Labels:** FLAP, STEEL SHEET PAINT MATT BLACK, HARDBOARD, CLEAR PLASTIC, FLAP, CEMENT PAINT MATT BLACK.

**Dimensions:** 100, 115, 100, 115.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งผลไม้ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม ซึ่งประกอบด้วย แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด 2.5 ตารางเมตร ห้องอบมีขนาด 0.6 X1.0 X1.0 ลูกบาศก์เมตร มีหลอดต้านทานความร้อน ขนาด 830 วัตต์ จำนวน 3 ตัว มีเครื่องเป่าอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.76 กิโลวัตต์ และมีระบบไหลเวียนของอากาศที่นำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ จากการทดสอบอบกล้วยพบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการอบด้วยไฟฟ้า 33 % และมีเวลาคุ้มทุน 4.8 ปี ลักษณะของเครื่องอบแห้งดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นโดย ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534)

F.Coyrtois, A. Lebert, J.J. Bimbenet and J.C. Lasseran (1991) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองเครื่องอบแห้ง เพื่อพัฒนาคุณภาพของขบวนการอบแห้งข้าวโพด โดยส่วนใหญ่แล้วปริมาณความชื้นของผลผลิตจะลดลงประมาณ 25-40%

Janjai และ Hirunlabh (1993) ได้พัฒนาเครื่องแบบอุโมงค์ลม และทำการทดลองใช้อบแห้งกล้วยที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และที่โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา ผลการทดลองพบว่าสามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 300 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 2-3 วัน

R. J. Fuller and W. W. S. Charters (1998) ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม โดยจุดเด่นของการศึกษาอยู่ที่การต่อ microcomputer control เข้ากับเครื่องอบแห้งนี้ด้วย เพื่อใช้ในการบังคับการไหลเวียนของอากาศ จากการศึกษาพบเครื่องอบแห้งนี้สามารถความชื้นจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้อบแห้งได้ถึง 40% เมื่อเปรียบเทียบกับตากแห้งธรรมดา โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 50 และ 60 องศาเซลเซียส

Benon Bena and R.J. Fuller (2002) ได้ทำการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ชีวมวลเป็นพลังงานเสริม ซึ่งเอาไว้อบผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีความจุ 20-22 กิโลกรัม

N. A. Vlachos, T. D. Karapantsios, A. I. Balouktsisi and D. Chassapis (2002) ได้มีการออกแบบเครื่องอบแบบใหม่ โดยมีการติดตั้งชั้นเลื่อนเข้ากับตัวสะสมความร้อน เข้าไปในเครื่องอบแห้ง โดย

ความร้อนที่ถูกสะสมและปล่อยของพลังงานแสงอาทิตย์ถูกออกแบบและทำการทดลอง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานทางสมดุลความร้อนของพลังงาน

T. Saleh and M.A.R. Sarkar (2002) ได้ทำการศึกษา PV operator force Convection สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบตัวเก็บความร้อนมีขนาด 1.72เมตรx0.91เมตรx0.175เมตร ทำมาจากแผ่น mid steel metal ส่วนของ drying chamber มีขนาด 0.91เมตรx0.91เมตรx0.15เมตร โดยมีพัดลมที่ใช้ในการขับเคลื่อนขนาด 20 วัตต์ จากการหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนี้พบว่าอุณหภูมิสูงสุดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 30 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิปกติ

Weerachai Kaensup, Surachate Chutima and Somchai Wongwiset (2002) ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการอบแห้งพริก ซึ่งได้รวมเอา microwave-vacuum-Rotary Drum เข้าไปรวมกับเครื่องอบแห้งด้วย ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ในการออกแบบเครื่องอบแห้ง โดยได้รวมเอาข้อดีของการอบแห้งแบบสุญญากาศ ในการกระจายพลังงานของคลื่นไมโครเวฟอย่างสม่ำเสมอและเป็นจังหวะ พลังงานจลน์และความร้อนจำเพาะที่ถูกใช้ในการลดปริมาณความชื้นของผลผลิตจะถูกวัดโดยการทดลอง

Ahmad Ghazafari, Lope Tabil Jr, and Shahab Sokhansanj (2003) ได้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งสำหรับอบแห้ง Pistachio nuts โดยชั้นบางของแรงอากาศถูกออกแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของเครื่องอบแห้งนี้ เครื่องอบแห้งนี้ได้ทำการทดลองในช่วงปี 2001-2002 โดยมีอุณหภูมิสูงสุดที่ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์สะสมได้มีอุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 36 ชั่วโมง วันแรกของการอบแห้งความชื้นลดลง 21% ส่วนความชื้นสุดท้ายที่เหลืออยู่กับ Pistachio nuts มีค่าเป็น 6% โดยค่าคงที่ของการอบแห้งจะถูกกำหนดโดยใช้ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Yuttachai Keawsuntia (2014) ได้ทดลองของการอบแห้งพริกโดยใช้ active solar dryer และดวงอาทิตย์อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากพริกเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์การเกษตรของประเทศไทย เครื่องประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ ห้องอบแห้งและปล่องลม มีพัดลมขนาดเล็กเพื่อให้การไหลของอากาศภายในตัวเครื่อง การอบแห้งของพริก 20 กิโลกรัมจากความชื้นมาตรฐานเปียก 84% w.b เหลือ 10% w.b แสดงให้เห็นว่าการใช้พัดลมช่วยในการหมุนเวียนของอากาศใช้งานเพื่อให้เวลาในการอบแห้งลดลงประมาณร้อยละ 28.7 เมื่อเทียบกับการอบแห้งจากดวงอาทิตย์เพราะอุณหภูมิของอากาศร้อนในห้องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส คุณภาพของพริกแห้งที่ได้ดีกว่าพริกแห้งอบแห้งจากดวงอาทิตย์

Ahmed Fudholi et al. (2014) ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพริกชี้ฟ้าแดง พริกแดงแห้งจากความชื้นเริ่มต้น 80% w.b เหลือความชื้นสุดท้าย 10% w.b ในเวลา 33 ชั่วโมง

## งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม

Gauhar et al. (2007) ได้สร้างเครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมที่มหาวิทยาลัย AIT โดยได้ใช้แบบมาจากเครื่องอบแห้งของมหาวิทยาลัย Hohemheim แต่ปรับขนาดและการทำงานให้เหมาะสมกับใช้งานของเกษตรกร ระบบแผงรับแสงอาทิตย์ถูกติดตั้ง และไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และไฟฟ้ากระแสตรงถูกใช้สำหรับขับเคลื่อนพัดลมให้ทำงาน ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นแสดงให้เห็นว่า เครื่องอบแห้งนี้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีเมื่อพัดลมถูกขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากว่าได้มีลดค่าความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศของการอบแห้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

Janjai and Hirunlabl (1993) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลม เพื่อใช้อบแห้งกล้วยที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และที่โครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา ผลการทดลองพบว่าสามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 300 กิโลกรัม โดยใช้เวลา 2-3 วัน ปัจจุบันเครื่องอบแห้งแบบนี้ได้เป็นเครื่องอบแห้งเชิงพาณิชย์ โดยติดตั้งใช้งานในจังหวัดต่างๆ ประมาณ 10 เครื่อง

Janjai et al. (2005) ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมซึ่งทำการติดตั้งอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยเครื่องอบแห้งถูกออกแบบให้สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทางภาคเกษตร เครื่องอบแห้งนี้สามารถจุพริกได้ 70 กิโลกรัม พริกที่ทำการอบแห้งภายใน 3 วัน ซึ่งโดยปกติจะใช้เวลา 5 วัน นอกจากนี้เครื่องอบแห้งนี้ยังสามารถปกป้องพริกจากฝน และแสงได้เป็นอย่างดีและพริกแห้งที่ได้มีคุณภาพดี

