

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิ (Hom Mali rice) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ประกอบด้วยข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali 105) และ กข 15 (Rice Department 15 or Kor Khor 15) ข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่นิยมของผู้บริโภคทั้งภายในและต่างประเทศเป็นอย่างสูง เนื่องจากเมื่อนำมาหุงต้มจะได้ข้าวสุกที่มีกลิ่นหอม เมล็ดข้าวสุกนุ่ม เลื่อมมัน และเกาะตัวติดกันเป็นก้อน ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะที่แตกต่างจากข้าวพันธุ์อื่นอย่างชัดเจน (งามชื่น คงเสวี สุนันทาวงศ์ปิยชน และพูลศรี สว่างจิต, 2542, หน้า 231-238) ข้าวหอมมะลิจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (Low apparent amylose content) โดยมีปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency) และค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง (Alkali spreading value) อยู่ในช่วง 14.4-16.7%, 77-100 มิลลิเมตร และ 6.3-7.0 ตามลำดับ (Dela Cruz, Kumar, Kaushik & Khush, 1989, pp. 299-306) อย่างไรก็ตามข้าวหอมมะลิที่เพาะปลูกในพื้นที่แตกต่างกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ (Physicochemical properties) แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมมะลิที่เพาะปลูกในพื้นที่แตกต่างกัน

พันธุ์ข้าว	พื้นที่เพาะปลูก*	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ					คุณภาพการหุงต้ม		ความหนืดของข้าว		
		MC (%)	PTN (%)	AAM (%)	GC (mm.)	ASV	อัตราส่วนความกว้างต่อความยาว	เวลาการหุงต้ม (นาที)	GT (°C)	BD (BU)	SB (BU)
ขาวดอกมะลิ 105	PTT	10.5	7.7	16.1	79	7.0	1.6	15	64.5	770	-460
	CNT	13.0	6.0	14.4	80	6.7	1.6	15	66.0	660	-280
	KSR	11.9	9.0	14.6	77	6.4	1.7	15	66.0	500	-60
	PMI	10.9	7.5	16.7	100	6.6	1.7	15	67.3	440	10
	KKN	10.0	7.8	16.1	100	6.3	1.6	15	66.0	720	-400
กข 15	PAN	12.6	8.2	15.6	80	7.0	1.7	15	64.5	630	-240
	PMP	10.6	9.4	15.0	100	7.0	2.0	15	63.8	630	-310

หมายเหตุ: MC คือ ปริมาณความชื้น, AAM คือ ปริมาณแอมิโลส, PTN คือ ปริมาณโปรตีน, GC คือ ค่าความคงตัวของแป้งสุก, ASV คือ ค่าการสลายเมล็ดข้าวใน

ด่าง, GT=อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชัน, BD=ค่าการแตกตัวของแป้งสุก และ SB=ค่าการคืนตัวของแป้งสุก

\*พื้นที่เพาะปลูก; PTT, PAN, PMP, CNT, KSR, KKN และ PMI คือ สถาบันวิจัยข้าวจังหวัดปทุมธานี, ปาน, ปางมะผ้า, ชัยนาท, โคนสำโรง, ขอนแก่น และพิจิตร ตามลำดับ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kongseree (2002, 2004)

นอกจากนี้ข้าวหอมมะลียังจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเมล็ดยาว (Long grain rice) ซึ่งมีอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างประมาณ 3.36 อย่างไรก็ตามขนาดของเมล็ดข้าวหอมมะลิจะไม่แตกต่างจากข้าวที่มีกลิ่นหอมพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ (Aromatic rice varieties) เช่น ข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง ข้าวพันธุ์หอมสุพรรณบุรี และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดเมล็ดของข้าวหอมมะลิเปรียบเทียบกับข้าวที่มีกลิ่นหอมพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ

พันธุ์ข้าว	ขนาด (มิลลิเมตร)			อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง
	ความยาว	ความกว้าง	ความหนา	
ขาวดอกมะลิ105	7.4	2.2	1.8	3.36
กข15	7.5	2.1	1.7	3.57
หอมคลองหลวง	7.8	2.3	1.8	3.39
หอมสุพรรณบุรี	7.5	2.2	1.8	3.54
ปทุมธานี 1	7.6	2.2	1.7	3.45

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kongseer (2002); Sripinyowanich (2006)

จากตารางที่ 2.2 พบว่าข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง หอมสุพรรณบุรี และปทุมธานี เป็นข้าวที่มีกลิ่นหอมแต่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำเช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิโดยมีความยาว ความกว้าง ความหนา และอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างจากข้าวหอมมะลิ จึงทำให้มีการนำข้าวพันธุ์ดังกล่าวมาปลอมปนกับข้าวหอมมะลิ ส่งผลให้คุณภาพของข้าวหอมมะลิลดลง (งามชื่น คงเสรี สุนันทา วงศ์ปิยชน และพูลศรี สว่างจิต, 2542, หน้า 231-238)

## 2. กลไกการเกิดความเก่าของข้าว

ความเก่าของข้าว (Aging rice) เป็นคุณลักษณะหนึ่งของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสารเมื่อเก็บรักษาข้าวนาน 4-5 เดือน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 15°C จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพการหุงต้ม การขัดสี ข้าวเก่าจะมีการพองตัวและคุดน้ำในขณะหุงต้มมากขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกจะแข็งและมีปริมาณโปรตีนในน้ำหุงต้มข้าวต่ำ ดังนั้น ข้าวเก่าเมื่อหุงสุกแล้วข้าวสุกจะมีลักษณะแข็งร่วน ไม่ติดกันเหมือนข้าวใหม่ (Freshly rice) นอกจากนี้เมล็ดข้าวเก่ายังมี

ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยสามารถต้านทานการแตกหักในขณะขัดสีได้สูงกว่าข้าวใหม่ แต่ข้าวเก่าจะสูญเสียกลิ่นหอม รวมทั้งมีอัตราการงอกของเมล็ดข้าวต่ำอีกด้วย (ผดุงศักดิ์ วานิชชัง, 2544, หน้า 14; Zhout, Robards, Helliwell & Blanchard, 2002, pp. 65-78)

กลไกการเกิดความเก่าของข้าวเกิดขึ้นจากกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบที่สำคัญภายในเมล็ดข้าว ได้แก่ สตาร์ช ลิพิด และโปรตีน โดยลิพิดจะรวมตัวกับกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) และเกิดสารประกอบเชิงซ้อนร่วมกับโมเลกุลของแอมิไลส ส่งผลให้ความสามารถในการพองตัว (Swelling capacity) ของเม็ดแป้งลดลง ในขณะที่สารประกอบคาร์บอนิล (Carbonyl) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีน (Protein oxidation) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวระหว่างหมู่ซัลไฟดริล (Sulfhydryl groups) ด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) การสะสมของไอน้ำ และสารประกอบคาร์บอนิลที่ระเหยได้ ทำให้เมล็ดข้าวมีกลิ่นเหม็นหืน (Rancidity) และมีสีเหลือง (Yellow grain) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (Enzyme browning reaction) ในข้าวเปลือกที่มีอัตราการหายใจสูง นอกจากนี้ผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโปรตีนและการยึดเกาะกันระหว่างเม็ดสตาร์ชทำให้เมล็ดข้าวมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา แต่ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชลดลง และส่งผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุก (Moritaka & Yasumatsu, 1972, pp. 59-62)

Perez & Juliano (1981) พบว่าการเก็บรักษาข้าวที่อุณหภูมิ 15°C เมล็ดข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ อย่างสูงในช่วง 3-4 เดือนแรกของการเก็บรักษา Perdon, Marks, Siebenmorgen & Reid (1997) ศึกษาผลของการเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งข้าวเปลือกพันธุ์ Bengal ที่ความชื้น 8.8, 10.7, 12.9 และ 13.6% ที่อุณหภูมิ 3, 20 และ 37°C นาน 6 เดือน ผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดของน้ำแป้งเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่เก็บรักษาข้าว โดยค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) จะเพิ่มขึ้นในระหว่าง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษาและจะมีค่าสูงสุดเมื่อเก็บรักษานาน 3 เดือน หลังจากนั้นความหนืดสูงสุดจะลดลง สำหรับค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยค่าความหนืดสุดท้ายจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วง 3 เดือนแรกของการเก็บรักษา แต่การเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิ 3 และ 20°C ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดสุดท้ายของน้ำแป้ง ส่วนค่าการดูดซับน้ำ

(Water absorption) ของข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิ 37°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 3 เดือนแรก ในขณะที่การเก็บตัวอย่างข้าวที่อุณหภูมิ 3 และ 20°C ค่าการดูดซับจะแตกต่างกันเล็กน้อย

Pornlada (2000) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวโดยการอบข้าวเปลือกความชื้นสูงในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) สูง ผลการทดลองพบว่าการอบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 80°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% จะทำให้ค่าความขาว (Whiteness value) และค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับข้าวเก่าที่เก็บรักษาตามธรรมชาติ นาน 5 เดือน รวมทั้งค่าความหนืดสุดท้ายและอุณหภูมิแป้งสุก (Pasting temperature) ก็มีค่าใกล้เคียงกับข้าวเก่าที่ขายในท้องตลาด

### 3. เทคนิคการเร่งความเก่าของข้าว (Accelerating aged rice)

ปัจจุบัน การค้าข้าวคุณภาพสูงโดยเฉพาะข้าวหอมมะลิ และข้าวบาสมати (Basmati rice) ในตลาดโลกทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ โดยประเทศต่าง ๆ พยายามปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีคุณลักษณะและคุณภาพใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิและข้าวบาสมามากที่สุด เนื่องจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้มีราคาสูงและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องปรับปรุงแนวทางการพัฒนาข้าวหอมมะลิ โดยเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การปรับปรุงคุณภาพข้าว รวมทั้งการส่งเสริมการตลาด (Kongseree, 2004, p. 23-24)

กระบวนการเร่งความเก่าของข้าว เป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถปรับปรุงคุณภาพการหุงต้ม รับประทานและการแปรรูปข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มอัตราส่วนความยาวของเมล็ดข้าวในระหว่างการหุงต้ม การขยายปริมาตร และการดูดซับน้ำที่สูงกว่าข้าวใหม่ เมล็ดข้าวจึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสร่วนแข็ง หุงขึ้นหม้อ (Villareal, Resurreccion, Suzuki & Juliano, 1976, pp. 88-94) การเปลี่ยนจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าตามธรรมชาตินั้นต้องเก็บรักษาข้าว นาน 3-4 เดือน ส่งผลให้ข้าวเกิดความสูญเสียทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ ทำให้เสียโอกาสทางการค้า วิธีการเร่งให้ข้าวใหม่เปลี่ยนเป็นข้าวเก่าสามารถทำได้โดยให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่อุณหภูมิสูงในภาชนะปิดสนิท โดยไม่ให้สูญเสียความชื้นเพื่อป้องกันการแตกร้าวภายในเมล็ดข้าว หรือแม้กระทั่งการกองข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกองข้าวเพิ่มสูงถึง 60°C ที่เรียกว่า "Stack burn" ก็สามารถเปลี่ยนข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าได้เช่นเดียวกัน (Juliano, 1985, p. 443-524) วิธีการหรือเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการเร่งความเก่าของข้าว ได้แก่ การเก็บรักษาข้าวที่

