

บทที่ 1

บทนำ

มนุษย์ใช้รังสีจากดวงอาทิตย์ในการอบแห้งอาหารมานานแล้ว แม้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องอบแห้งลมร้อน (hot air oven) เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (fixed-tray drier) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel drier) หรือ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray drier) เป็นต้น แต่พลังงานแสงอาทิตย์ยังคงเป็นแหล่งพลังงานอันหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นพลังงานที่ได้เปล่าตามธรรมชาติ ไม่มีวันหมดและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Basunia and Abe, 2001) การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร โดยการตากแดดจะทำให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง (สมยศ จรรยาวิลาสและคณะ, 2533) ผลิตภัณฑ์มีสิ่งปนเปื้อนจากลม ฝน และแมลง (Esper and Mühlbauer, 1998; Ong, 1999) อัตราการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอเมื่อมีการอบแห้งที่สูงหรือต่ำเกินไปซึ่งอาจเกิดจากแสงแดดหรือฝน (Ong, 1999) เวลาที่ใช้สำหรับการตากแดดขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณความชื้นของผลิตผลทางการเกษตร ความหนาของชั้นตากแห้งและสภาวะภูมิอากาศ แม้ว่าการตากแห้งจะได้ผลดี แต่ในบางครั้งเกษตรกรประสบปัญหาผลิตผลไม่แห้งเท่าที่ควร ทำให้ผลิตผลเสียหายจากจุลินทรีย์และอาจมีสารพิษสูงเกินมาตรฐาน (สมยศ จรรยาวิลาส และคณะ, 2533)

การศึกษาการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แทนการใช้พลังงานอย่างกว้างขวางในประเทศต่าง ๆ เช่น การอบแห้งถั่วพิทาชิโอในประเทศตุรกีและอิหร่าน (Midilli, 2001; Midilli, 2003 ; Ghazanfari, 2003) การอบแห้งองุ่นในประเทศอินเดีย บราซิล (Pangavhane and Sawhney, 2002) การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เช่น พริก พริกไทย กาแฟ เมล็ดพืช เป็นต้นและสัตว์น้ำในประเทศฟิลิปปินส์ (Ong, 1999) การอบแห้งมะม่วงในประเทศมาลาวี (Madhlopa *et al.*, 2002) เป็นต้น ผลิตผลทางการเกษตรที่มีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถขายในช่วงนอกฤดูทำให้ได้กำไรมากขึ้น ถึงแม้ว่าในช่วงฤดูผลิตผลทางการเกษตรที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถขายได้ในราคาที่สูงกว่าการอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์โดยตรง เป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรเนื่องจากการลดปริมาณและการลดลงของน้ำหนักในผลิตภัณฑ์เป็นการลดค่าขนส่งผลิตภัณฑ์ไปในพื้นที่ห่างไกลทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาที่สูงขึ้นได้ (Singh *et al.*, 2004) ประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 17 MJ/day.m^2 เป็นศักยภาพที่เพียงพอในการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในกระบวนการอบแห้ง (สรญา ยงประยูร, 2548) การออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นทางเลือกหนึ่ง

น่าสนใจศึกษา เพื่อลดปัญหาการสูญเสียผลิตผลทางการเกษตร (วัฒนา วิริวุฒิก, 2541) ได้มีการศึกษา เรื่องการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีแสงอาทิตย์เป็นเวลากว่า 20 ปีมาแล้ว ผลปรากฏว่ามีเกษตรกรจำนวนหนึ่งยอมรับเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แล้วแม้ว่ายังเป็นส่วนน้อยก็ตาม (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2540) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีการศึกษาการออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการควบคุมการไหลของอากาศและศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานะที่มีและไม่มีการอบแห้งตัวอย่าง ซึ่งการทดลองนี้เป็นการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการออกแบบง่าย วัสดุที่ใช้ในการสร้างตู้อบเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและมีอยู่ในท้องถิ่น ง่ายต่อการสร้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรหากนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