Janjai et al. (2009) ได้สร้างเครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมเพื่อใช้ในการอบแห้งลำไย เครื่องอบแห้งที่จะประกอบไปด้วยแผงรับแสงอาทิตย์และส่วนที่ใช้สำหรับอบแห้งพริก ซึ่งมีการไหลของอากาศเพียงด้านเดียว เครื่องอบแห้งปิดด้วยกระจก ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการขับเคลื่อนพัดลมขนาด 15 วัตต์ ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งนี้สามารถจุลำไยได้ 100 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในตัวเครื่องแปรค่าอยู่ระหว่าง 30 -76 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 16 วัน จากความชื้น 84% (wb), เหลือความชื้นที่ 12%(wb)

วิลาวรรณ คำหาญ (2547) ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมเพื่อเป็นเครื่องสาธิตใช้ในการเรียนการสอน โดยเครื่องอบแห้งดังกล่าวมีขนาด 1x2ตารางเมตร ผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งนี้สามารถอบพริกให้แห้งได้ภายใน 3 วันในปริมาณ 2-5 กิโลกรัม จากความชื้น 73.5% (wb) ความชื้นถูกทำให้ลดลงเหลือ 3.65% (wb) เร็วกว่าการตากแดดธรรมชาติ 2-3 วัน และประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.62% อุณหภูมิภายในแปรค่าอยู่ระหว่าง 30-60 °C และอัตราการไหลของอากาศแปรค่าระหว่าง 0.01-0.04 กิโลเมตรต่อวินาที

วิลาวรรณ คำหาญ (2548) สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมจากวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้อบแห้งพริก เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นใช้ในการอบแห้งพริกในครัวเรือน โดยออกแบบให้มีแผงรับ

แสงอาทิตย์และส่วนตู้อบจะเป็นตัวดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ออกแบบตัวเครื่องอบแห้งโดย ให้เครื่องอบมีความกว้าง 1.8 เมตร ยาว 2.4 เมตร และสูง 1 เมตร จากนั้นได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งโดยการใช้อบแห้งพริก 2 ครั้ง ครั้งแรกตั้งแต่วันที่ 19-23 พฤษภาคม 2548 ใช้พริก 30 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งพริกที่ความชื้น 70.66% (wb) จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 3.29% (wb) อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแปรค่าระหว่าง 24.3-45.9 °C ในการทดลองครั้งที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 27-30 พฤษภาคม 2548 พริกที่ใช้ในการอบแห้งครั้งนี้ 29.5 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งดังกล่าวสามารถอบแห้งพริกที่ความชื้น 71% (wb) จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 3.93% (wb) อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแปรค่าระหว่าง 24.2-40.9 °C

จากวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นได้มีการสร้างและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ลมเพื่อใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทางเกษตร แต่เครื่องอบแห้งก็ยังมีหลายส่วนที่ต้องปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาใช้อบแห้ง ทั้งขนาดโรงอบ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ การไหลวนของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง และกลไกต่างๆ ในการทำงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพ

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม จากวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้ในการอบแห้งพริก โดยมีวิธีการและผลตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 การออกแบบเครื่องอบแห้ง

การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมจากวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้ออบแห้งพริก เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นใช้ในการอบแห้งพริกในครัวเรือน โดยออกแบบให้มีแผงรับแสงอาทิตย์และส่วนตู้อบจะเป็นตัวดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งจะเหมาะสมกับการใช้งานผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร จากการสำรวจข้อเบื้องต้นพบว่ามีประชากรจำนวน 150 ครัวเรือน จากทั้งหมด 240 ครัวเรือน มีการปลูกพริกซึ่งโดยเฉลี่ยครัวเรือนละประมาณ 2-5 ไร่ โดยผลิตต่อไร่ประมาณ 200 ตัน จะขายส่งตลาดเฉลี่ยวันละ 40 กิโลกรัม เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณพริกเฉลี่ยของแต่ละครัวเรือนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ออกแบบเครื่องอบแห้งโดยให้เครื่องอบมีความกว้าง 1.8 เมตร ยาว 2.4 เมตร สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ผลิตอากาศร้อนจะมีขนาดเท่ากับเครื่องอบแห้ง ด้านล่างและด้านบนปิดด้วยสังกะสี โดยช่องว่างตรงกลางระหว่างแผ่นสังกะสีบรรจุฉนวนกันความร้อน โดยมีช่องว่างระหว่างตะแกรงกับแผ่นสังกะสี เป็นช่องให้อากาศไหลผ่านเพื่อพาความร้อนที่สังกะสีดูดกลืนได้ไปใช้งาน ในส่วนของออกแบบหลังคาจะออกแบบให้มีหลังคาโค้งเพื่อให้สามารถรับแสงได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงตัวสร้างหลังคาอยู่ในแนวตะวันออก ตะวันตก และให้หลังคาทั้ง 2 ด้านทำมุมกับพื้นราบประมาณ 17 องศา ซึ่งเป็นละติจูดของตำแหน่งที่สร้าง มุมดังกล่าวจะทำให้หลังคาทั้ง 2 ด้านได้รับรังสีดวงอาทิตย์ โดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีสูงสุด หลังคามี 2 ชั้นปิดด้วยพลาสติก

#### 3.2 การสร้างเครื่องอบแห้ง

ในการสร้างเริ่มจากการทำฐานรากของเครื่องอบแห้งด้วยคอนกรีตเพื่อให้ความแข็งแรงของฐานตัวเครื่อง สูงจากพื้นประมาณ 40 เซนติเมตร มีโครงสร้างภายในเป็นเหล็กเส้น ด้านบนจะเชื่อมคานเหล็กยึดเพื่อใช้ในการวางแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นนำแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งสร้างสำเร็จ ขึ้นไปเชื่อมติดกับฐานของเครื่องอบแห้ง จากนั้นจะนำพลาสติกใส่ไปปิดด้านบนเพื่อทำเป็นหลังคา แสดงขั้นตอนการทำเครื่องอบแห้งดังรูปที่ 3.1-3.5



รูปที่ 3. 1 แสดงการเทพื้นด้วยคอนกรีต



รูปที่ 3. 2 แสดงโครงสร้างเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 3. 3 แสดงฉนวนที่ใช้บุเครื่องอบแห้ง

สำหรับการสร้างแผงรับรังสีดวงอาทิตย์จะเริ่มจากสร้างโครงซึ่งทำด้วยเหล็กเส้นวง หน้าตัดสี่เหลี่ยม จากนั้นจะบุด้านล่างด้วยแผ่นสังกะสี และทำการบรรจุฉนวนกันความร้อนลงบนแผ่นสังกะสี แล้วทำการปิดด้านบนด้วยแผ่นสังกะสีอีกแผ่นหนึ่ง จากนั้นทาสีดำด้านบนแผ่นสังกะสีเพื่อให้สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี หลังจากนั้นนำไปติดตั้งบนฐานของเครื่องอบแห้ง

ในส่วนบริเวณที่ใช้ออบแห้งจะมีโครงสร้างเป็นเหล็กเส้น จะมีตะแกรงวางทับบนเหล็กเส้นจะเลือกใช้แผ่นเหล็กราบมีรูพูนและสามารถเลื่อนเข้าเลื่อนออกได้ เพื่อสะดวกในการเก็บผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว ลักษณะของตู้อบที่สร้างเสร็จแล้วแสดงไว้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3. 4 แสดงตะแกรงที่ใช้วางวัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง

ในตัวของตู้อบจะทำเป็น 2 ชั้น เพื่อให้สามารถอบแห้งได้ในปริมาณที่มากขึ้น ผนังของเครื่องอบจะใช้สังกะสีทาสีดำ 2 ชั้น ตรงกลางบุด้วยฉนวนกันความร้อน และมีช่องเปิดปิดด้านหน้าของตู้อบ สำหรับพัดลมดูดที่ใช้ในการดูดอากาศจะติดตั้งด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพื่อให้มีการกระจายของอากาศที่จะไหลเข้าไปยังตู้อบได้ดี โดยพัดลมดูดอากาศมีขนาด 38 วัตต์ ลักษณะการติดตั้งพัดลมดูดอากาศแสดงดังรูปที่ 3.4