อุณหภูมิสูง การให้ความร้อนแก่ข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่อุณหภูมิสูง การทำข้าวหนึ่งบางส่วน (Partial parboiled rice) การใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน (Fluidization) เป็นต้น

### 3.1 การเร่งความแก่ของข้าวด้วยวิธีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง

Juliano (1985) นำข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงมากของรวมกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในกองข้าวสูงถึง 60°C เนื่องจากเมล็ดข้าวมีอัตราการหายใจสูง ทำให้เมล็ดข้าวเกิดความแก่ได้เร็วขึ้น และพบว่าข้าวเก่าที่ผ่านการเก็บรักษาจะมีความเหนียวของข้าวสุกลดลงเมื่อเก็บข้าวที่อุณหภูมิ 28-30°C ความคงตัวของเจลจะลดลงจาก 65 มิลลิเมตรเป็น 50 มิลลิเมตร ส่วนความเหนียวของแป้งสุกและความแข็งของข้าวสุก (Hardness) จะเพิ่มขึ้นจาก 541 BU (Brabender unit) และ 7.4 กิโลกรัม เป็น 678 BU และ 8.6 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาข้าวนาน 5 เดือน

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับเพลงพิน ศิวาพรักษ์ (2541) พบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ 37°C จะมีค่าความคงตัวของเจลลดลง ส่วนค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าความเหนียวสูงสุดของแป้งสุกจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวนานขึ้น นอกจากระยะเวลาการเก็บข้าวแล้ว อุณหภูมิยังมีผลต่อการเร่งความแก่ของข้าวด้วย โดยพบว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C จะมีความคงตัวของแป้งสุกน้อยกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25°C แต่ข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความเหนียวของแป้งสุกและค่าความคงตัวของแป้งสุกสูงกว่าข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งค่าความคงตัวของแป้งสุกที่สูงขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการปรับสภาพการละลายของน้ำแป้ง และการเกิดเจลของแป้งและโปรตีนในเมล็ดข้าวที่ผ่านการเก็บรักษานานกว่า 5 เดือน

### 3.2 การเร่งความแก่ของข้าวด้วยการใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูง

การใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูงเร่งความแก่ของข้าวจะทำให้เม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความเหนียวและทำให้เกิดการเปลี่ยนจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่า Noomhorm, Kongseree & Apintanapong (1997) ทดลองเก็บข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (RD6) และกข 8 (RD8) นาน 8 เดือน ที่อุณหภูมิ 28-30°C พบว่าค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวเหนียวทั้ง 2 พันธุ์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา วินิต ชินสุวรรณ และภูมิสิทธิ์ วรรณขารี (2545) ทดลองอบข้าวเปลือกหอมมะลินาภานะปิดสนิท โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 40 45 50 55 60 65 และ 70°C โดยข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 13-24% (มาตรฐานเปียก) ผลการทดลองพบว่า

การอบข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงกว่า  $55^{\circ}\text{C}$  ความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 20-24% (มาตรฐานเปียก) สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติความหนืดของน้ำแป้งจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่า การอบแห้งข้าวเปลือกเพื่อเร่งความแก่ก็ยังส่งผลผลิตต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นสูง

Faruq, Hadjim & Meisner (2003) ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกพันธุ์ Mahsuri ในประเทศมาเลเซีย ที่อุณหภูมิ 100 และ  $110^{\circ}\text{C}$  นาน 1 3 5 7 และ 9 ชั่วโมง พบว่าการเร่งความแก่ของข้าวที่อุณหภูมิ  $110^{\circ}\text{C}$  นาน 5 ชั่วโมง จะมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราส่วนความยาวของเมล็ดข้าว (Kernel elongation ratio) มากที่สุด ใจทิพย์ วานิชชัง และพัชนี บุญถนอม (2545) ศึกษาการอบข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่เก็บเกี่ยวใหม่ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 และ  $70^{\circ}\text{C}$  นาน 20 และ 40 นาที โดยในตู้อบมีภาคน้ำอยู่ด้วย ผลการศึกษาพบว่าข้าวเปลือกข้าวดอกมะลิ 105 ใหม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยเฉพาะการขยายปริมาตร (Volume expansion) ใกล้เคียงกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีอายุการเก็บรักษา 1 ปี นอกจากนี้ยังพบว่าคุณภาพการการสีไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

กิตติศักดิ์ วสันตวิวงศ์ อาริรัตน์ อิมศิลป์ และปิยรัตน์ สิริธัญญิกิจ (2554) ศึกษาการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกหอมมะลิด้วยตู้อบลมร้อนที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 21-25%,  $90^{\circ}\text{C}$  และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยตู้อบลมร้อนมีผลผลิตข้าวรวม และผลผลิตต้นข้าวสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แต่มีค่าความขาวและความมันต่ำที่สุด ปริมาณแอมิโลสของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยตู้อบลมร้อนไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิที่เก็บรักษาในสภาวะอื่น ๆ ( $p > 0.05$ ) ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุด (Peak time) ของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยตู้อบลมร้อนไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าการแตกตัวของแป้งสูง (Breakdown viscosity) และอุณหภูมิแป้งสูงที่สุด ข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ และอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าวสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แต่มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำที่สุด

นอกจากนี้ กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์ และรดา อิมศิลป์ (2554) ยังได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้า (Circulating mixed flow technique) ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความแก่ของข้าว คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง และอุณหภูมิลมร้อนในการเก็บรักษาที่สภาวะอับอากาศ (Hot air temperature for tempering storage) เท่ากับ 21-25%, 70°C และ 50°C ตามลำดับ โดยพบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการเร่งความแก่มีปริมาณผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ความขาว ความมัน อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของข้าวสุก ปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง อุณหภูมิเริ่มต้น (Onset temperature) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature) และอุณหภูมิสุดท้าย (Conclusion temperature) เมื่อวัดด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter; DSC) สูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติและข้าวใหม่ แต่มีปริมาณของแข็งที่สูญเสีย (Solid loss) ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความเหนียว และความคงตัวของแป้งสุก (Setback viscosity) ต่ำที่สุด ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามปริมาณแอมิโลสของข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่ไม่แตกต่างกับข้าวเก่าตามธรรมชาติและข้าวใหม่ ( $p > 0.05$ ) สำหรับคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าว พบว่าค่าการแตกตัวของแป้งสุกของข้าวที่ผ่านการเร่งความแก่มีค่าต่ำที่สุด แต่ค่าความคงตัวของแป้งสุกและอุณหภูมิแป้งสุกสูงสุด อย่างไรก็ตามค่าความเหนียวสูงสุด ความเหนียวสุดท้าย และระยะเวลาที่ทำให้เกิดความเหนียวสูงสุดไม่แตกต่างกับข้าวเก่าตามธรรมชาติ ( $p > 0.05$ )

### 3.3 การเร่งความแก่ของข้าวเปลือกด้วยวิธีการทำข้าวหนึ่งบางส่วน

การทำข้าวหนึ่ง คือ การนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำเพื่อให้น้ำซึมเข้าไปในเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งพองตัว หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนซึ่งกระบวนการนี้เม็ดแป้งจะทำปฏิกิริยากับน้ำและความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า “การเกิดเจลลิตีในเซชัน” ผลจากการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้รอยแตกหรือรอยร้าวของเมล็ดข้าวหายไป ส่งผลให้ผลผลิตต้นข้าวสูงขึ้นเมื่อนำมาขัดสี หลังจากนั้นจึงนำข้าวเปลือกไปลดความชื้นจนเหลือ 14% แล้วจึงนำไปขัดสีต่อไป (ผดุงศักดิ์ วานิช ชัง, 2535, หน้า 208)

Gujral & Kumar (2003) ศึกษาการเร่งความแก่ของข้าวเปลือกที่มีอัตราความกว้างต่อความยาวต่างกัน ข้าวเปลือกทุกพันธุ์จะถูกนำมาปรับปริมาณความชื้นให้เท่ากับ 14.18 และ 22% ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ นาน 30 นาที ข้าวเปลือกจะถูกนำมาแกะเทาะเปลือกให้เป็นข้าวกล้องและข้าวสาร โดยพบว่า การให้ไอน้ำแก่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะเพิ่มความยาวและความกว้างของเมล็ดข้าว ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้ม ระยะเวลาการหุงต้ม (Cooking time) แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำ (Total soluble solid) ความแข็ง ความเหนียวติดกัน (Adhesiveness) และความเหนียว (Stickiness) ของข้าวสุกจะลดลง

ผดุงศักดิ์ วานิชชัง (2549) รายงานว่าการทำข้าวหนึ่งจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็งกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีธรรมดาเมื่ออายุการเก็บรักษาเท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความเหนียว ถึงแม้ว่ากระบวนการผลิตข้าวหนึ่งจะสามารถเร่งความแก่ของข้าวและเพิ่มปริมาณผลผลิตต้นข้าวมากกว่าการใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูง แต่มีข้อเสียคือต้องใช้เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสีย

### 3.4 การเร่งความแก่ของข้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชัน

ฟลูอิดไอเซชัน เป็นกระบวนการอบแห้งหรือลดความชื้นของวัสดุที่มีลักษณะเป็นของแข็งขนาดเล็ก เม็ดของแข็งเหล่านี้จะถูกวางไว้บนตะแกรงในห้องอบแห้ง โดยของไหลหรืออากาศร้อนจะไหลผ่านชั้นของเม็ดแข็งและไหลออกด้านบนห้องอบแห้งด้วยความเร็วระดับหนึ่ง เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดเม็ดของแข็งจะยับตัวลอยขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน มีคุณสมบัติคล้ายของไหลจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ฟลูอิดไอเซชัน” (มัทนียา เทียวชาญ, 2548, หน้า 26)

การเร่งความแก่ของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไอเซชันนั้น Taweerattanapanich, Soponronnarit, Wetchacama, Kongseree & Wongpiyachon (1999) ศึกษาผลของการเร่งความแก่ข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไอเซชันที่มีผลต่อผลผลิตต้นข้าว ความขาวของข้าวสาร และคุณภาพการบริโภคข้าวสุก พบว่าเทคนิคนี้สามารถเพิ่มผลผลิตต้นข้าวได้เมื่อทำการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 140-150°C และความชื้นข้าวเปลือกหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 23-28% (น้ำหนักแห้ง) ช่วงความชื้นเริ่มต้นข้าวเปลือกที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 30-45% ผลการทดสอบความขาวของข้าวสารอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