ตรวจเอกสาร

น้ำในอาหาร

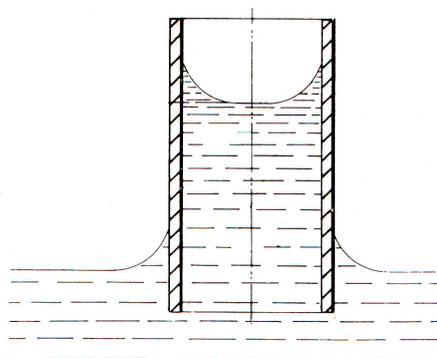
อาหารแต่ละชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ น้ำจึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของอาหาร ทำให้อาหารเกิดปฏิกิริยาเคมีและทางชีวเคมีและมีผลทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นการชะลอการเน่าเสียของอาหารจึงใช้วิธีลดปริมาณน้ำในอาหารให้น้อยลง ทำให้น้ำไม่เพียงพอสำหรับใช้ในปฏิกิริยาเคมีและยังชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนั้นเมื่ออาหารมีปริมาณน้ำลดน้อยลงจะทำให้ตัวถูกละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นด้วย ซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่ใช้ในการถนอมอาหารด้วยวิธีการต่าง ๆ (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545)

น้ำในอาหารมีอยู่ในรูปที่แตกต่างกัน แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545)

1. **Monolayer water (very tightly bound หรือ true bond water หรือ Langmuir)** เป็นน้ำที่มีความคงตัวสูงมาก สามารถยึดเกาะได้อย่างเหนียวแน่น มีระเบียบและมีรูปทรง (rigid)

2. **Capillary water** เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่อ การเคลื่อนที่ของน้ำชนิดนี้จะเคลื่อนที่ภายในช่องแคบเล็ก ๆ ระหว่างโครงสร้างของของแข็ง ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับแรงที่ทำให้เกิดการไหลและแรงต้านความหนืด และเมื่อโครงสร้างของเนื้อเยื่อถูกทำลายจะทำให้เนื้อเยื่อหดตัวและยุบซึ่งจะทำให้สูญเสียปริมาตร (Van Arsdell, 1973) ดังแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนั้น capillary water ยังมีบทบาทต่อการเกิดฮิสเทอรีซิส (hysteresis) ในอาหารด้วย (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2545)

3. **Free water (loosely bound water)** เป็นน้ำที่อยู่ในรูปอิสระและเป็นน้ำที่อยู่ในรูปตัวทำละลายได้ เนื้อสัตว์ต่าง ๆ มีปริมาณน้ำอิสระ ร้อยละ 30 – 50 ของน้ำทั้งหมด ซึ่งสามารถระเหยได้เมื่อมีการให้ความร้อนในขณะการอบแห้ง (Geankoplis, 1987)



ภาพที่ 1 การไหลของของเหลวแบบ capillary

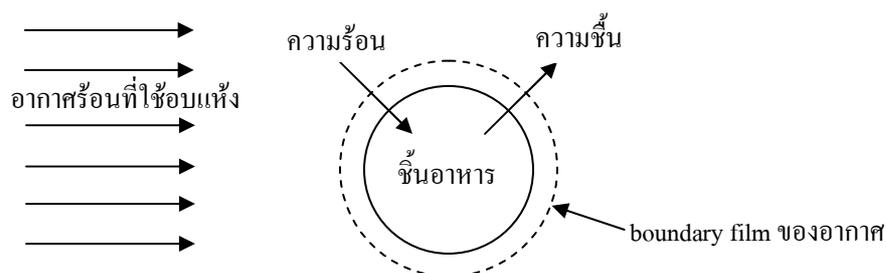
Rise of liquid in a capillary

ที่มา : Van Arsdel (1973)

การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการใช้ความร้อนในการแยกน้ำออกจากอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการอบแห้ง คือ การยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ซึ่งเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดกิจกรรมของเอนไซม์ การลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายขนส่งอาหารอีกด้วย (Fellows, 2000) นอกจากนี้การลดปริมาณความชื้นที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 เป็นการช่วยรักษาคุณภาพทางโภชนาการและกลิ่นรสได้ (Charm, 1978)

เมื่ออากาศร้อนถูกเป่าลงบนชิ้นอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถ่ายโอนไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่กระจายผ่าน boundary film ของอากาศ และพาไอน้ำระเหยออกไป โดยมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2544) การระเหยน้ำบริเวณผิวน้ำของอาหารเนื่องจากการแพร่ของไอน้ำจากผิวน้ำของอาหารสู่อากาศรอบ ๆ ที่เป็น boundary film ของอากาศที่สัมผัสอยู่กับผิวน้ำของอาหาร boundary film ของอากาศ นี้เป็นฉนวนการถ่ายโอนความร้อนและตัวต้านการแพร่ของไอน้ำจากผิว ส่วนของฟิล์มที่สัมผัสกับผิวน้ำของอาหารอิมตัวไปด้วยน้ำ ความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างผิวน้ำของอาหารกับชั้นนอกของ boundary film ของอากาศและอัตราการแพร่ของไอน้ำผ่าน boundary film ของอากาศมีผลต่อการระเหยน้ำบริเวณผิวน้ำของอาหาร ดังแสดงในภาพที่ 2 (พุทธิพงษ์ แสนสบาย, 2539)



ภาพที่ 2 boundary film ของอากาศรอบชิ้นอาหาร

boundary film of air around product

ที่มา : ดัดแปลงจาก พุทธิพงศ์ แสนสบาย (2539)

การเคลื่อนที่ของน้ำ

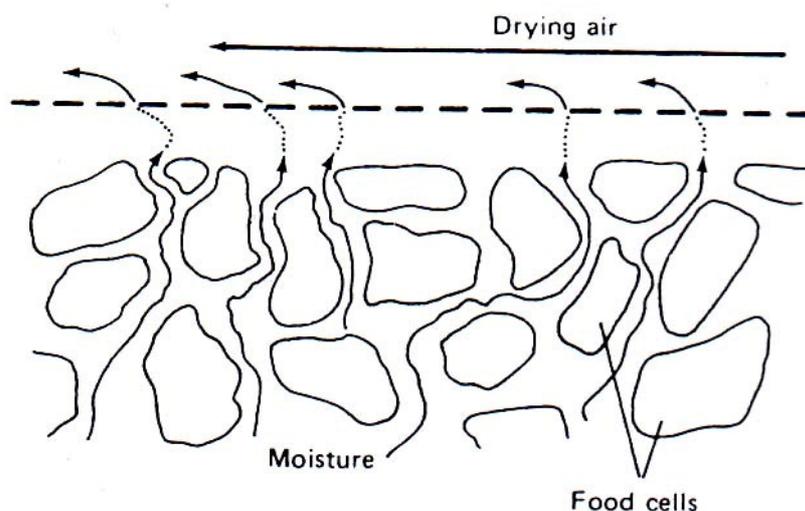
น้ำเคลื่อนที่จากภายในอาหารไปสู่ผิวหนังโดยกลไก ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 3)

(Fellows, 2000)

- การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force) บางส่วนในรูพรุนของอาหาร
- การแพร่ของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นในสารละลายที่ผิวหนังและภายในอาหาร
- การแพร่ของของเหลวซึ่งดูดซับในชั้นของผิวหนังขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในอาหารการแพร่ของไอน้ำในช่องว่างของอากาศภายในอาหารซึ่งเกิดจากการความแตกต่างของความดันไอขณะอบแห้ง