### 3.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยการใช้เครื่องอบแห้งดังกล่าวอบแห้งพริก ซึ่งโดยทั่วไปในการตากแห้งพริกเกษตรกรจะใช้วิธีตากบนลานดินซึ่งปูด้วยพลาสติก ซึ่งมักประสบปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและการเสียหายจากแมลง หรือบางครั้งเปียกฝนเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อรา ในการทดสอบจะดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 เครื่องมือวัด

ในการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจำเป็นต้อง ทราบข้อมูลอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่ตู้อบ และอุณหภูมิของอากาศออกจากตู้อบ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อัตราการไหลของอากาศในตัวเครื่อง โดยเครื่องมือที่ใช้มีดังรูปที่ 3.5-3.9

- 1) เครื่องวัดความเร็วลมจากการไหลของอากาศ ยี่ห้อ Lutron รุ่น YK-80AS  
เป็นเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน วัดความเร็วลมในช่วง 0.8-12 เมตร/วินาที ได้รับการตรวจสอบ  
มาตรฐานจากบริษัทตัวแทนจำหน่าย
- 2) เทอร์โมคัปเปิ้ล Type k 2 ตัว ได้รับการตรวจวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลของศูนย์เทอร์โมไดนามิก
- 3) เครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น CMP3 ได้รับตรวจสอบมาตรฐาน  
โดยมีการสอบเทียบกับหัววัดของมหาวิทยาลัยศิลปากร
- 4) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ละเอียต 1 กรัม ยี่ห้อ Ohaus
- 5) ตู้อบไฟฟ้า
- 6) Data Recorder ยี่ห้อ YOKOGAW รุ่น DX200
- 7) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น HT-3009 และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ  
Lutron รุ่น HT-3007SD



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Lutron รุ่น YK-80AS



รูปที่ 3.6 แสดงเทอร์โทคัพเบิล 5x30 nm Type K J-30 จำนวน 2 ตัว



รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ Kipp & Zonen's CMP3



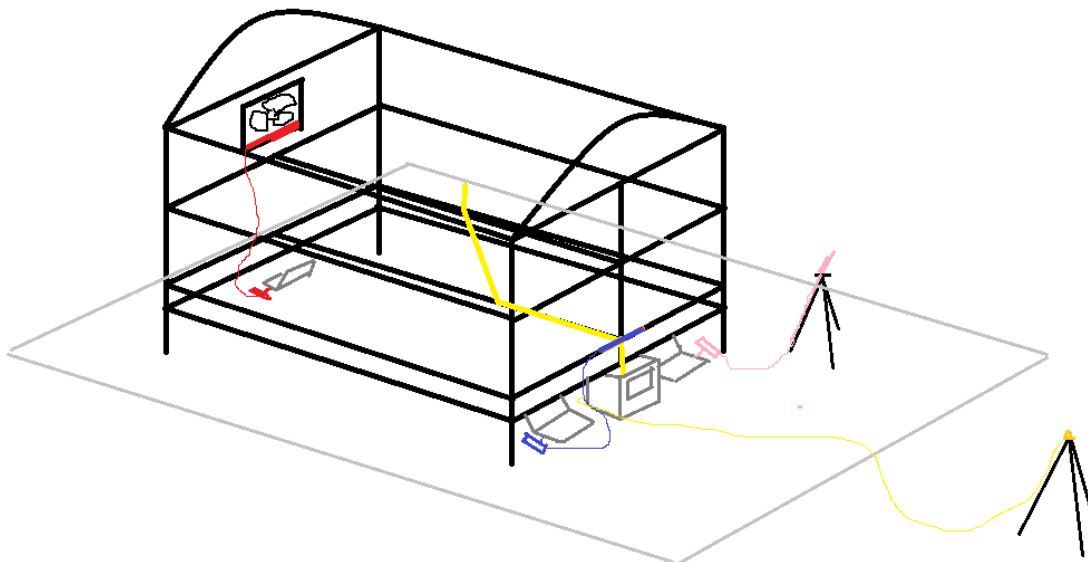
รูปที่ 3.8 แสดงตู้อบไฟฟ้า



รูปที่ 3. 9 แสดง Data Recorder ยี่ห้อ YOKOGAW รุ่น DX 200



รูปที่ 3. 10 แสดงเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น HT-3009 และเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Lutron รุ่น HT-3007SD



รูปที่ 3. 11 แสดงการติดตั้งหัววัดของอุปกรณ์ต่างๆ สีเหลืองติดตั้งเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ สีแดงเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ขาออก สีน้ำเงินเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิขาเข้า สีชมพูเครื่องวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์สิ่งแวดล้อมภายนอก

### 3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

ในการทดลองจะใช้พริกจากกลุ่มเกษตรกรบ้านนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม พริกเป็นพืชที่มีความสำคัญและมีความผูกพันกับชีวิตของคนไทยมาช้านาน ดังจะเห็นได้จากอาหารที่รับประทานกันในแต่ละมื้อนั้น ต้องมีพริกเป็นส่วนประกอบในการปรุงแต่งรสชาติอาหารแทบทุกราวเรือน นิยมปลูกพริกกันทั่วไปใน

ทุกภาคของประเทศทั้งปลูกเป็นพืชผักสวนครัว และปลูกเป็นการค้า พริกเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามินเอ ซี และอี โดยเฉพาะวิตามินซีพบว่ามีมากกว่าพืชผักชนิดอื่น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของพลังงานและแร่ธาตุ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เหล็ก แคลเซียม ความเผ็ดของพริกเกิดจากสารในกลุ่ม capsaicinoids เช่น capsaicin ( $C_{16}H_{27}NO_3$ ) ซึ่งเป็นสาร volatile phenolic compound ที่อยู่ภายในผล ใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหารในรูปแบบต่างๆ และพริกบางชนิดที่มีต้นขนาดเล็ก ผลดก ก้านผลชี้ขึ้นเหมาะสำหรับปลูกเป็นไม้ประดับที่สวยงามได้อีก

พริกเป็นพืชล้มลุกอยู่ในวงศ์ *Solanaceae* ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum spp.* ซึ่งพืชในตระกูลนี้มีอยู่ด้วยกันประมาณ 90 สกุล (genus) หรือ 2,000 ชนิด (species) โดยทั่วไปเป็นได้ทั้งพืชล้มลุก ไม้พุ่ม และไม้ยืนต้นขนาดเล็ก พริกขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปของโลก ส่วนใหญ่จะเจริญอยู่ในเขตร้อน

### 3.3.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

พริกเป็นพืชที่มีอายุอยู่ได้หลายฤดูมีลักษณะลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 1-1.5 ฟุต ดังแสดงรูปที่

3.11



รูปที่ 3. 12 แสดงลักษณะของพริก

ลำต้นพริกเป็นพืชที่มีการเจริญของกิ่งเป็นแบบ Dichotomous คือกิ่งจะเจริญจากลำต้นเพียง 1 กิ่ง แล้วแตกเป็น 2 กิ่ง และเพิ่มเป็น 4 เป็น 8 ไปเรื่อยๆ จึงมักจะพบว่า ต้นพริกที่สมบูรณ์จะมีกิ่งแตกขึ้นมาจากต้นที่ระดับดินหลายกิ่ง จนดูคล้ายกับว่ามีหลายต้นอยู่รวมที่เดียวกัน