มัทนียา เชี่ยวชาญ (2548, หน้า ข) ศึกษาการเร่งข้าวใหม่ให้เป็นข้าวเก่าโดยใช้ข้าวหอมมะลิที่ความชื้นเริ่มต้น 21.9 และ 24.9% (มาตรฐานเปียก) ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 150°C ด้วยเทคนิคฟลูอิดไรซ์เบดรวมกับการเก็บในสภาวะอับอากาศ (Tempering) นาน 0 30 60 90 และ 120 นาที และเป่าด้วยอากาศแวดล้อม (Ventilation) 30 นาที ผลการทดลองพบว่า อัตราการยืดตัว ความขาวของข้าวสาร การขยายปริมาตร การดูดซับน้ำของข้าวสุก ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ และความหนืดของน้ำแป้งมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับข้าวที่เก็บตามธรรมชาติ ภายใต้สภาวะแวดล้อม โดยมีค่าอัตราการยืดตัว ความขาวของข้าวสาร การขยายปริมาตร การดูดซับน้ำของข้าวสุก ค่าความหนืดสุดท้าย อุณหภูมิแป้งสุก และค่าความคงตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของข้าวสุก และความหนืดสูงสุดจะลดลง

### 3.5 การเร่งความเก่าของข้าวด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง

สุนทร สืบคำ นิลุบล บินไชย และพัชรินทร์ สมเทศ (2552) ประยุกต์ใช้ความร้อนและความดันในการเปลี่ยนข้าวสารใหม่ให้เป็นข้าวสารเก่า ต่อมาจุฑารัตน์ นนทะมา วิศรุต พันหา และสุนทร สืบคำ (2553) ได้ทำการคัดเลือกและกลั่นกรองปัจจัยสำหรับกระตุ้นข้าวสารใหม่เป็นข้าวสารเก่าด้วยวิธี Plackett & Burman พบว่าหากต้องการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพข้าวภายหลังการกระตุ้นให้ข้าวสารใหม่เปลี่ยนเป็นข้าวสารเก่า 4 ปัจจัย จะมีปัจจัยที่คัดเลือกและกลั่นกรองได้ คือ อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเร็วรอบ และความดัน ขณะที่การหาผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response surface methodology) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของระบบหรือกระบวนการผลิตต่างโดยอาศัยการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ ซึ่งผลตอบสนอง (Response) ของปัญหาจะเป็นความสัมพันธ์หรือฟังก์ชันของหลายปัจจัยหรือหลายตัวแปรอิสระ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุด

Prangpru, Phimphilai & Surbkar (2011) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวสารด้วยความร้อนร่วมกับความดันสูง โดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว โดยเลือกใช้แผนการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite desing) เพื่อทำนายสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรอิสระ 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน 60-80 รอบต่อนาที และความดัน 2-10 บาร์ ต่อตัวแปรตามได้แก่ ค่าสี ค่าปริมาณแอมิโลส ระยะเวลาการให้ความร้อน ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน 30-40 รอบต่อนาที ค่าความใหม่-



เก่าของข้าว ค่าปริมาณการแตกหัก ค่าความหนืด และค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่าง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเร่งความเก่าของข้าวสาร คือ อุณหภูมิของอากาศในถังความดัน 79.19°C ระยะเวลาในการให้ความร้อน 67.88 นาที ความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของถังความดัน 33.74 รอบต่อนาที และความดัน 9.19 บาร์ เมื่อทำการทดสอบแบบจำลอง (Regression equation) เพื่อยืนยันผลที่สภาวะดังกล่าวพบว่าค่าความหนืดสุดท้าย ค่าความคงตัว และอุณหภูมิแป้งสุกแตกต่างจากค่าจริง 13.03, 13.72 และ 3.34 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทดสอบโดย Duncan's Multiple Range Test ของการพองตัวของข้าวเก่าและข้าวที่เร่งความเก่าไม่แตกต่างกัน

#### 4. ผลของการเร่งความเก่าต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าว

การเร่งความเก่าของข้าวส่วนใหญ่จะนำเทคโนโลยีทางด้านความร้อนมาประยุกต์เพื่อทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชข้าวใหม่เปลี่ยนเป็นสตาร์ชข้าวเก่า ซึ่งการนำความร้อนมาใช้ในการเร่งความเก่าของข้าวก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวที่สำคัญ ได้แก่ คุณภาพการสี คุณภาพการหุงต้ม รับประทาน และแปรรูป

##### 4.1 คุณภาพการสี

Jaiboon, Prachayawarakon, Devahastin & Soponronnarit (2009) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวเหนียวที่มีความชื้นเริ่มต้น  $28 \pm 1\%$  อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิโดซ์เบดที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 110 และ 130°C จนความชื้นลดลงเท่ากับ 23% จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศนาน 30 ถึง 120 นาที ในขั้นตอนสุดท้ายนำมาเป่าลมเย็นด้วยความเร็วลม 0.15 m/s จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ  $16 \pm 0.5\%$  ผลการทดลองพบว่าการเร่งความเก่าของข้าวเหนียวที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดแป้งโดยมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมน้อยลง เม็ดแป้งที่เปลี่ยนไปทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลดีขึ้นและส่งผลให้เมล็ดข้าวหักน้อยลง ผลผลิตต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามสีของข้าวเหนียวที่ผ่านการเร่งความเก่าที่อุณหภูมิสูงมีสีค่อนข้างคล้ำกว่าข้าวเหนียวอ้างอิง

กิตติศักดิ์ วสันตวิวงศ์ อาริรัตน์ อิมสิลป์ และปิยรัตน์ สิริวัณณิกิจ (2554) พบว่าข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าวสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แต่มีค่าความขาวและความมันต่ำที่สุด

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้งด้วยวิธีเพียร์สัน (Pearson correlation analysis) พบว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวมและผลผลิตต้นข้าว ( $r = 0.725^{**}$  และ  $0.743^{**}$ ) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความขาวและความมันของข้าวสาร ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิในการอบแห้งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว ค่าความขาวและความมันของข้าวสาร ( $r = -0.465^{**}$ ,  $-0.415^{**}$ ,  $-0.349^{**}$  และ  $-0.211^{**}$  ตามลำดับ) สำหรับระยะเวลาในการอบแห้งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทางลบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับผลผลิตข้าวรวม ผลผลิตต้นข้าว และค่าความขาว ( $r = 0.401^{**}$ ,  $-0.398^{**}$  และ  $-0.656^{**}$  ตามลำดับ) เช่นเดียวกับอุณหภูมิในการอบแห้ง แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความมันของข้าวสาร

นอกจากนี้ Rayaguru, Pandey & Routray (2011) พบว่าสภาวะการเร่งความแก่ของข้าวพันธุ์ปาสมาตีที่อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากับ  $43.4^{\circ}\text{C}$ , 71.0% และ 11.4 วัน จะให้ผลผลิตข้าวรวมและต้นข้าวสูงที่สุด

#### 4.2 ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส และน้ำตาลรีดิวซ์

Pisithkul, Jongkaewattana, Wongpornchai, Tulyathan & Meechoui (2011) ศึกษาการเร่งอายุของข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านโปรตีนของข้าวหอมที่เพิ่งเก็บเกี่ยวใหม่พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้หม้อนึ่งความดันอัตโนมัติที่อุณหภูมิ 100 110 และ  $120^{\circ}\text{C}$  นาน 100 45 และ 25 นาที ตามลำดับ พบว่าความร้อนของปัจจัยการเร่งอายุจะเพิ่มจำนวนพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างหน่วยย่อยของโปรตีนและมีผลต่อสมบัติการละลายน้ำของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโปรตีนเกิดที่ระดับโมเลกุลขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว และเป็นพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการหุงต้ม เนื้อสัมผัส และความเหนียวของข้าว

กิตติศักดิ์ วสันติวงศ์ อารีรัตน์ และปิยรัตน์ สิริธัญญิกิจ (2554) พบว่าปริมาณแอมิโลสของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยตู้อบลมร้อนไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิที่เก็บรักษานาน 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ( $p > 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับกิตติศักดิ์ วสันติวงศ์และรดา อิมศิริ (2554) ที่พบว่าปริมาณแอมิโลสของข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านการเร่งความแก่ด้วยเทคนิคการอบลดความชื้นแบบเมล็ดข้าวไหลคลุกเคล้าไม่แตกต่างกับข้าวเก่าตาม

ธรรมชาติ และข้าวใหม่ ( $p>0.05$ ) นอกจากนี้ Sermsirisophon & Kongkiattikajorn (2011) พบว่าการเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  จะมีผลทำให้น้ำตาลรีดิคซ์เพิ่มขึ้นจาก 0.19 เป็น 0.62% แต่มีค่าลดลงจาก 0.19 เป็น 0.14% เมื่อเก็บข้าวสารที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$

#### 4.3 คุณสมบัติด้านความเหนียว การหุงต้ม การรับประทานและการแปรรูป

ภูมิสิทธิ์ วรรณชารี (2545) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกโดยใช้อุณหภูมิและเวลาในการอบเป็นปัจจัยเร่ง พบว่าค่าอุณหภูมิแป้งสุก ค่าความคงตัวของแป้งสุก และความเหนียวสุดท้ายของแป้งสุกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา การใช้อุณหภูมิต่ำอบข้าวเปลือกเพื่อเร่งให้คุณสมบัติความเหนียวของน้ำแป้งเปลี่ยนจากข้าวใหม่เป็นข้าวเก่าใช้เวลาน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำอบข้าวเปลือก

พัสกร เจียรตระกูล, เมธินี เทวซึ่งเจริญ และศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ (2546) พบว่าการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 10 15 และ  $28^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง โดยไม่มีการควบคุมความชื้นของอากาศเข้า พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของข้าวกล้องและข้าวสาร โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเก็บรักษานานขึ้นความสามารถในการดูดน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ค่าความแข็งของข้าวสุกจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาด้วย โดยข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงจะมีความแข็งมากกว่าข้าวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Meullenet, Marks, Hankins, Griffin & Daniels (2000) พบว่าข้าวจะมีความเหนียวสูงสุดเมื่อเก็บรักษานาน 5 เดือน หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลา และความชื้นของข้าวเปลือกในการเก็บรักษา

Inprasit & Noomhom (2001) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวหอมมะลิโดยใช้อุณหภูมิต่ำสูงกว่า  $60^{\circ}\text{C}$  ผลการศึกษาพบว่าค่าการดูดซับน้ำ อัตราส่วนความแข็งและความเหนียวของข้าวสุกลดลง แต่ความแข็งของข้าวสุกเพิ่มขึ้น การใช้อุณหภูมิต่ำอบแห้งข้าวเปลือกแล้วเก็บไว้ในสภาวะอับอากาศ จะทำให้เม็ดแป้งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวบางส่วนสุกเป็นเจล ส่งผลให้คุณภาพข้าวสุกมีคุณสมบัติคล้ายข้าวเก่าหรือข้าวหนึ่ง