การถ่ายโอนความร้อนและมวล

การคั่งน้ำออกจากอาหารเกิดจากการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวล การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นภายในโครงสร้างของอาหารและมีความสัมพันธ์กับการกระจายอุณหภูมิระหว่างผิวหนังของอาหารและผิวหนังของน้ำที่ตำแหน่งบางส่วนภายในชิ้นอาหาร โดยพลังงานความร้อนที่เข้าไปทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่จากผิวหนังของน้ำไปยังผิวหนังของชิ้นอาหาร การถ่ายโอนมวลของน้ำจากผิวหนังของอาหารไปยังอากาศจะหยุดเมื่อความดันของไอน้ำที่ผิวหนังอาหารมีค่าเท่ากับความดันไอน้ำในอากาศ การถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลภายในโครงสร้างของชิ้นอาหารจะเกิดขึ้นภายในระดับโมเลกุลซึ่งการถ่ายโอนความร้อนจะถูกจำกัดด้วยการนำความร้อนของโครงสร้างภายในชิ้นอาหาร ขณะที่การถ่ายโอนมวลจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการแพร่ระดับโมเลกุลของไอน้ำในอากาศ (Singh and Heldman, 1984)



ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของน้ำในขณะอบแห้ง

Movement of moisture during drying

ที่มา : Fellows (2000)

การถ่ายโอนความร้อนและมวลระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธี (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) คือ

1. การให้กระแสลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสลมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายโอนความร้อนแบบนี้เป็นแบบการพาความร้อน (convection)
2. การแผ่อาหารเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ทำให้ไอน้ำกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้น ๆ อาจมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหาร ซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีกหรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิอาหารที่สูงนัก
3. การให้ความร้อนแก่อาหารในเครื่องอบด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสี ร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

แผนภูมิอากาศชื้น (Psychrometric Chart)

แผนภูมิอากาศชื้นสำหรับของผสมระหว่างน้ำกับอากาศ ใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติขั้นพื้นฐาน เช่น ปริมาณความชื้นจำเพาะ ค่าเอนทัลปีและความชื้นสัมพัทธ์ (Vega-Mercado *et al.*, 2001) การใช้แผนภูมิอากาศชื้นจะช่วยให้การวิเคราะห์การอบแห้งสะดวกขึ้นและสามารถประหยัดเวลาได้มากซึ่งจะต้องทราบค่าคุณสมบัติอากาศชื้นอย่างน้อย 2 ค่า จากนั้นสามารถอ่านค่าอื่น ๆ ได้ แผนภูมิอากาศชื้นแต่ละชนิดใช้ได้สำหรับความดันบรรยากาศ

หนึ่ง ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกแผนภูมิอากาศขึ้นที่มีความดันบรรยากาศตรงกับที่ต้องการ
 ดังแสดงในภาพที่ 4 (สมชาติ โสภณธนฤทธิ, 2537)

กระบวนการอบแห้ง

ในระบบปิดที่สภาวะสมดุลความร้อนที่ระเหยน้ำภายในผลิตภัณฑ์เกิดจากอากาศ
 ร้อนเท่านั้นไม่มีการถ่ายโอนความร้อนจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อม เมื่อ
 อากาศไหลผ่านตัวอย่างชิ้นอาหาร ความร้อนของอากาศเปลี่ยนเป็นความร้อนแฝง อุณหภูมิกระเปาะ
 แห้งมีค่าลดลง ส่วนค่าเอนทัลปีมีค่าคงที่ ซึ่งในทางปฏิบัติมีค่าเท่ากับความชื้นกระเปาะเปียก อากาศ
 ได้รับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ ขณะที่อัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น (Singh and Heldman, 1984)

สมการสมดุลพลังงานที่ใช้สำหรับการอบแห้ง (Ayensu, 1997) คือ

$$m_w L = m_a C_p (T_p - T_c) \quad (1)$$

เมื่อ m_w = มวลของน้ำที่ระเหยจากตัวอย่าง (kg)

m_a = มวลของอากาศในการอบแห้งที่ถูกดูดซับ (kg)

T_p = อุณหภูมิเริ่มต้นในการอบแห้ง (°C)