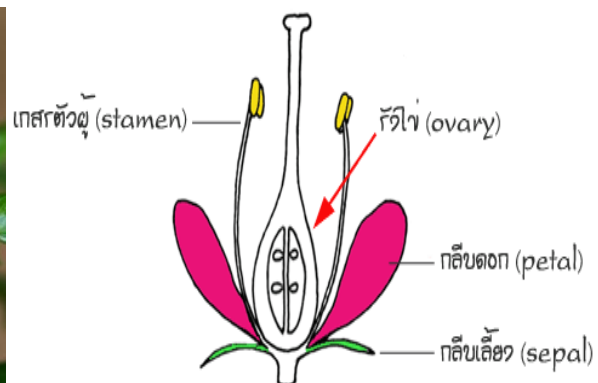
ใบเป็นแบบใบเดี่ยว ใบแบนเรียบ มีขนบ้างเล็กน้อย ใบมีรูปร่างตั้งแต่รูปไข่ไปจนกระทั่งเรียวยาวขนาด ใบมีต่างๆกัน ใบพริกหวานมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ใบพริกชี้หูทั่วไปมีขนาดเล็ก แต่ในระบบเป็นต้นกล้าและส่วน ใบล่างๆของต้นโตเต็มวัย มีขนาดใบค่อนข้างใหญ่

รากเป็นพืชที่มีรากหากินได้ลึกมาก ต้นพริกที่โตเต็มที่รากฝอยจะแผ่ออกไปหากินด้านข้างในรัศมีเกินกว่า 1 เมตร และหยั่งลึกลงในดินเกินกว่า 1.20 เมตร ตรงบริเวณรอบๆต้นจะพบว่ามีการฝอยสานกันอยู่อย่างหนาแน่นมาก

ดอกโดยปกติมักจะพบว่าดอกเกิดเดี่ยวที่ข้อตรงมุมที่เกิดใบหรือกิ่ง แต่ก็พบว่ามีหลายดอกที่เกิดขึ้นตรงจุดเดียวกัน ดอกประกอบด้วยกลีบรอง ดอกมีลักษณะเป็นพู่ 5 พู่ มีกลีบดอกซึ่งจะมีสีขาวอยู่ 5 กลีบ (แต่อาจจะมี 4, 5, 6 หรือ 7 กลีบ) บางพันธุ์กลีบดอกจะเป็นสีม่วง โดยปกติจะมีเกสรตัวผู้อยู่ 5 อัน ซึ่งเท่าจำนวนกลีบดอกนั่นเอง เกสรนี้จะแตกออกมาจากตรงโคนของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้มักมีสีน้ำเงินและจะแยกตัวเป็นกระเปาะเล็กๆ ยาวๆ สำหรับเกสรตัวเมียจะชูขึ้นไปเหนือเกสรตัวผู้ ส่วนของยอดของเกสรตัวเมียมีรูปร่างเหมือนกระบอกหัวมนๆ รังไข่จะมีอยู่ 3 พู่ หรืออาจจะมี 2 หรือ 4 ก็ได้ ลักษณะดอกของพริกแสดงไว้ในภาพที่ 2 พริกมักจะออกดอกและติดผลในสภาพที่มีช่วงวันสั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 3. 13 แสดงลักษณะของดอกพริก

ก. ปลายยอดพริกที่มีดอกอยู่ด้วย

ข. แสดงดอกที่ตัดตามขวาง

([http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?ID=36782](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=36782))

ผล เป็นประเภท berry ที่มีลักษณะเป็นกระเปาะ มีฐานชั้นผล (peduncle) สั้นและหนา โดยปกติ ผลอ่อน มักชี้ขึ้น เมื่อเป็นผลแก่ผลอาจชี้ขึ้นหรือห้อยลง ถ้าพันธุ์ที่มีลักษณะหัวผลอ่อน พันธุ์นั้นจะให้ผลที่ห้อยลง ผลมีลักษณะตั้งแต่แบนๆ กลมยาว จนถึงพอง อ้วน สั้น ขนาดผลมีตั้งแต่ขนาดผลเล็กๆ ไปจนกระทั่งผลขนาดใหญ่ ผักรูป (pericarp) มีตั้งแต่บางไปจนถึงหนาขึ้นกับพันธุ์ เมื่อผลแก่สุกอาจเปลี่ยนสีจากเขียว เป็นแดง หรือเหลืองพร้อมๆกับการแก่ของเมล็ดในผลควบคู่กันไป ผลพริกมีความเผ็ดแตกต่างกันไป บางพันธุ์เผ็ดจัด บางพันธุ์ไม่เผ็ดเลย ฐานของผลอาจแบ่งออกได้เป็น 2-4 ห้องซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในพริกหวานทั่วไป แต่พริกที่มีขนาดผลเล็กอาจสังเกตได้ยาก ในบางพันธุ์อาจดูเหมือนว่าภายในผลมีเพียงห้องเดียวโดยตลอด เนื่องจาก setae ไม่เจริญยาวตลอดถึงปลายผลลักษณะของผลพริกแสดงไว้ในภาพที่ 3.13 ในระหว่างการเจริญเติบโตของผลหากอุณหภูมิในเวลากลางวันสูงและความชื้นในบรรยากาศต่ำจะทำให้ผลพริกมีการเจริญเติบโต (off-type) ที่มีรูปร่างบิดเบี้ยวและมีขนาดเล็ก นอกจากนี้การติดเมล็ดก็ยังต่ำกว่าปกติอีกด้วย



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะของผลพริก

เมล็ดจะเกิดเกาะรวมกันอยู่ที่รก (Placenta) ซึ่งมีตั้งแต่โคนจนถึงปลายผล เมล็ดพริกมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าเมล็ดมะเขือเทศ แต่มีรูปร่างคล้ายกัน คือ มีลักษณะรูปกลมแบน มีสีเหลืองไปจนถึงสีน้ำตาลแต่ผิวเมล็ดพริกไม่ค่อยมีขนเหมือนอย่างในมะเขือเทศ ตามมาตรฐานของขนาดเมล็ดพริก เช่นเมล็ดพริกหวาน 1 กรัม ควรจะมีเมล็ดพันธุ์ 166 เมล็ดขึ้นไป ส่วนพริกเผ็ดที่มีขนาดผลเล็กควรมีขนาดเมล็ดเล็กกลงเช่น เมล็ดพริกพันธุ์ห้วยสีทน 1 น้ำหนัก 1 กรัม มีจำนวนเมล็ดถึง 256 เมล็ด

พริกที่ปลูกอยู่ทั่วโลกนี้มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิดแตกต่างกันไปตามแหล่งที่ปลูก โดยที่แต่ละพันธุ์จะมีสีและความเผ็ดในระดับที่ต่างกัน [4] แบ่งพริกออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ดังนี้

กลุ่ม A      *Capsicum annuum* Linn. ผลสุกมีสีแดงเข้ม แว่ววาวจนถึงสีน้ำตาลแดง สีเหลืองเข้มและสีม่วง

- กลุ่ม B     *Capsicum frutescence* Linn. และ *Capsicum Chinese* Jacq. ผลสุกมีสีน้ำตาลแดง สีส้มและสีขาวเหลือง
- กลุ่ม C     *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (Wild.) Eshbaugh. ผลสุกมีสีเหลืองส้มจนถึงสีแดง
- กลุ่ม D     *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. ผลสุกมีสีส้มถึงสีแดง

พริกที่นิยมปลูกในประเทศไทยจากการสำรวจพบว่ามียู 2-3 กลุ่ม ได้แก่ *Capsicum annum* Linn เป็นพันธุ์ที่ปลูกมากและมีความสำคัญที่สุดเมื่อเทียบกับพริกชนิดอื่นๆ พริกชนิดนี้มีแหล่งดั้งเดิมแหล่งกำเนิดแรกอยู่ในอเมริกากลาง ได้แก่ ประเทศเม็กซิโกและประเทศใกล้เคียง มีหลักฐานว่าพริกชนิดนี้ถูกนำไปเผยแพร่ในประเทศยุโรป โดยการเดินทางของโคลัมบัส ในปี ค.ศ. 1494 และพริกชนิดนี้ยังได้แพร่กระจายไปทวีปเอเชียและแอฟริกา ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดที่สอง (secondary centres) พริกชนิดนี้มีดอกเดี่ยวผลเดี่ยวและมีกลีบดอกสีขาว สำหรับในประเทศไทยพบว่า พริก Cranium ที่ใช้ปลูกมีมากสายพันธุ์ที่สุดเมื่อเทียบกับพริกชนิดอื่น รวบรวมได้ 31 สายพันธุ์ ชื่อสายพันธุ์เรียกตามชื่อพื้นเมือง ได้แก่ พริกชี้ฟ้า พริกชี้ฟ้าใหญ่ พริกจินดา พริกแดง พริกฟักทอง พริกขี้หนู พริกขี้หนูชี้ฟ้า พริกขี้หนูจินดา พริกหวาน พริกหยวก และพริกยักษ์ เป็นต้น