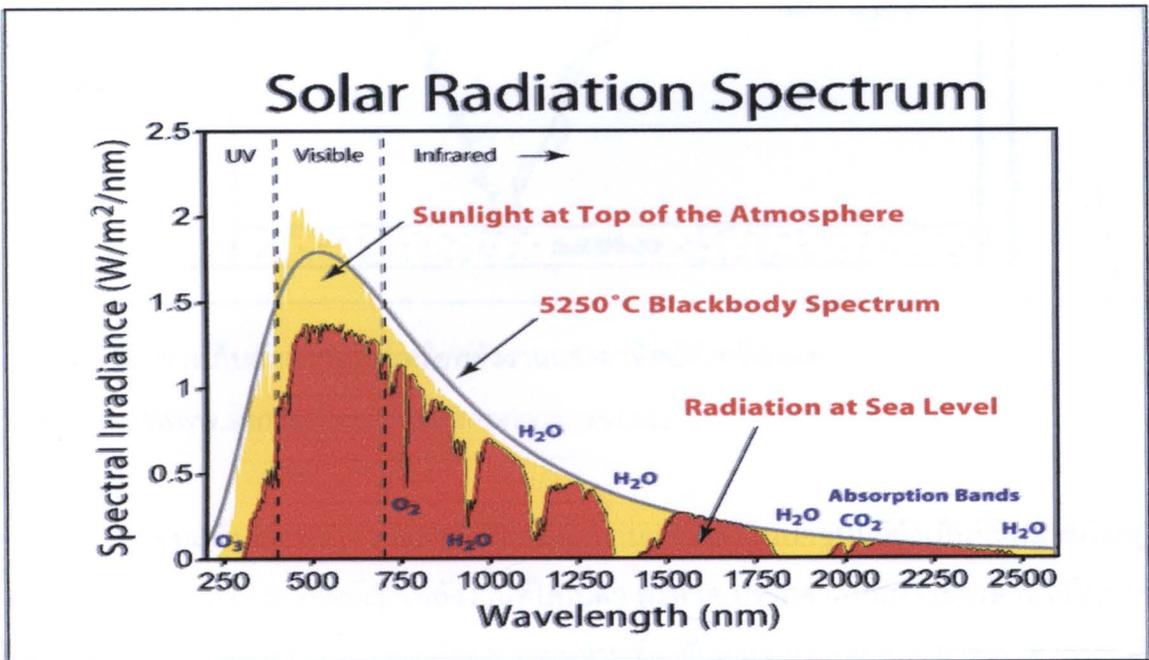
Gujral & Kumar (2003) ศึกษาการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกพันธุ์ต่าง ๆ ที่มีอัตราความกว้างต่อความยาวต่างกัน ข้าวเปลือกทุกพันธุ์จะถูกนำมาปรับปริมาณความชื้นให้เท่ากับ 14 18 และ 22% ตามลำดับ จากนั้นจึงนำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ นาน 30 นาที ข้าวเปลือกจะถูกนำมาแกะเทาะเปลือกให้เป็นข้าวกล้องและข้าวสารขาว โดยพบว่าการให้ไอน้ำแก่ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงจะเพิ่มความยาวของเมล็ดข้าว ความกว้างของเมล็ดข้าว ปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้ม ระยะเวลาการหุงต้ม และลดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลดลง ความแข็ง (Hardness) การยึดเกาะกัน (Cohesiveness) และความยืดหยุ่นของข้าวสุก (Springiness) จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความเหนียว (Stickiness) ลดลง Jaiboon, Prachayawarakon, Devahastin & Soponronnarit (2009) พบว่าการเร่งความเก่าของข้าวเปลือกเหนียวด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดจะส่งผลให้ความหนืดสูงสุดลดลง แต่ค่าความคงตัวของแป้งสุกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

กิตติศักดิ์ วสันตวิวงศ์ อาริรัตน์ อิมศิริป และปิยรัตน์ สิทธิบุญกิจ (2554) พบว่าค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และระยะเวลาที่ทำให้เกิดความหนืดสูงสุดของข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน ( $p>0.05$ ) แต่มีค่าการแตกตัวของแป้งสุกต่ำที่สุด และอุณหภูมิแป้งสุกสูงที่สุด ข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีปริมาณน้ำที่ข้าวดูดซับ และอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของเมล็ดข้าวสุกสูงกว่าข้าวหอมมะลิเก่าตามธรรมชาติอายุการเก็บรักษา 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่ใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ( $p<0.05$ ) แต่มีปริมาณของแข็งที่สูญเสียต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าความแข็งของข้าวสุกข้าวหอมมะลิที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนสูงกว่าข้าวเก่าตามธรรมชาติที่มีอายุการเก็บรักษานาน 6 เดือน และข้าวหอมมะลิใหม่ใหม่อายุการเก็บรักษา 3 เดือน และไม่เกิน 1 เดือน ตามลำดับ ( $p<0.05$ ) ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความเหนียวโดยข้าวหอมมะลิใหม่อายุไม่เกิน 1 เดือน มีค่าความเหนียวสูงที่สุดในขณะที่ข้าวหอมมะลิเก่าที่ผ่านการเร่งความเก่าด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าความเหนียวต่ำที่สุด



## 5. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลกส่วนใหญ่จะพบในรูปของคลื่นรังสีเนื่องจากรังสีคลื่นยาวนั้นจะถูกดูดกลืนไปโดยไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งการจะนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานนั้น แสงอาทิตย์จะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อน การเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของโลกและร่างกายของเรา โดยเฉพาะวัตถุที่มีสีดำจะมีคุณสมบัติการดูดกลืนแสงอาทิตย์ได้ดี ดังนั้นวัตถุที่ทาสีดำจึงถูกนำมาใช้ในการดูดซับพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหลักการของการเก็บพลังงานความร้อนจากแสงคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์ก็คือ การใช้วัตถุสีดำดูดกลืนแสงอาทิตย์ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปวัตถุสีดำนี้อาจเกิดการสะสมพลังงานความร้อนส่งผลให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นความร้อนจะถูกถ่ายเทให้แก่ น้ำและอากาศแล้วนำความร้อนจากน้ำร้อนและอากาศร้อนที่ได้ไปใช้ลดความชื้น ผลิตผลเกษตร สเปกตรัมการแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2.1

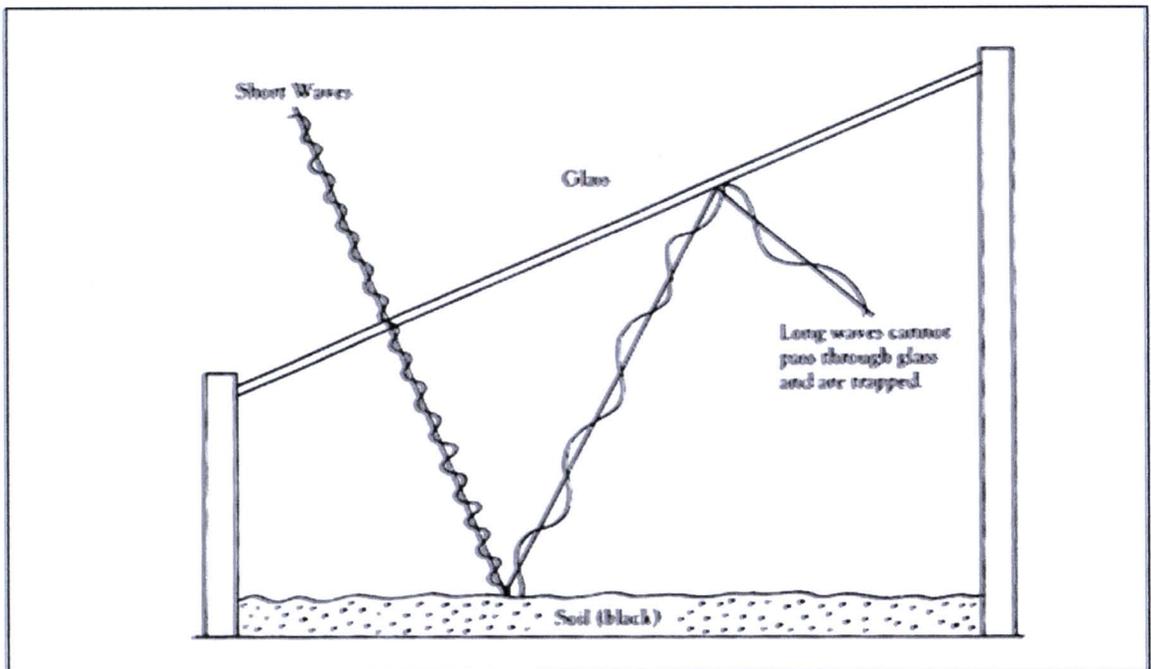


ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมการแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar\\_Spectrum.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png)

วัตถุสีดำหรือกักเก็บความร้อนนั้นจะถูกทำให้ร้อนภายใต้แสงอาทิตย์ ซึ่งวัตถุที่ร้อนจะแผ่รังสีความร้อนออกมาในรูปของรังสีคลื่นยาวและความร้อนจะถูกพาออกไปโดยอากาศรอบ ๆ ที่มา

สัมพันธ์กับวัตถุ ดังนั้นเมื่อมีการปิดทับวัตถุสีดำด้วยกระจกหรือพลาสติกใสซึ่งยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านเข้ามาได้ แต่จะกักรังสีคลื่นยาวไว้จะทำให้สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีได้ (Greenhouse effect) และภายในกรีนเฮาส์จะอุ่นเนื่องจากระบบถูกปิดกั้นด้วยกระจกหรือพลาสติกทำให้ความร้อนไม่สามารถหนีออกไปได้ (Lagging effect) ซึ่งเมื่อมีการบรรจุน้ำหรืออากาศเข้าไปภายในอุปกรณ์ตัวนี้จะถูกใช้ในการผลิตน้ำหรืออากาศร้อน การกักเก็บความร้อนด้วยวัตถุสีดำ แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การเก็บกักความร้อนหรือพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวัตถุสีดำ

ที่มา: <http://www.sunuser.co.uk/solar-principles.html>

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีมานานแล้วและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้เปล่า สะอาด ปราศจากมลภาวะ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับชนิด ความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความหนาของชั้นตากแห้ง และสภาวะอากาศ (สมชาติ โสภณธรณฤทธิ์, 2540, หน้า 269) โดยวัตถุดิบทางการเกษตรจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงจากการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ในผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์และถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ไปยังบริเวณพื้นผิวส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง (Ekechukwu & Norton, 1999, pp. 615-655) การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ก็คล้ายกับการอบแห้งโดยใช้เชื้อเพลิงอื่น ต่างกันตรงที่ว่าระดับอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้งอาจเปลี่ยนแปลง

ตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ แต่ก็สามารถปรับปรุงได้โดยเสริมด้วยพลังงานในรูปแบบอื่น ซึ่งจะทำให้ระดับอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ดังนั้นหากมองในแง่ของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลระหว่างอากาศและผลิตภัณฑ์ก็ยังคงเหมือนกับเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงอื่น (สมชาติ โสภณ ธรณฤทธิ์, 2540, หน้า 281)