T_c = อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง (°C)

L = ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยน้ำ (J/kg°C)

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/Kg°C)

มวลของน้ำที่ระเหยได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$m_w = m_f \left(\frac{M_o - M_f}{100 - M_f} \right) \quad (2)$$

เมื่อ M_f = ปริมาณความชื้นสุดท้ายหรือความชื้นสมดุล

m_f = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง (kg)

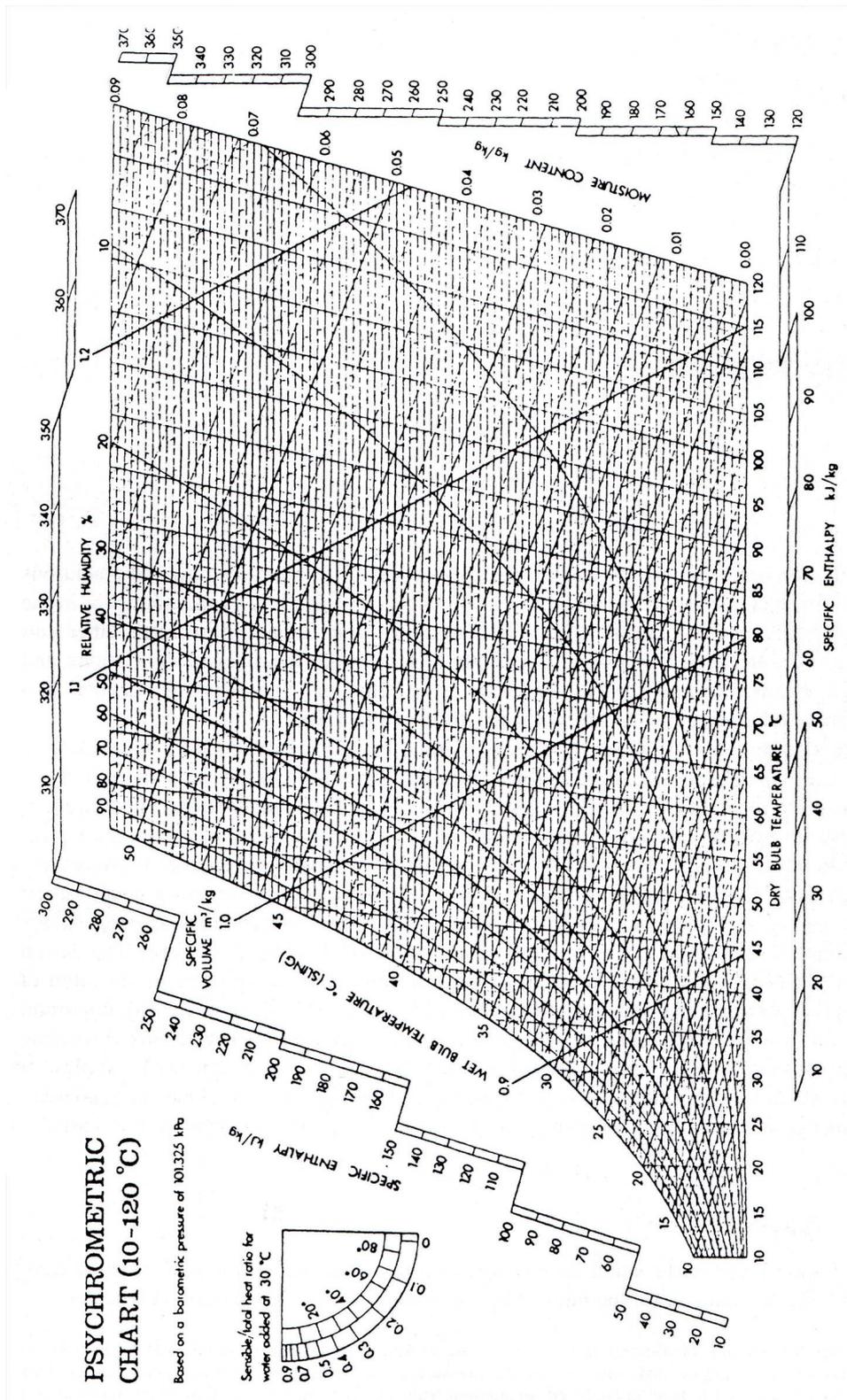
อัตราการอบแห้ง

ภาพที่ 5 แสดงการลดลงของปริมาณความชื้นขณะอบแห้งผลิตภัณฑ์ ข้อมูล
 โดยทั่วไปอาจเป็นน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลงเมื่ออบแห้ง ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมักแสดงอยู่ใน
 รูป กิโลกรัม (หรือปอนด์) ของน้ำต่อน้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ ในผลิตภัณฑ์อาหารมักมีรูปร่างของ

กราฟคล้ายกัน โดยมีช่วงแรกเริ่มต้นกราฟจะลดลงในช่วงสั้น ๆ ในสภาวะผิวของของแข็งเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเกือบเป็นเส้นตรง เรียกช่วงนี้ว่าช่วงของการอบแห้งคงที่ หลังจากนั้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลงจนกระทั่งถึงปริมาณความชื้นวิกฤต (critical moisture content, X_c) ซึ่ง