### 3.4 การหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

ผู้วิจัยได้คำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานของความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ หรือ

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{Solar}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad Q_u = \dot{m} C_p (T_{Fo} - T_{Fi}) \quad (3.2)$$

เมื่อ  $Q_u$  = พลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (J/s)

$\dot{m}$  = อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

$C_p$  = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg-C)

$T_{Fo}$  = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (C)

$T_{Fi}$  = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (C)

$$\text{โดยที่} \quad \dot{m} = A \rho v \quad (3.3)$$

เมื่อ  $A$  = พื้นที่หน้าตัดของแผงรับรังสี ( $m^2$ )  
 $\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )  
 $v$  = ความเร็วของอากาศ ( $m/s$ )

$$\text{โดยที่} \quad Q_{Solar} = A_c I_T \quad (3.4)$$

เมื่อ  $Q_{Solar}$  = พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $J/s$ )  
 $A_c$  = พื้นที่รับแสงของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $m^2$ )  
 $I_T$  = ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $J/s.m^2$ )

### 3.5 การหาความขึ้นมาตรฐานเปียกที่เวลาต่างๆ

เมื่อสิ้นสุดการอบ ผู้วิจัยจะนำตัวอย่างไปอบแห้งในเตาที่มีอุณหภูมิ  $103^\circ C$  เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อหามวลแห้ง มวลแห้งที่ได้จะนำไปในคำนวณหาความขึ้นมาตรฐานเปียกที่เวลาต่างๆ โดยใช้สูตร

$$M(t) = \frac{m_p(t) - m_s}{m_p(t)} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ  $M(t)$  = ความขึ้นมาตรฐานเปียกที่เวลา  $t$  (%)  
 $m_p(t)$  = มวลของพริกก่อนทำการอบแห้ง(kg)  
 $m_s$  = มวลแห้งของพริก (kg)

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมต้องใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในรูปของความร้อนเพื่อให้ผลิตภัณฑ์แห้ง ส่วนเพื่อขับเคลื่อนพัดลมระบายอากาศขนาด 38 วัตต์ใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจึงขึ้นกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ได้แก่ สมบัติต่างๆ ทางฟิสิกส์ การทดสอบแบบจำลองของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ สมบัติทางฟิสิกส์ของพริก และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.1. สมบัติทางฟิสิกส์ของเครื่องอบแห้ง

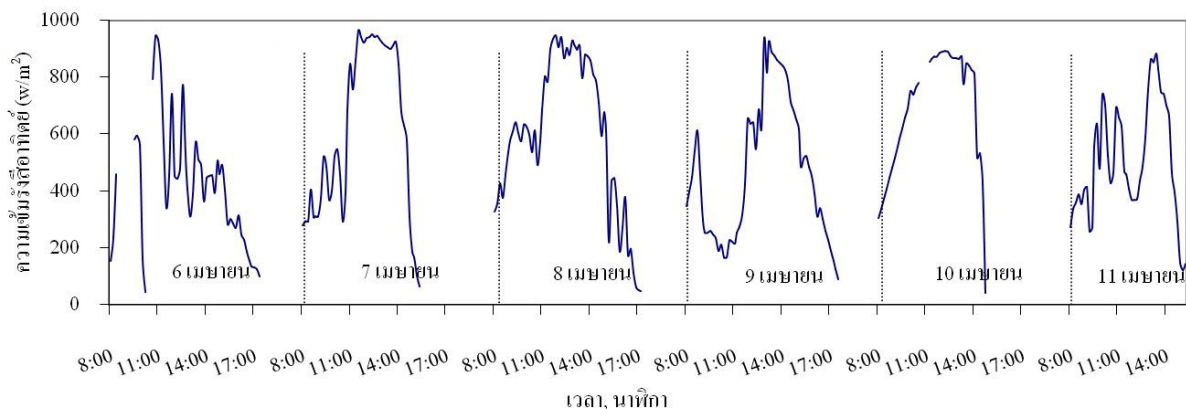
ตัวแปรทางกายภาพของเครื่องอบแห้งได้จากการวัดโดยตรงเช่น ขนาดความกว้างและความยาวของเครื่องอบแห้งซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 แต่สมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติการส่งผ่านความร้อนของแผ่นฉนวนโปร่งใส แผ่นดुकกลืน และแผ่นฉนวน และพัดลมระบายอากาศจะสามารถหาได้จากข้อมูลจากผู้ผลิต ส่วนอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งได้จากการวัดในการทดลอง ผลของการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1-4.4

##### 4.1.1 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีคำนวณโดยใช้ค่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิได้จากการวัดโดยตรงที่ทาง เข้า- ออกของแผงรับรังสี โดยดำเนินการทดสอบเครื่องอบแห้ง 6 วัน ที่ ตำบลนางาม อำเภอเรณูนคร จังหวัดนครพนม (ละติจูด: 17.10N, ลองจิจูด: 104.68E) ตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน พ.ศ. 2557

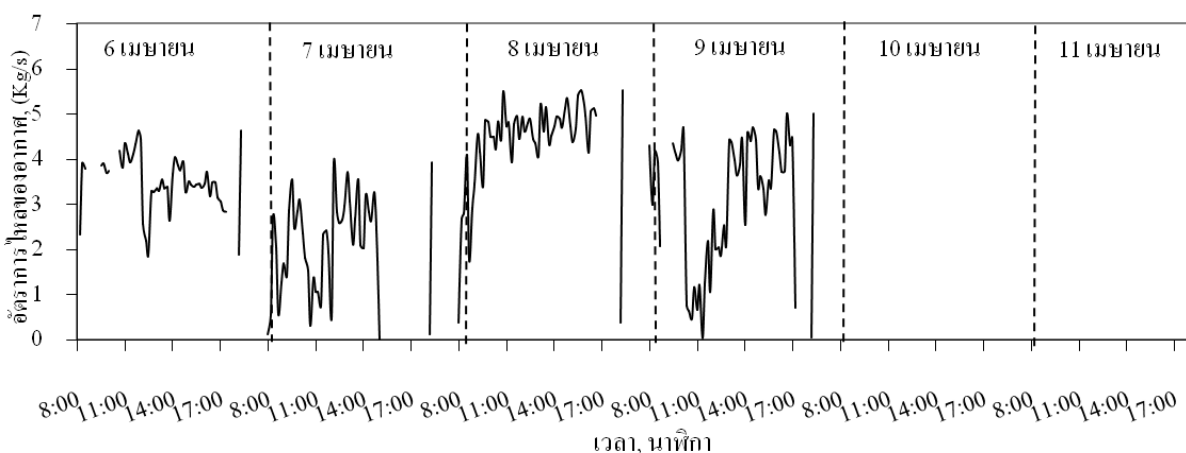
ในการทดลองวันแรกท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $44.97 \text{ W/m}^2$  ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $955.96 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $418.24 \text{ W/m}^2$  ในวันที่สองช่วงเช้าอากาศแจ่มใส แต่ช่วงบ่ายเมฆเริ่มก่อตัวขึ้นและฝนตกในเวลาต่อมาทำให้ต้องหยุดทดลอง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $62.25 \text{ W/m}^2$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $946.63 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $605.52 \text{ W/m}^2$  ในวันที่สามวันนี้มีแดดตลอดวันแต่จะมีบางช่วงที่เมฆปกคลุม ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $110.81 \text{ W/m}^2$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $947.01 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $625.69 \text{ W/m}^2$  ในวันที่สี่วันนี้มีแดดเกือบตลอดวันแต่จะมีเมฆปกคลุมในช่วงเช้า และตอนบ่ายปกคลุมเป็นช่วงๆ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $90.33 \text{ W/m}^2$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $938.93 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $464.69 \text{ W/m}^2$  ในวันที่ห้ามีแดดตลอดทั้งวัน แต่ในช่วงบ่ายจะมี