### 5.1 หลักการทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นพลังงานทางเลือกที่ต้นทุนต่ำ สามารถนำมาอบแห้งหรือลดความชื้นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ แต่การที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้นั้นก็ต้องลงทุนโดยการสร้างเครื่องอบแห้ง เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวเครื่องอบแห้งและตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ตัวรับรังสีทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อนเพื่อนำมาใช้อุ่นอากาศก่อนที่จะไหลเข้าเครื่องอบแห้ง (สมชาติ โสภณ ธรณฤทธิ์, 2540, หน้า 269-279)

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกกระทบพื้นอลูมิเนียมสีดำหรือผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดรังสีทำให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงขึ้นเกิดการถ่ายโอนความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ขึ้นทำให้ น้ำที่มีอยู่ระเหยออกไปเป็นไอน้ำไหลไปกับอากาศ โดยลอยตัวไหลออกทางด้านบนของตู้อบแห้ง อากาศเย็นจากภายนอกจะไหลเข้าทางด้านหน้าส่วนล่างของตู้อบไปแทนที่อากาศร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อไป ภายในตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60°C ด้วยคุณสมบัติของกระจกที่เป็นฉนวนในช่วงคลื่นความร้อนและฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี ดังนั้น อากาศภายในตู้อบแห้งจะไหลเวียนโดยธรรมชาติตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์จนกระทั่งวัตถุดิบที่นำมาอบแห้งมีความชื้นลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งได้สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสีย ทั้งนี้ระยะเวลาของการอบแห้งนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะของวัตถุดิบที่จะนำมาอบแห้ง (กองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร, 2554, ออนไลน์)

### 5.2 กลไกของการถ่ายโอนมวลของการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเครื่องอบแห้งซึ่งใส่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งและส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน ตัวรับรังสีที่นิยมใช้เป็นแบบแผ่นเรียบซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ แผ่นปิดใสด้านบน (Cover plate) เป็นวัสดุใสที่ปิดด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่าน

เข้าไปถึงแผ่นดูดความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก ทั้งยังป้องกันการเสียหายอันอาจจะเกิดกับแผ่นดูดความร้อนด้วย ส่วนที่ 2 คือ ตัวเก็บความร้อน (Absorber) เป็นส่วนหนึ่งของแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งดูดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงกระทบและถ่ายโอนความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่านไปยังส่วนเครื่องอบแห้ง ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมักจะติดตั้งในลักษณะที่เอียงทำมุม  $14^\circ$  กับพื้นราบ

ดังนั้น ความร้อนซึ่งวัตถุดิบแห้งนำไปใช้ในการระเหยน้ำส่วนหนึ่งมาจากการที่ตัวมันดูดรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อีกส่วนหนึ่งมาจากรังสีที่ตกกระทบพื้นผิวสีดำของแผ่นดูดแล้วทำให้อากาศที่ผ่านพื้นผิวสีดำมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนไหลผ่านวัตถุแล้วลอยตัวออกทางช่องอากาศออกด้านบน เราจึงต้องการมุมเอียงของแผ่นปิดใส่ที่ทำให้ปริมาณรังสีผ่านแผ่นปิดใส่เข้าสู่ตัวเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงเป็นการเพิ่มอัตราการอบแห้ง ในขณะที่เดียวกันอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านตู้อบแห้งควรมีค่าสูงด้วย (สมยศ จรรยาวิลาส พรศักดิ์ มั่นศิริเพ็ญ และสมโภชน์ ใหญ่เอี่ยม, 2533, หน้า 4-10 และกองส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร, 2554, ออนไลน์)

วิลาวรรณ์ คำหาญ (2547) สรุปประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานของความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{solar}} \times 100$$

เมื่อ  $Q_u = mC_p (T_{F0} - T_{Fi})$

เมื่อ  $Q_u$  = พลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (J/s)

$m$  = อัตราการไหลของอากาศ (Kg/s)

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

$T_{F0}$  = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{Fi}$  = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $^\circ\text{C}$ )

โดยที่  $m = Apv$

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

โดยที่  $Q_{solar} = A_C I_T$

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

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้ง ( $\eta$ ) คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบต่อพลังงานที่ให้กับตู้อบแห้ง (Bena & Fuller, 2002, pp. 75-83) สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ

$$\eta = \frac{WL}{IA}$$

เมื่อ $\eta$	=	ประสิทธิภาพของระบบตู้อบแห้ง
$W$	=	น้ำหนักของน้ำที่ระเหยต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ( $Kg/s$ )
$L$	=	ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหย ( $J/Kg$ )
$I$	=	ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ( $J/s$ )
$A$	=	พื้นที่รับแสงของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

### 5.3 องค์ประกอบของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวเครื่องอบแห้งและตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ตัวรับรังสีทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อน นอกจากนี้ยังอาจมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น แหล่งความร้อนเสริม และพัดลม เป็นต้น สมชาติ โสภณธนฤทธิ (2540) สรุปตัวรับรังสีแบบต่าง ๆ ดังนี้

### 5.3.1 ตัวรับรังสีแบบอัดลม

ตัวรับรังสีแบบอัดลมทำด้วยฟิล์มพลาสติกซึ่งอาจมีเพียงชั้นเดียวหรือหลายชั้น ชั้นนอกมักทำด้วยพลาสติกใส ส่วนชั้นในทำด้วยพลาสติกสีดำซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นความร้อน พลาสติกใสมีคุณสมบัติที่ยอมให้รังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้นส่งผ่าน แต่ให้ผลตรงกันข้ามสำหรับความร้อนซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นยาว หรืออาจยอมให้ผ่านเป็นบางส่วนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ตัวรับรังสีแบบอัดลมจะแฟบเมื่อไม่มีอากาศไหลและจะพองตัวเมื่อเป่าลมเข้าไปในตัวรับรังสี ตัวรับรังสีแบบนี้ราคาถูกและสามารถพับหรือม้วนเก็บได้เมื่อไม่ต้องการใช้งาน อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานของพลาสติกมักจะสั้น โดยเฉพาะพลาสติกที่ไม่สามารถทนแดดเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากตัวรับรังสีแบบอัดลมมักมีความยาวค่อนข้างมาก ดังนั้นแนวตัวรับรังสีอาจเป็นแบบเหนือ-ใต้ หรือตะวันออก-ตะวันตกในกรณีที่อัลติจูด (Altitude) ของดวงอาทิตย์มีค่ามากเกือบตลอดวันอย่างเช่นประเทศใกล้เขตศูนย์สูตร มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนฟิล์มพลาสติกจะไม่แตกต่างกันมากระหว่างสองกรณี ทำให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันมากนัก

### 5.3.2 ตัวรับรังสีแบบรูปทรงสามเหลี่ยม

ตัวรับรังสีทำด้วยฟิล์มพลาสติกใสยึดติดบนโครงแข็งซึ่งมีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยม ภายในมีพลาสติกสีดำทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนรังสี หลักการทำงานของตัวรับรังสีแบบนี้คล้ายกับของตัวรับรังสีแบบอัดลม

### 5.3.3 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ 1) แผ่นดูดรังสีซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่าน 2) แผ่นปิดใสซึ่งอยู่บนสุดทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อน โดยการไม่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านแผ่นปิดใส และ 3) ฉนวนความร้อนอยู่ส่วนล่างสุดของตัวรับรังสีทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของตัวรับรังสี ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบอาจมีแผ่นปิดใสหลายชั้นซึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นหรืออาจไม่มีแผ่นปิดใส ซึ่งทำให้ตัวรับรังสีมีต้นทุนต่ำและสร้างได้ง่ายแต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะต่ำ ตัวรับรังสีบนแผ่นเรียบมักจะติดตั้งในลักษณะที่เอียงทำมุมกับพื้นราบเท่ากับมุมของเส้นรุ้ง เบียงเบนได้  $\pm 15^\circ$  และหันหน้าไปทางทิศใต้ เบียงเบน

ได้  $\pm 30^\circ$  สำหรับพื้นที่ในเขตเหนือเส้นศูนย์สูตร ลักษณะการติดตั้งดังกล่าวจะทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับโดยเฉลี่ยทั้งปีสูงสุด

#### 5.3.4 ตัวรับรังสีบนเครื่องอบแห้ง

ตัวรับรังสีติดตั้งบนผนังของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชรูปทรงกระบอก พื้นที่ที่ติดตั้งตัวรับรังสีเท่ากับประมาณสองในสามของพื้นที่ผนังทั้งหมด และหันหน้าไปทางทิศใต้สำหรับประเทศในเขตเหนือเส้นศูนย์สูตร การติดตั้งตัวรับรังสีบนผนังของเครื่องอบแห้งทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้โดยการใช้ผนังของเครื่องอบแห้งเป็นตัวดูดรังสีแล้วปิดด้วยแผ่นปิดใส วิธีนี้อาจจะไม่เหมาะสมกับบ้านเราเนื่องจากอัลติจูดของดวงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่มีค่ามาก ทำให้มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนตัวรับรังสีซึ่งติดอยู่บนผนังของเครื่องอบแห้งมีค่ามาก มีผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำ

#### 5.3.5 ตัวรับรังสีบนหลังคาและผนังของโรงเรือน

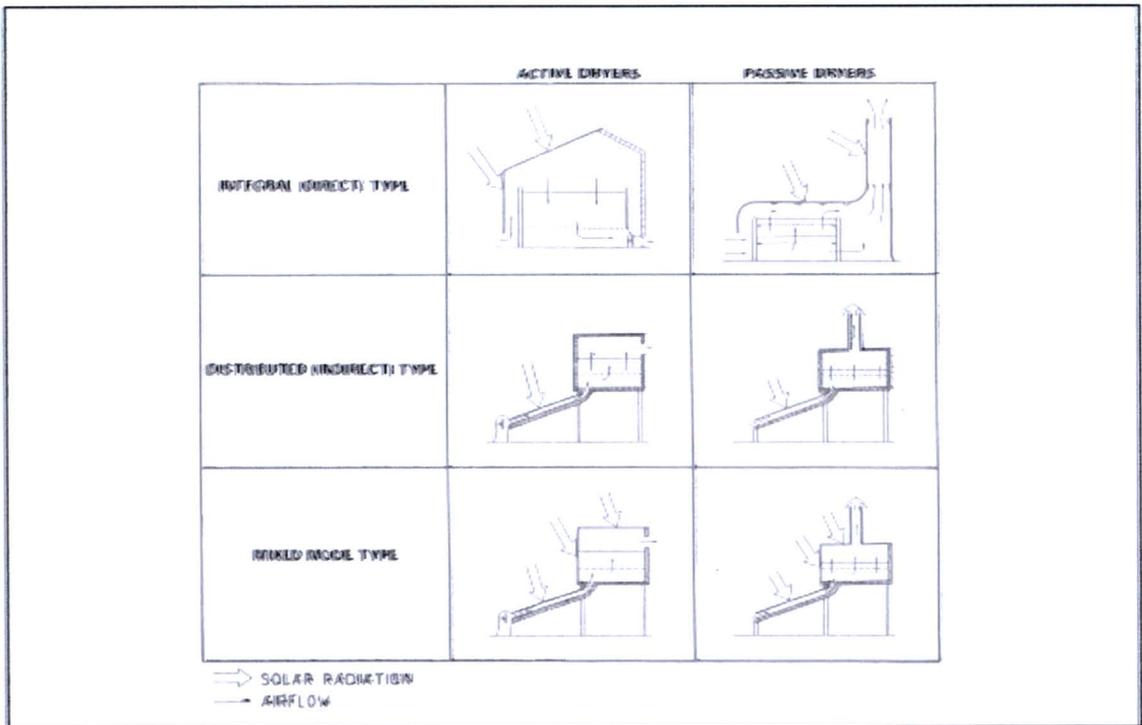
วัตถุประสงค์ของตัวรับรังสีแบบนี้เหมือนกับตัวรับรังสีบนเครื่องอบแห้ง คือต้องการลดต้นทุน ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาน่าจะเหมาะสมกับบ้านเรา ซึ่งอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีค่ามาก ทำให้มุมตกกระทบของดวงอาทิตย์บนตัวรับรังสีซึ่งติดตั้งอยู่บนหลังคามีน้อย มีผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าสูง