X_c แสดงถึงปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนจากอัตราการอบแห้งคงที่เป็นอัตราการอบแห้งลดลง อัตราการอบแห้งจะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่ยังคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ ในความเป็นจริงแล้วช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอาจมีมากกว่า 1 ช่วง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายใน โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้ง จุดสมดุลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ออบแห้ง (Heldman and Hartel, 1997)

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate period)

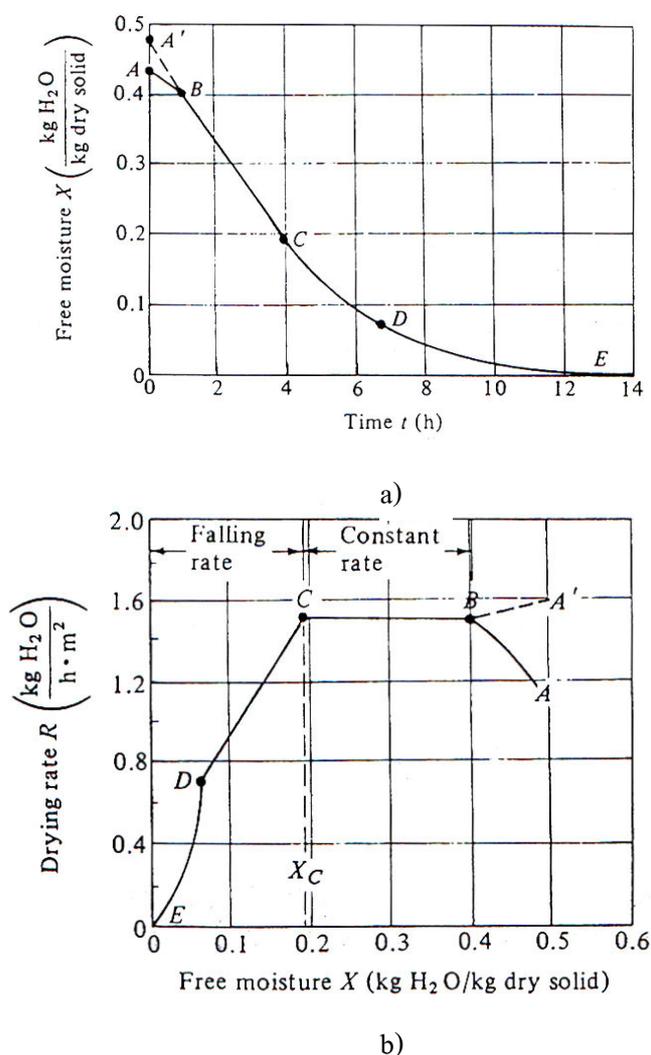
เมื่อวางอาหารในตู้อบ ช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง ปริมาณความชื้นลดลงเล็กน้อย เมื่อผิวหนังอาหารได้รับความร้อน (A-B ในภาพที่ 5) อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมีค่าเท่ากับการระเหยน้ำของอาหารเรียกว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และเกิดขึ้นต่อเนื่องจนกระทั่งปริมาณความชื้นวิกฤต (B-C ในภาพที่ 5) อุณหภูมิที่ผิวหนังของอาหารใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เนื่องจากความเย็นของน้ำที่ระเหยออกมาในทางปฏิบัติพื้นผิวที่ต่างกันอัตราการ