ที่เมฆปกคลุมบางช่วงๆ และมีฝนตกทำให้ต้องหยุดทดลอง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $41.35 \text{ W/m}^2$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $893.05 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $684.94 \text{ W/m}^2$  วันสุดท้ายที่ทำการทดลองมีแดดตลอดทั้งวันแต่จะมีเมฆปกคลุมในช่วงบ่ายและมีฝนตกทำให้ต้องหยุดทดลอง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำสุด  $122.22 \text{ W/m}^2$  ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด  $883.52 \text{ W/m}^2$  โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย  $503.34 \text{ W/m}^2$



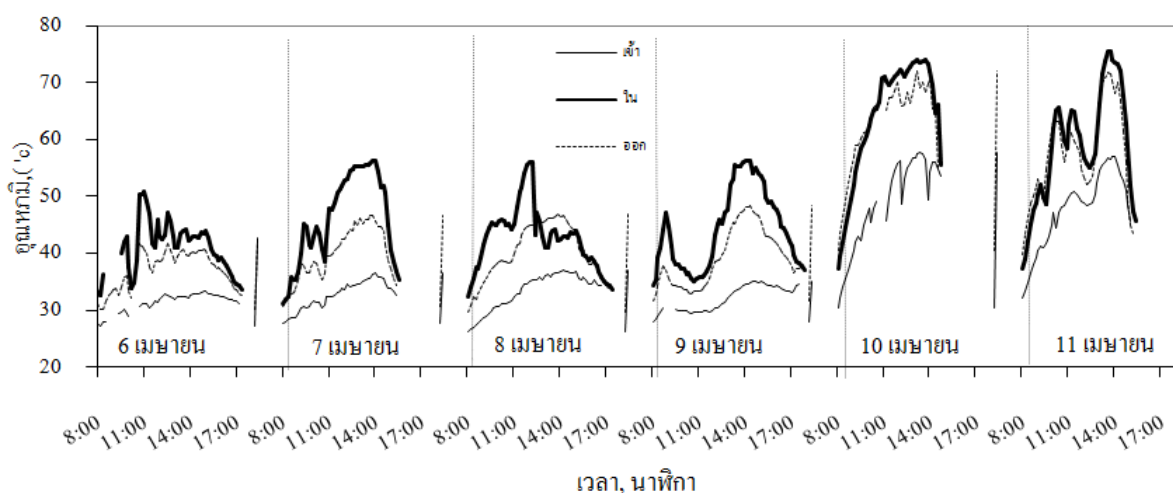
รูปที่ 4.1 แสดงความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6 -11 เมษายน 2557

อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จาก  $A_c \rho v$  เมื่อ  $A_c$  คือพื้นที่หน้าตัดของแผงรับรังสีเท่ากับ  $4.32 \text{ m}^2$   $\rho$  คือความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ  $1.164 \text{ kg/m}^3$   $v$  คือความเร็วของอากาศเฉลี่ย  $0.56 \text{ m/s}$  ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการไหลของอากาศในวันแรกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $3.51 \text{ Kg/s}$  วันที่สองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $2.17 \text{ Kg/s}$  วันที่สามมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $4.44 \text{ Kg/s}$  วันที่สี่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่  $3.12 \text{ Kg/s}$  อัตราการไหลของการในแต่ละวันจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนในสองวันสุดท้ายได้ทำการปิดพัดลมจึงไม่มีอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง ในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557

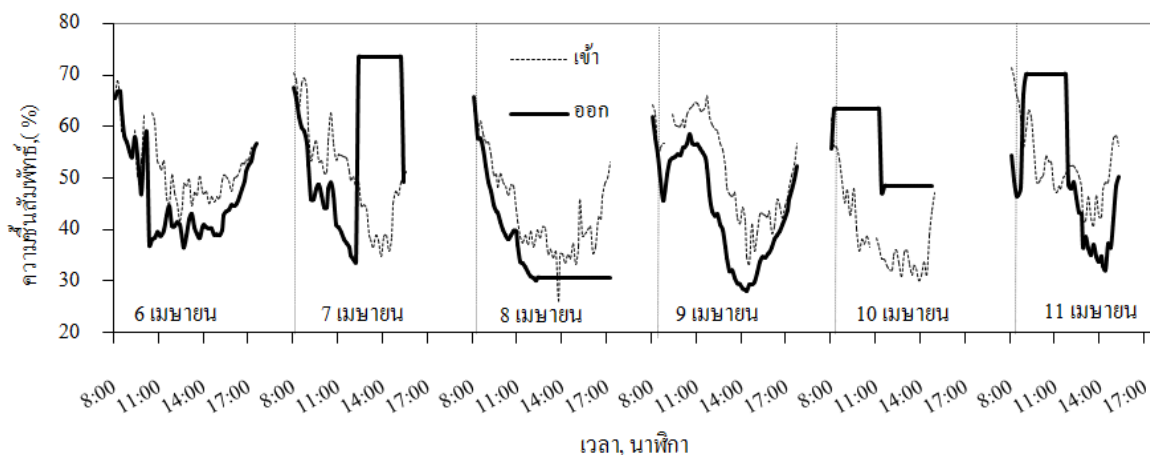
ในวันแรกอุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.43 °C ส่วนอุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.07 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 6.03 °C ในวันที่สองอุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.58 °C ส่วนอุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39.8 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.23 °C ในวันที่สามอุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.25 °C อุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.52 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.28 °C ในวันที่สี่อุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 32.02 °C อุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 39.17 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.43 °C ในวันที่ห้าอุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 48.67 °C ส่วนอุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 62.63 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 14.49 °C ในวันสุดท้ายอุณหภูมิของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.61 °C อุณหภูมิอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 57.55 °C ความแตกต่างของอุณหภูมิขาเข้า-ขาออกเฉลี่ยอยู่ที่ 10.53 °C สองวันสุดท้ายได้ปิดพัดลมดูดอากาศจึงทำให้ไม่มีการสูญเสียความร้อนภายในเครื่องอบแห้งจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าวันแรก



รูปที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิอากาศอบแห้งตรงทางเข้าข้างในและตรงทางออกของส่วนอบแห้ง ในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557

ในวันแรกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 51.09% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 46.20% ในวันที่สองความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53.65% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 58.58% ในวันที่สามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 43.30% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.09% ในวันที่สี่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 50.89% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 44.63% ในวันที่ห้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 44.45% ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่

54.65% ในวันสุดท้ายความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 51.99% ส่วนอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาออกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 53.9%

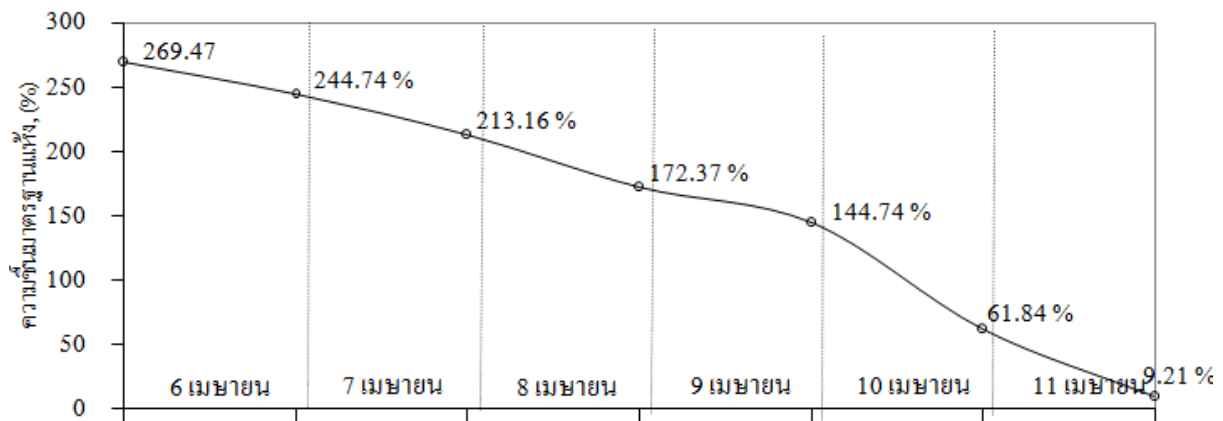


รูปที่ 4.4 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งตรงทางเข้าและตรงทางออก ในระหว่างการทดลองตั้งแต่วันที่ 6-11 เมษายน 2557