#### 5.3.6 ตัวรับรังสีและตัวเก็บความร้อน

ตัวรับรังสีและตัวเก็บความร้อนเป็นหน่วยเดียวกัน ตัวเก็บความร้อนสร้างจากชั้นหินก้อนเล็ก ๆ ซึ่งทาสีดำตรงด้านที่รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบ ด้านบนสุดปิดด้วยแผ่นปิดใส อากาศจะไหลผ่านชั้นหินก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง ตัวเก็บความร้อนแบบนี้ทำหน้าที่ปรับให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์) ของอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้งลดลง Soponronnarit (1982) ทดลองอบแห้งข้าวฟ่างแบบถึงเก็บด้วยแสงอาทิตย์ และมีตัวเก็บความร้อนทำหน้าที่ลดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง พบว่าตัวเก็บความร้อนไม่ได้ช่วยให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลมร้อนจากตัวรับรังสีโดยตรง การอบแห้งทั้ง 2 กรณีใช้พื้นที่ตัวรับรังสีและอัตราการไหลของอากาศเท่ากัน

5.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ปัจจุบันสามารถแบ่งได้ 2 แบบ เมื่อพิจารณาจากรูปแบบการให้ความร้อน (Heating modes) คือ 1) ระบบอบแห้งที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง หรือการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ (Passive solar-energy drying system or natural-circulation solar drying systems) และ 2) ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ หรือเป็นการไหลของอากาศแบบบังคับ (Active solar-energy drying system or hybrid solar dryers) เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบ พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลมและห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ความชื้นถูกกำจัดออกจากผลิตภัณฑ์สู่ภายนอกทำให้ผลิตภัณฑ์อบไว้แห้งได้ นอกจากนี้แต่ละระบบของการอบแห้งยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ระบบ คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสมบูรณ์ (Integral-type solar dryer) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Distributed-type solar dryer) และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Mixed-mode solar dryer) (Ekechukwu & Norton, 1999, pp. 615-655) ประเภทของการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ประเภทของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)

#### 5.4.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ

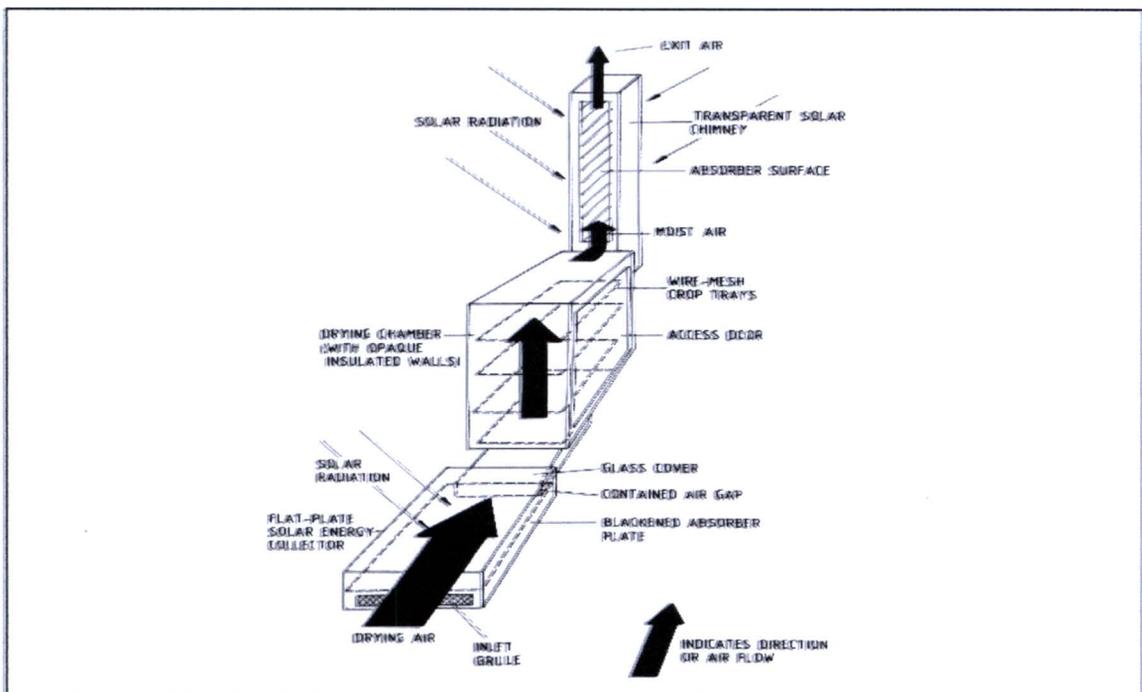
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ มีต้นทุนการผลิตต่ำและง่ายต่อการดูแลรักษา แต่มีข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากเพราะความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนต่ำเนื่องจากการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ นอกจากนี้ประสิทธิภาพการอบแห้งอาจลดลงเนื่องจากบางส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาใช้เหนี่ยวนำการไหลของอากาศและตัวผลิตภัณฑ์เองเป็นตัวดูดซับซึ่งอาจจะไม่เป็นตัวดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ดี ดังนั้นจึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ด้วยการเพิ่มแผงรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat plate) ที่ต่อติดอยู่กับส่วนที่เป็นห้องอบแห้ง หรือ ถ้าเป็นการอบแห้งขนาดใหญ่ควรใช้พัดลมช่วยในการขับอากาศ เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีสูงขึ้น (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540, หน้า 269-297)

Exell, Kornsakoo & Thiratrakoolchai (1979) ออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ทำด้วยแถบแผ่นสีดำโรยอยู่บนพื้นดินและปิดด้วยฟิล์มพลาสติกใสโดยใช้โครงไม้ไผ่เป็นตัวรองรับ กระบะใส่ข้าวเปลือกทำด้วยไม้และมีฟิล์มพลาสติกใสปิดอยู่ด้านบน และปล่องลมทำด้วยโครงไม้ไผ่และหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกสีดำ รังสีจากดวงอาทิตย์จะส่งผ่านมายังพลาสติกใส และถูกดูดกลืนโดยแถบแผ่นสีดำแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน อากาศภายในตัวรับรังสีก็จะร้อนขึ้นและไหลผ่านชั้นข้าวเปลือก เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นระหว่างอากาศและข้าวเปลือก ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำลง ข้าวเปลือกที่อยู่ชั้นบนสุดได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงด้วย ดังนั้นข้าวเปลือกส่วนนี้จึงแห้งเร็วกว่าชั้นที่อยู่ลึกลงไป ลมร้อนที่มีอัตราส่วนความชื้นสูงจะไหลออกจากเครื่องอบแห้งทางปล่องลมซึ่งช่วยเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ การไหลของอากาศอาจเพิ่มขึ้นได้ถ้ามีลมพัดเข้าตรงช่องทางเข้าของตัวรับรังสี

อย่างไรก็ตาม Exell (1986) สรุปผลการทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวในไร่นาพบว่ามีปัญหาเรื่องการเสื่อมคุณภาพของพลาสติกและชาวนาต้องการความจุในการอบแห้งแต่ละครั้งสูงกว่านี้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มส่วนของปล่องเพื่อช่วยเพิ่มการไหลของอากาศภายในตู้อบ (Thermosiphoning) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของตู้อบ เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็น

แบบการกระจายตามธรรมชาติ (Distributed-type natural-circulation solar-energy dryers) Norton & Probert (1984) พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบการกระจายตามธรรมชาตินั้น ผลผลิตทางการเกษตรจะถูกวางบนชั้นภายในกล่องมืดซึ่งมีอากาศร้อนไหลหมุนเวียนอยู่ภายในกล่อง ความร้อนจะทำให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงและเคลื่อนที่ออกทางปล่องด้านบน แสดงดังภาพที่ 2.4

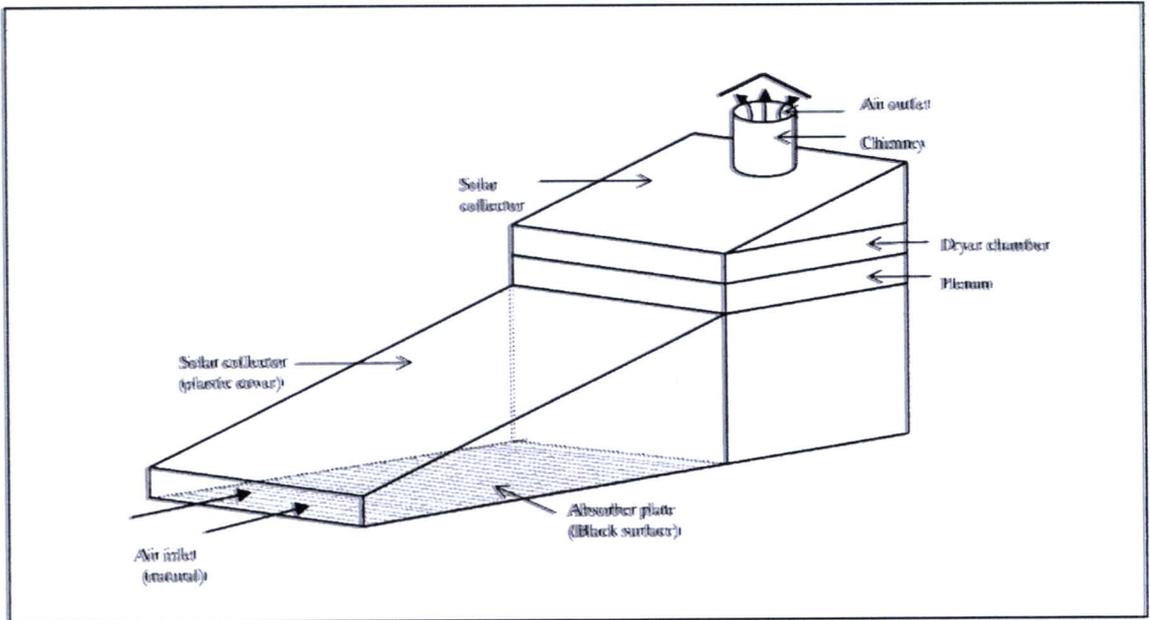
Ekechukwu (1987) รายงานว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบการกระจายตามธรรมชาติมีข้อดี คือ รังสีแสงอาทิตย์ไม่ได้ส่องผ่านด้านบนของเครื่องโดยตรง ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาคาลาเมลไรเซชัน (Caramelization) ในผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบ ดังนั้น เครื่องอบชนิดนี้จึงเหมาะกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เสื่อมเสียง่าย (Perishable agricultures) และผลไม้อบแห้งที่ต้องการรักษาคุณภาพทางด้านสีและวิตามินไม่ให้สูญเสียไปในระหว่างการอบแห้ง อย่างไรก็ตามเครื่องอบแห้งชนิดนี้มีข้อเสีย คือ จะมีการสะสมของอุณหภูมิตั้งแต่เครื่องอบแห้งทำให้ยากต่อการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่