ภาพที่ 4 แผนภูมิอากาศชื้น (10-120 °C) ที่ความดัน 101.325 kPa

Psychrometric chart (10-120 °C) based on barometric pressure of 101.325 kPa

ที่มา : Fellows (2000)



ภาพที่ 5 เส้นกราฟการอบแห้งโดยที่อุณหภูมิและความชื้นของอากาศร้อนคงที่และความร้อนที่ให้กับอาหารเป็นแบบการพาความร้อน

Drying curves. The temperature and humidity of the drying are constant and all heat is supplied to the food surface by convection.

a) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งกับปริมาณความชื้น

Relationship between drying time and moisture content

b) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้น

Relationship between drying rate and moisture content

ที่มา : Geankoplis (1987)

อบแห้งจะต่างกัน อัตราการอบแห้งมีค่าลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Fellows, 2000) อัตราการอบแห้งสามารถแสดงในรูปแรงขับเคลื่อนจากการถ่ายโอนมวลของน้ำโดยการพาความร้อนจากผิวหน้าของอาหารไปสู่อากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังสมการ (Heldman and Hartel, 1997)

$$-m_s \frac{dX}{dt} = k_s A (P_{ws} - P_{wa}) \quad (3)$$

เมื่อ m_s = น้ำหนักแห้งของอาหารที่นำมาอบแห้ง (กิโลกรัม ความชื้นมาตรฐานแห้ง)
 X = ปริมาณความชื้น (กิโลกรัม น้ำ / กิโลกรัม ความชื้นมาตรฐานแห้ง)
 t = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s)
 k_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนแบบการพาความร้อน (kg/m²-s-Pa)
 A = พื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับอากาศร้อน (m²)
 P_{ws} = ความดันไอน้ำที่ผิวของอาหาร (Pa)
 P_{wa} = ความดันไอน้ำของอากาศร้อน (Pa)

แรงขับเคลื่อนของการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ คือความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่ผิวของอาหาร (P_{ws}) กับความดันไอน้ำของอากาศร้อน (P_{wa}) นอกจากนี้ปัจจัยอื่นที่มีผลกับอัตราการอบแห้งในช่วงนี้คือ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น และพื้นที่ผิวของอาหารที่สัมผัสกับอากาศร้อน ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นั้น ความร้อนที่ให้กับผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอ ส่วนการถ่ายโอนพลังงานในช่วงนี้มีอัตราการถ่ายโอนพลังงานแบบการพาความร้อนมีค่าเท่ากับอัตราใช้พลังงานในการระเหยน้ำหรือค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอนั่นเอง ภายใต้สภาวะ (Heldman and Hartel, 1997)

$$-m_s \frac{dX}{dt} (\Delta H_v) = hA(T_a - T_s) \quad (4)$$

เมื่อ ΔH_v = ความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (kJ/kg)
 h = สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนพลังงานแบบการพาความร้อน (W/kg-m²-°C)
 T_a = อุณหภูมิของอากาศ (°C)
 T_s = อุณหภูมิของผิวหน้าของอาหาร (°C)

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate period)