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานของความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสมการที่ 2.14 ในบทที่ 2 ดังนั้นสามารถคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ จากการทดลองวันที่แรกมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2353.187% มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 470.48% โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 1248.44% วันที่สองมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1697.00% มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30.86% โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 669.36% วันที่สามมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 92.00% มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30.86% โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 1297.07% วันที่สี่มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2616.78% มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 14.76% โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 1226.9% ในการทดลองสองวันสุดท้ายได้มีการปรับเปลี่ยนการทดลองคือการปิดพัดลมดูดอากาศ จึงไม่มีอัตราการไหลของอากาศภายในตู้อบทำให้ไม่สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ได้ ในส่วนของประสิทธิภาพแผงรับรังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1110.44 % ซึ่งถือว่าสูงมากสำหรับแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้อากาศเป็นตัวพาความร้อน เนื่องมาจากอัตราการไหลของอากาศสูงเกินไปทำให้ความชื้นของพริกในส่วนแรกลดลงค่อนข้างน้อย จึงต้องทำการปิดพัดลมในสองวันสุดท้าย

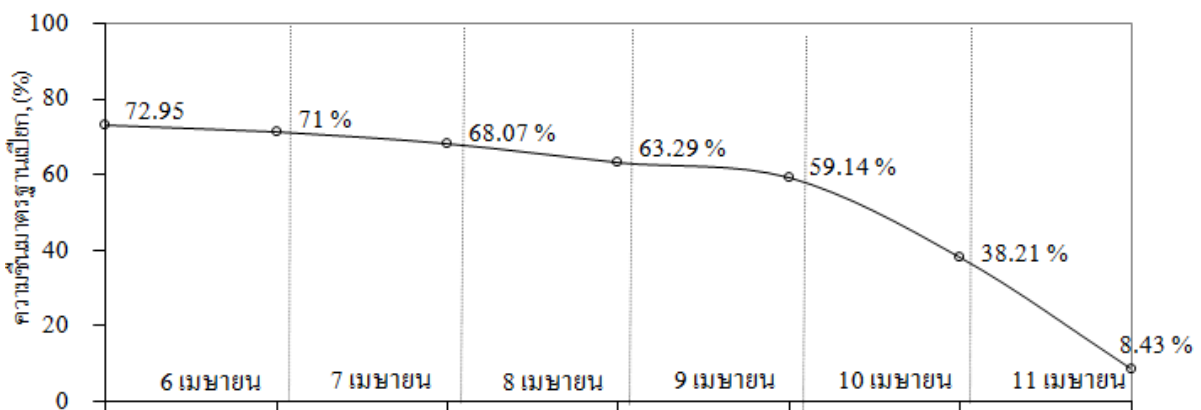
#### 4.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของพริก

ความชื้นของวัตถุดิบความชื้นฐานเปียก (Wet basis) เป็นที่นิยมใช้กันในการค้า สำหรับความชื้นฐานแห้งมักใช้ในการคำนวณและการศึกษาในเชิงวิทยาศาสตร์ ความชื้นของวัตถุดิบความชื้นฐานเปียกแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความชื้นมาตรฐานแห้งระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557

ในการทดลองวันแรกความชื้นมาตรฐานแห้งของพริกเริ่มต้นที่ 269.47% db หลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 244.74% db ในวันที่สองหลังจากอบแห้งแล้วมีความชื้นลดลงเหลือ 213.16% db ในวันที่สามหลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 172.37% db ในวันที่สี่หลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 144.74% db ในวันที่ห้าหลังจากอบแห้งแล้วมีความชื้นลดลงเหลือ 61.84% db ส่วนในวันสุดท้ายหลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 9.21% db



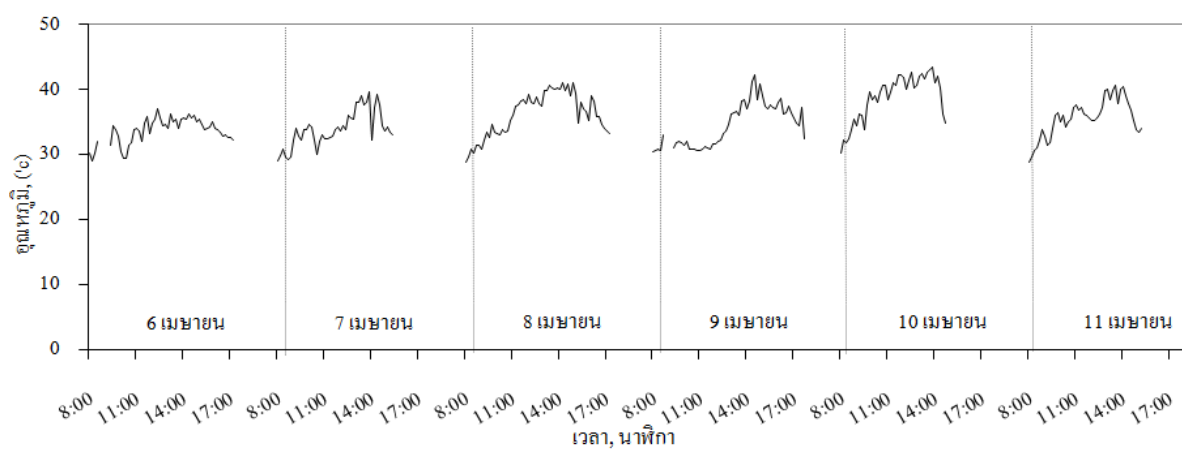
รูปที่ 4.6 แสดงความชื้นมาตรฐานเปียกระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557

ในการทดลองวันแรกความชื้นมาตรฐานเปียกของพริกเริ่มต้นที่ 72.95% wb หลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 71.00% wb ในวันที่สองหลังจากอบแห้งแล้วมีความชื้นลดลงเหลือ 68.07% wb ในวันที่สาม หลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 63.29% wb ในวันที่สี่หลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความ

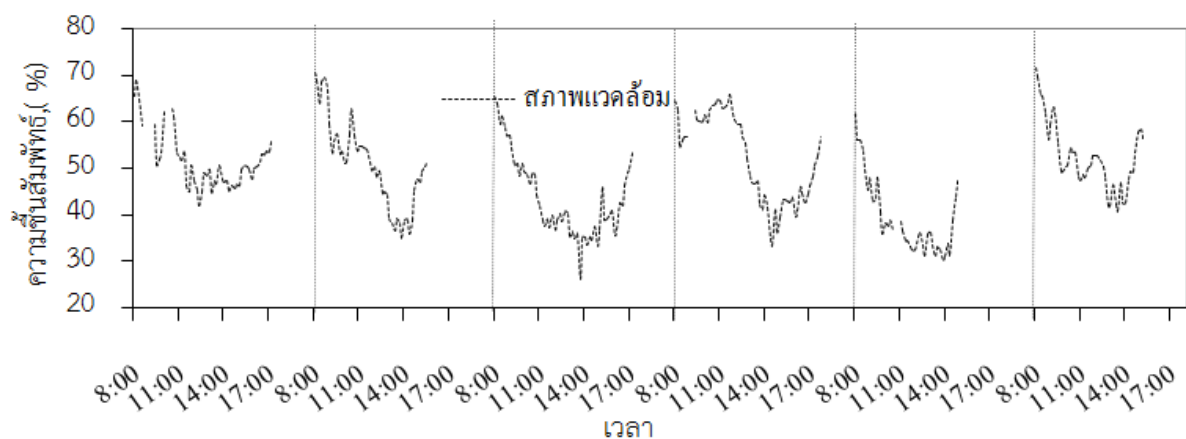
ความชื้นลดลงเหลือ 59.14% wb ในวันที่ห้าหลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 38.21% wb ส่วนในวันสุดท้ายหลังจากอบแห้งแล้วพริกมีความชื้นลดลงเหลือ 8.43% wb