ภาพที่ 2.4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบการกระจายตามธรรมชาติ

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)

Basunia & Abe (2001) ได้พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มส่วนของปล่อง และอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในการอบแห้งมีค่าระหว่าง  $22.3-34.9^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง  $34.5-57.9\%$  ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งข้าวเปลือกที่ดี



ภาพที่ 2.5 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผงรับรังสีและปล่อง

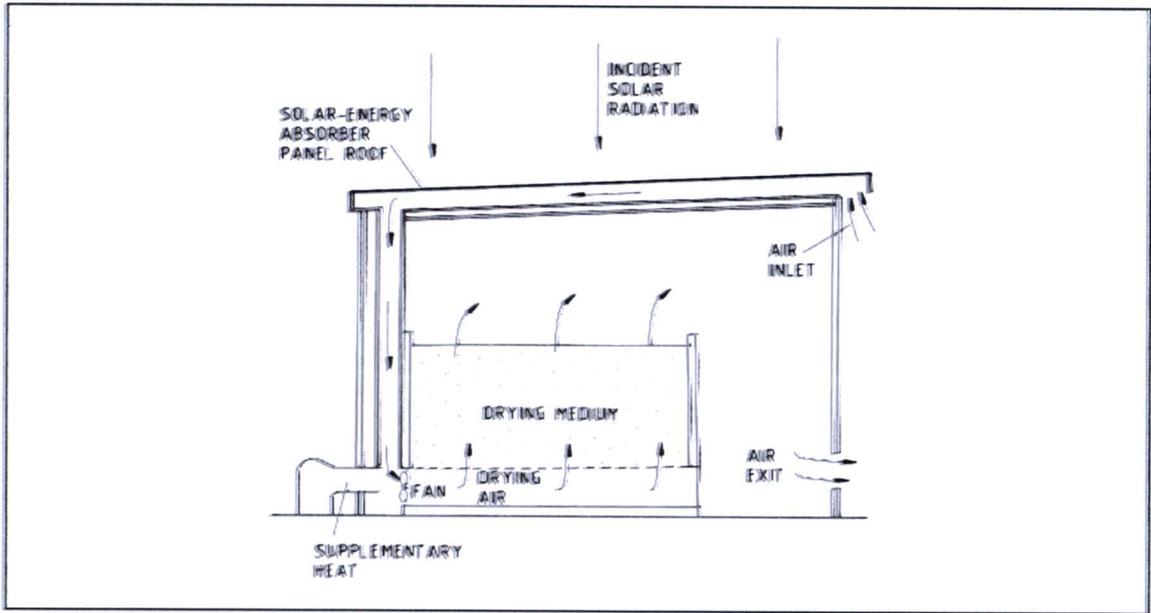
ที่มา: Basunia & Abe (2001, pp. 295-301)

#### 5.4.2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ

เครื่องอบแห้งแบบนี้เหมาะกับการใช้งานขนาดเล็กและใหญ่ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าสูงเนื่องจากสามารถกำหนดอัตราการไหลของอากาศให้มีค่าสูงพอ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ซึ่งอัตราการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่อัตราการไหลของอากาศจะต่ำเมื่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีมีค่าต่ำด้วย (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540, หน้า 269-297)

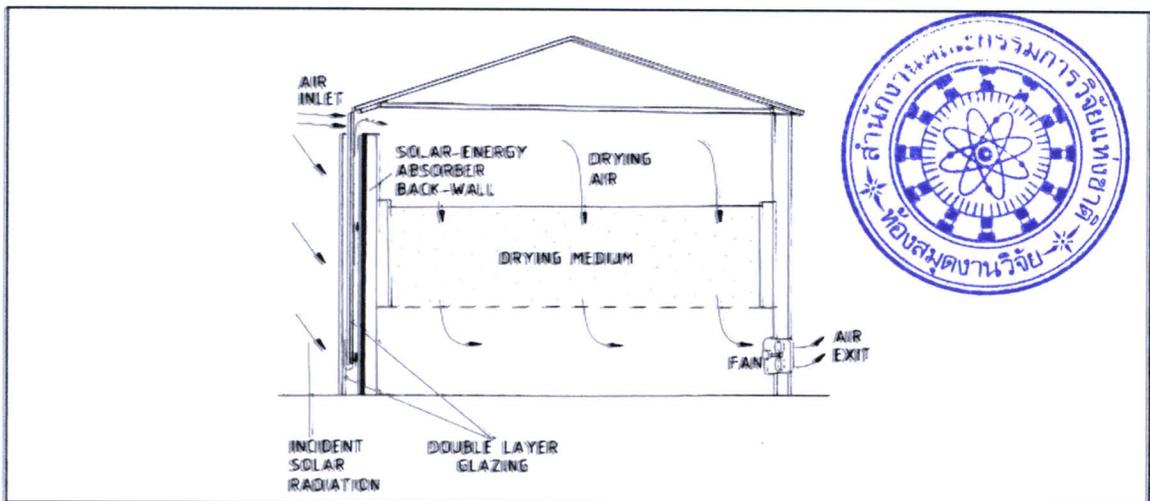
เครื่องอบแห้งประเภทนี้ประกอบด้วยตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (Flat-plate solar air collector) ซึ่งทำให้อากาศร้อนขึ้น อากาศร้อนจะถูกพัดลมแบบเหวี่ยงดูดผ่านตัวรับรังสีเข้าสู่ห้องอบแห้ง ในบางกรณีตัวเก็บความร้อนอาจเป็นส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของหลังคาอบแห้งหรือ

ผนังก็ได้ แสดงดังภาพที่ 2.6 และ 2.7 ภายในห้องอบแห้งอาจให้อากาศผ่านตาตอย่างง่าย ๆ หรือให้อากาศไหลวนอย่างซับซ้อน ถ้าต้องการให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้และผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้ง (Ekechukwu & Norton, 1999, pp. 615-655)



ภาพที่ 2.6 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศที่มีหลังคาเป็นตัวเก็บความร้อน

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)



ภาพที่ 2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศที่มีผนังเป็นตัวเก็บความร้อน

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)

Soponronnarit & Tiansuwan (1984) ทำการสร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ ตัวรับรังสีติดตั้งจากหลังคาโรงเรือนโดยใช้เหล็กชุบสังกะสี ลูกฟูกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาทำหน้าที่เป็นตัวดูดรังสีดวงอาทิตย์ การออกแบบนี้ไม่ใช้แผ่นใสปิดด้านบน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้สร้างได้ง่ายและมีราคาถูก ด้านล่างของตัวดูดรังสีติดตั้งโคมหนา 25 มิลลิเมตร บนไม้ไผ่อัด ทำให้เกิดช่องว่างของอากาศระหว่างตัวดูดรังสีและโคมที่มีระยะห่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 20 มิลลิเมตร อากาศจะถูกดูดโดยพัดลมผ่านช่องว่างดังกล่าวและถูกทำให้ร้อนขึ้น อากาศร้อนที่ออกจากตัวรับรังสีจะถูกเป่าเข้าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นเมล็ดพืชอยู่กับที่ในแนวตั้ง พื้นที่ตัวรับรังสีประมาณ 18 ตารางเมตร จากผลการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก 900 กิโลกรัม ในเดือนกรกฎาคม และกุมภาพันธ์โดยใช้อากาศร้อนจากตัวรับรังสี แสดงให้เห็นว่าสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกจาก 22% เหลือ 16% มาตรฐานแห้งภายในเวลา 1 วัน พัดลมที่ใช้เป็นแบบเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหน้าและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1.5 กิโลวัตต์

Soponronnarit, Watabutr, Therdyothin & Kunjara (1986) ออกแบบและทดสอบเรือนอบแห้งและเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ที่บ้านชาวนาในเขตอำเภอ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ซึ่งทำนาปีละ 2 ครั้ง มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 20 ไร่ ได้ผลผลิตข้าวเปลือกประมาณ 13 ตันต่อหนึ่งฤดูเพาะปลูก ตัวเรือนทำด้วยโครงไม้เนื้อแข็ง ผนังทาสีด้านทำด้วยกระเบื้องกระดาศที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร พื้นแผ่นเหล็กเจาะรูวางอยู่บนโครงคร่าวไม้ซึ่งถายน้ำหนักลงบนตงและคานไม้ที่รองรับด้วยเสาจำนวน 6 ต้น หลังคาทำด้วยแผ่นเหล็กชุบสังกะสีลอนใหญ่มีขนาดพื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ 18.6 ตารางเมตร เอียง  $9.5^{\circ}$  หันหน้าไปทางทิศใต้ ด้านล่างของหลังคาบุด้วยโคมหนา 25 มิลลิเมตร วางห่างจากตัวหลังคาเฉลี่ย 20 มิลลิเมตร อากาศร้อนไหลผ่านช่องว่างนี้จากด้านบนของหลังคาลงด้านต่ำผ่านกรวยสังกะสีเข้าพัดลม แล้วไหลเข้าทางด้านล่างของห้องแห้งขนาด 2.4 เมตร x 3.6 เมตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ห้อง คือ 1.2 x 2.4 เมตร และ 2.4 x 2.4 เมตร หรืออาจใช้ห้องใหญ่เก็บรักษาข้าวและใช้ห้องเล็กเป็นห้องอบแห้ง เมื่อการอบแห้งของฤดูนั้นสิ้นสุดลงจะสามารถใช้ห้องทั้งสองเป็นห้องเก็บข้าวได้ ซึ่งมีความจุประมาณ 10 ตัน พัดลมที่ใช้เป็นพัดลมแบบเหวี่ยงแบบใบพัดโค้งหน้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเท่ากับ 0.3 เมตร ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 3.73 กิโลวัตต์ โดยทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ที่ประมาณ 1,200-1,500 rpm และความเร็รรอบพัดลมประมาณ 1,500-1,900 rpm ซึ่งจะใช้กำลังงานของต้นกำลัง ประมาณ 2.2-2.9 กิโลวัตต์ หรืออาจใช้เครื่องยนต์ของรถไถเดินตามหรือมอเตอร์ไฟฟ้า

จากการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก 1 ตัน (น้ำหนักหลังอบแห้ง) จากความชื้น 21% เหลือ 14.5% มาตรฐานเปียกพบว่าจะต้องใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 10.2 และ 21.7 ชั่วโมงสำหรับข้าวนาปี (เก็บเกี่ยวในฤดูแล้ง) และข้าวนาปรัง (เก็บเกี่ยวในฤดูฝน) ตามลำดับ และสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์เฉลี่ยเท่ากับ 7.3 และ 13.5 ลิตร หรือเท่ากับ 49 และ 90 บาท สำหรับข้าวนาปีและข้าวนาปรัง ตามลำดับ และจากการทดสอบการเก็บรักษาข้าวเปลือก จำนวน 7 ตัน เป็นระยะเวลา 5 เดือน พบว่าข้าวที่เก็บรักษาไว้ยังคงมีคุณภาพดี

โกวิท พัววิไล (2525) ได้พัฒนาเครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ พัดลมดูดอากาศ แผงรับแสงอาทิตย์ และตู้อบข้าวเปลือก โดยมีท่อ พี.วี.ซี. เป็นท่อส่งผ่านอากาศ แผงรับแสงอาทิตย์มีขนาด 1 ตารางเมตร และตู้อบข้าวเปลือกมีขนาด 1 x 1 x 0.60 เมตร จากผลการทดลองอบข้าวเปลือกจำนวน 50 กิโลกรัม โดยมีอัตราการไหลของอากาศที่เข้าอบข้าวเปลือก 273.15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (329.29 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และอุณหภูมิของอากาศที่เข้าอบข้าวเปลือกประมาณ 31.0 – 40.9°C อบข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มแรก 21 – 23% มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบประมาณ 2.75 – 4.25 ชั่วโมง ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 16.3% มาตรฐานแห้ง และมีอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 1.57% มาตรฐานแห้งต่อชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าค่าการเปรียบเทียบความชื้นของข้าวเปลือก และอัตราการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่เวลาใด ๆ มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่ค่าการเปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากตู้อบข้าวเปลือก และประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐกิจของเครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องอบข้าวเปลือกโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พบว่า ค่าใช้จ่ายในการอบข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบข้าวเปลือกพลังงานแสงอาทิตย์มีราคา กิโลกรัมละ 0.1611 บาท ซึ่งสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการอบข้าวเปลือกโดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิง กิโลกรัมละ 0.0135 บาท

มานิจ ทองประเสริฐ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ สุวิทย์ บุญยวานิชกุล และจรูญ มหิธาพองกุล (2528) ทำการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยแสงอาทิตย์ขนาด 1.2 ตัน ที่บ้านเกษตรกร ตั้วรับรังสีดวงอาทิตย์ดัดแปลงจากหลังคาโรงเรือนโดยใช้เหล็กชุบสังกะสีผูกทำหน้าที่

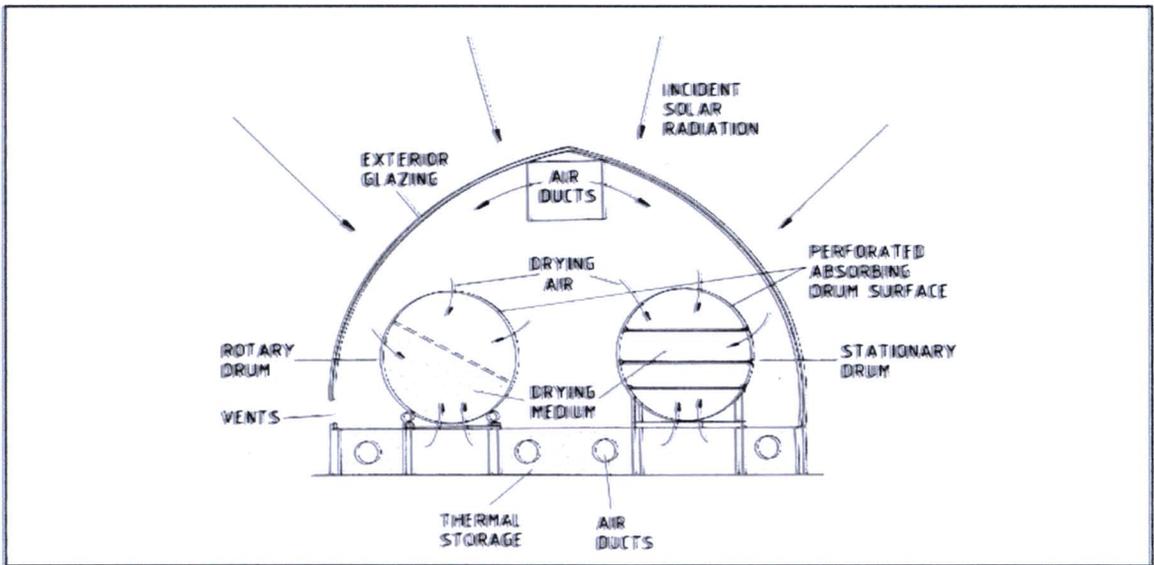
เป็นตัวดูดรังสี ด้านบนปิดด้วยกระจกใส ด้านล่างปิดด้วยซีเมนต์แอสเบสตอส อากาศไหลระหว่างแผ่นดูดรังสีและกระจก โดยใช้พัดลมเป็นตัวดูดแล้วเป่าเข้าห้องอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่าสามารถอบแห้งข้าวเปลือกจากความชื้น 12-17% เหลือ 14% มาตรฐานเปียกภายในเวลา 1-4 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เท่ากับ  $0.82 \text{ kg/s}$  หรือ  $0.049 \text{ kg/s-m}^2$  ตัวรับรังสี ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแปรระหว่าง 40-70% สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับพัดลมเฉลี่ยเท่ากับ 7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต่อการอบแห้งข้าวเปลือก 1 ตัน

Thongprasert, Thongprasert, Boonyaranichkul & Mahittatngkul (1985) ศึกษาพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยน้ำกับอากาศซึ่งประกอบด้วยแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ขนาด  $3.74 \times 4.48$  เมตร มีพัดลมดูดอากาศร้อนผ่านชั้นของข้าวเข้าไปในถัง จากการนำเครื่องอบไปทดสอบอบข้าว 1 ตัน จากความชื้น 17-21% มาตรฐานเปียกให้ลดเหลือ 14% มาตรฐานเปียก ภายใน 1-4 วัน ต่อการอบ 1 งวด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจพบว่าเครื่องอบนี้จะคุ้มต่อการลงทุนถ้าพิจารณาในเรื่องของการสูญเสียเมล็ดข้าว เมื่อเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ

Praditwong & Janjai (1990) ได้พัฒนาตู้เก็บและอบข้าวแห้งที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ลักษณะของตู้เป็นทรงกระบอกก่อด้วยอิฐบล็อกพิเศษซึ่งออกแบบโดย สถาพร เขียวมล (2529) อิฐบล็อกดังกล่าวสามารถสร้างเป็นตู้เก็บข้าวได้โดยที่ไม่อาศัยโครงสร้างของเหล็กหรือปูนซีเมนต์เชื่อมต่อทำให้สะดวกและเป็นการประหยัดแรงงานในการก่อสร้าง ซึ่งตัวตู้แบ่งเป็น 2 ชั้น โดยที่ชั้นบนใช้สำหรับอบข้าวและชั้นล่างใช้เป็นที่สำหรับเก็บข้าวที่อบแห้งแล้วโดยไม่ต้องเสียแรงงานในการขนย้ายข้าวที่อบเสร็จแล้ว ส่วนของอากาศร้อนได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์แบบไม่มีกระจกปิดขนาดพื้นที่ 30 ตารางเมตร อากาศร้อนจากแผงรับแสงจะถูกดูดโดยเครื่องเป่าอากาศซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ และเป่าอากาศร้อนผ่านมวลข้าวจากด้านล่าง ตู้ข้าวนี้ใช้อบข้าวได้ครั้งละ 1-2 ตัน และเก็บข้าวแห้งได้ 5 ตัน เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายรายปี (Annual cost analysis) พบว่าตู้เก็บและอบข้าวแห้งนี้จะคุ้มทุนภายในเวลา 5-8 ปี

นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับยังถูกปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น เช่น เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก (Internal-absorber-chamber greenhouse dryers) และ

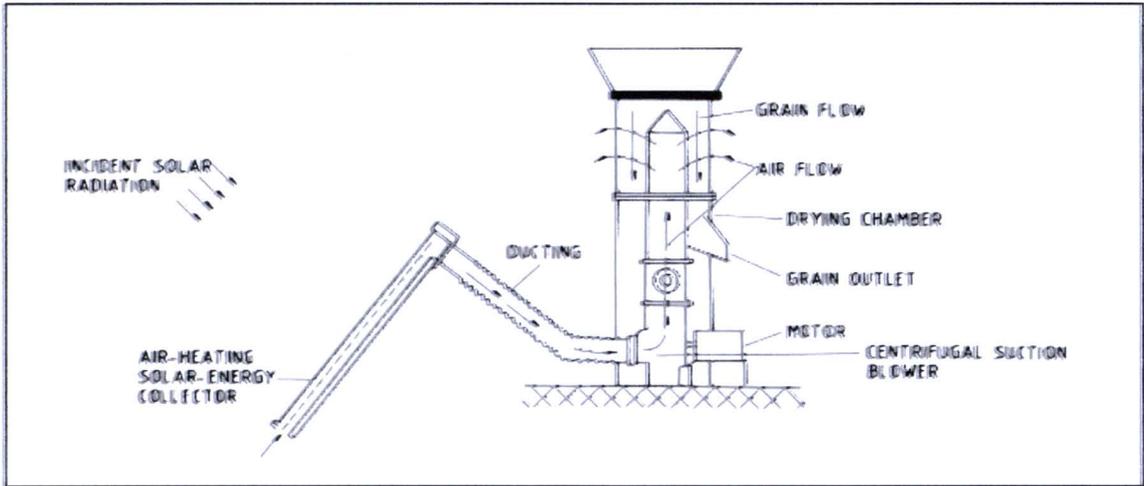
เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เป็นต้น หลักการของเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก คือ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าไปภายในจะถูกผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเรือนกระจกดูดกลืนรังสีแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน วัสดุภายในโรงเรือนจะแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา แต่ไม่สามารถผ่านกระจกออกมาภายนอกได้ ทำให้อุณหภูมิในเรือนกระจกสูงขึ้นและถ่ายโอนความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ (Ekechukwu & Norton, 1999, pp. 615-655) แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)

สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมจะออกแบบโดยอาศัยเทคนิคระหว่างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสมบูรณและแบบกระจาย ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ ตัวกักเก็บความร้อน (Air-heating solar-energy collector) ท่อนำอากาศร้อน (Air ducting) ห้องอบ (Drying chamber) และพัดลมหรือปั๊มซึ่งทำหน้าที่กระจายลมร้อน เช่นเดียวกับเครื่องอบแห้งแบบกระจาย อย่างไรก็ตามห้องอบแห้งจะถูกเคลือบให้มันวาวเพื่อที่ผลิตภัณฑ์จะสามารถดูดรังสีแสงอาทิตย์ได้โดยตรงเหมือนกับเครื่องอบแห้งแบบสมบูรณ ลักษณะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม

ที่มา: Ekechukwu & Norton (1999, pp. 615-655)