#### 4.3 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ในระหว่างการทดลองทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลต่างๆ ทางภูมิอากาศไว้ด้วยได้แก่ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม ในรอบวันทุก 2 นาที แสดงดังรูปที่ 4.7-4.8



รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557



รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมระหว่างวันที่ 6-11 เมษายน 2557

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

เครื่องอบแห้งนี้สามารถอบพริกได้จำนวน 30kg ต่อครั้ง ใช้เวลาในการอบ 43.3hr หรือประมาณ 3 วันครึ่ง โดยที่สภาพอากาศต้องมีแดดอย่างต่อเนื่อง พริกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นที่ 72.95% wb และความชื้นสุดท้ายที่ 8.43% wb ความชื้นมาตรฐานแห้งของพริกเริ่มต้นที่ 269.47% db และความชื้นสุดท้ายที่ 9.21% db ถึงแม้ว่าจะใช้เวลาหลายวันในการอบแห้งครั้งนี้เนื่องจากสภาพอากาศ ไม่ถูกรบกวนจากแมลงต่างๆ และลดปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง

ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่ามีหลายตัวแปรหลายๆ ตัวแปรที่เป็นอุปสรรคและปัญหาต่อการทดลองได้แก่

1. สภาพอากาศในระหว่างการทดลองก็เป็นช่วงที่มีร่องความกดอากาศสูงพัดผ่านเข้ามาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนทำให้มีฝนฟ้าคะนองและท้องฟ้าปกคลุมไปด้วยเมฆเป็นจำนวนมาก ทำให้อุณหภูมิและความชื้นแสงค่อนข้างต่ำส่งผลให้พริกแห้งช้ากว่าปกติ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอุปสรรคทำให้การเก็บข้อมูลซึ่งเป็นไปได้ค่อนข้างลำบาก

2. พัดลมดูดอากาศของเครื่องอบแห้งนี้ไม่เหมาะสมกับขนาดของเครื่องอบแห้ง ทำให้อัตราการไหลของอากาศมีค่าสูงส่งผลต่ออัตราการแห้งของพริกและประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยในช่วงสัปดาห์แรกที่เปิดพัดลมน้ำหนักของพริกลดลงค่อนข้างน้อยกว่าที่ประมาณการเอาไว้ เมื่อปิดพัดลมดูดอากาศทำให้น้ำหนักของพริกลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเครื่องอบแห้งเครื่องนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับพัดลมดูดอากาศเพื่อดูดอากาศตลอดเวลา แต่ควรจะดูดอากาศเป็นครั้งคราวหรืออัตราการไหลของอากาศควรแปรตามตามความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในตัวเครื่องอบแห้ง

## บรรณานุกรม

- Ahmad Ghazafari, Lope Tabil Jr, et al. (2003). Technical Note Evaluation a Solar Dryer for In-Shell Drying of Split Pistachio Nuts.
- Benon Bena and R.J.Fuller (2002). "Natural convection solar dryer with biomass back-up heater Solar Energy." 72(1), 75-83.
- Boon-Long, P., A. Hirun, et al. (1984). Solar-assisted tobacco curint, Proceedings of the Regional Seminar on solar drying. Yogyakarta Indonesia.
- Exell, R. H. B. (1990). Tim seasoning with solar energy. Proceedings of the International Conference on Energy and Environment. Bangkok, Thailand.
- Exell, R. H. B. and S. Kornsakoo (1977). "A Low Cost Solar Rice Dryer." AIT Report.
- F.Coyrtois, A. Lebert, et al. (1991). "Modeling of Drying in order to Improve Processing Quality of Corn." Journal of Drying Technology: 9(4): 927-945.
- Fudholi, A., K. Sopian, et al. (2014). "Performance analysis of solar drying system for red chili." Solar Energy 99(0): 47-54.
- Gbaha, P., H. Yobouet Andoh, et al. (2007). "Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow." Renewable Energy 32(11): 1817-1829.
- Janjai, S. and P. E. Doe (1991). A simple procedure for computing solar radiation for solar grain dryer simulations. Proceedings of the ISES Congress. Denver, USA.
- Janjai, S. and J. Hirunlabh (1993). "Eeperimental study of solar fruit dryer." Proceedings of the ISES Solar World Congress Budapest vol 8: 123-128.
- Janjai, S., J. Laksanaboonsong, et al. (2005). "A. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment." 739-751.
- Janjai, S., N. Lamlert, et al. (2009). "Experimental and simulated performance of a pv-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana." 1550-1565.
- Jareanjit, J. (2012). "A Solar Dryer Technology and Its Development." KKU Res. J. 17(1): 110-124.
- Keawsuntia, Y. (2014). "Experimental Investigation of Active Solar Dryer for Drying of Chili." Advanced Materials Research 16: 953-954.
- N. A. Vlachos, T. D. Karapantsios, et al. (2002). "Design and testing of a new solar tray dryer." 20(6):1243-1271.

- Praditwong, P. and S. Janjai (1989). Performance studies of solar drying-storage system for paddy. Proceeding of the last World Renewable Congress. Redwing, UK.
- R. J. Fuller and W. W. S. Charters (1998). Performance of a solar tunnel drier with Microcomputer control. an initiative of the International Solar Energy Society.
- Rakwichian, W. and V. Sudaparsert (1990). Sudaparsert, Developmant of a fruit solar dryer for the industrial scale. proceedings of the International Conference on Energy and Enviroment. Bangkok Thailand.
- Sodha, M. S. (1987). Solar Crop Drying, Boca Raton: CRC Press, Inc.
- Soponronnarit, W. W. S., et al. (1986). "A drying-storage solar hut:The Technical aspects." Renewable Energy Review Journal: 8(1), 49-60.
- T. Saleh and M. A. R. Sarkar (2002). Performance Study of A PV Operated Forced Convection Solar Energy Dryer. International Symposium for Renewable Energy Education.
- Thongprasert, S., M. Thongprasert, et al. (1985). "An Economic Study on Solar rice Dryer." Energy Administration.
- Weerachai Kaensup, Surachate Chutima, et al. (2002). Drying Technology.
- Wibulswas, P., Opaskiatkul, et al. (1977). Performance of a solar cabinet dryer. Proceeding of Renewable Energy and Application, Bangkok.
- Wibulswas, P. and Sm Thaina (1980). Comparative performance of cabinet dryers with separate air heaters. Paper presented at the workshop on Fule and Power in the Third World. Bordeaux France.
- ณอคคุณ สิทธิพงศ์ และประดิษฐ์ เทอดกุล (2530). โรงอบแห้งพืชหลายชนิดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. เอกสารประชุมทางวิชาการเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาชนบท. ขอนแก่น.
- ณัฐวุฒิ ดุษฎี (2534). การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.
- ทงศักดิ์ วัฒนา. (2011). "การอบแห้งและการประยุกต์ใช้งานเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์." from <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13208&section=9&rcount=Y>.
- วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร, เจตน์ เม่นคำ, et al. (2529). การศึกษาคุณภาพกล้วยตากที่ได้จากตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร, สังวาล เพ็งพัด, et al. (2530). การเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยตากที่ได้จากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กับ ตู้อบแห้งหลอดอินฟราฟารา, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิลาวรรณ คำหาญ (2547). การศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อใช้ในการเรียนการสอน, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

วิลาวรรณ คำหาญ (2548). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมจากวัสดุในท้องถิ่นเพื่อใช้อบแห้ง  
พริก, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.