เมื่อปริมาณความชื้นของอาหารลดลงต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤต อัตราการอบแห้งลดลงช้า ๆ จนกระทั่งใกล้เคียงค่าศูนย์ที่ปริมาณความชื้นสมดุล เรียกว่า ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (C-D ในภาพที่ 5 อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในชิ้นอาหารมีค่าต่ำกว่าน้ำที่ระเหยไปสู่อากาศภายนอกและผิวหนังของอาหารจะแห้ง (สมมติว่าอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมไม่เปลี่ยนแปลง) ถ้าได้รับความร้อนจากอากาศเท่าเดิม อุณหภูมิที่ผิวหนังของอาหารจะมีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความร้อนที่มากเกินไปจะทำลายอาหารในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงและอุณหภูมิของอากาศจึงต้องควบคุมไว้ การถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบการพาความร้อนจากอากาศร้อนกับพื้นผิวของอาหาร แต่อาจเกิดการถ่ายโอนความร้อนแบบการแผ่รังสีได้ ถ้าอบแห้งอาหารด้วยถาดโลหะอาจเกิดการนำความร้อนจากถาดสู่อาหารได้ การคำนวณการถ่ายโอนความร้อนจะยุ่งยากมากขึ้น (Fellows, 2000)

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเป็นช่วงที่ยาวที่สุดในกระบวนการอบแห้งและในอาหารบางชนิด (เช่น การอบแห้งเมล็ดธัญพืช) ปริมาณความชื้นเริ่มต้นมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤตและช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจนเป็นเส้นเดียวที่พบในกราฟการอบแห้ง ขณะช่วงอัตราการอบแห้งลดลงปัจจัยที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงการอบแห้ง โดยปัจจัยที่สำคัญเหมือนกับในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่แต่อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำ (การถ่ายโอนมวล) กลายเป็นปัจจัยที่สำคัญ (Fellows, 2000)

ในการอธิบายช่วงอัตราการอบแห้งลดลงโดยการใช้ effective diffusivity, D_{eff} ซึ่งเป็นการรวมกลไกการถ่ายโอนมวล D_{eff} สามารถวัดได้จากข้อมูลอัตราการอบแห้งและสมการการแพร่แบบไม่คงที่ สำหรับการอบแห้งแบบชั้นบางเพียงชั้นเดียวสามารถใช้สมการ (Heldman and Hartel, 1997)

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 X}{\partial \chi^2} \quad (5)$$

เมื่อ χ คือ ความหนาของฟิล์มขณะอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งซึ่งเกี่ยวข้องกับสถานะขณะอบแห้งโดยพิจารณาจากชนิดของเครื่องอบแห้งและสถานะขณะอบแห้ง รวมทั้งคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง

1. สถานะขณะอบแห้ง พิจารณาถึงชนิดของตู้อบแห้ง สถานะการทำงานของตู้อบและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

1.1 อุณหภูมิ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งโดยในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการถ่ายโอนความร้อนซึ่งเป็นผลจากการที่อัตราการกลายเป็นไอสูงขึ้นนั่นเอง อุณหภูมิสูงทำให้ปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเป็นผลจากแรงขับเคลื่อนที่สูงขึ้นทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้กระบวนการแพร่ภายในเร็วขึ้นด้วย โมเลกุลน้ำเคลื่อนที่ออกมาอย่างรวดเร็ว อากาศร้อนมีผลต่อกระบวนการอบแห้งทั้งจากภายใน (ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง) และภายนอก (ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่) แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจมีผลในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีหรือทางกายภาพที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Heldman and Hartel, 1997) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kaleemullah และ Kailappan (2005) ได้ทำการทดลองโดยการอบพริกแดงด้วยตู้อบแบบทรงกระบอกหมุน (rotary drier) ซึ่งพริกที่มีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 330 ความชื้นมาตรฐานแห้ง หลังอบแล้วมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ร้อยละ 10.5 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 32, 27, 23 และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งพริก คือ 55 องศาเซลเซียส เพราะให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และปริมาณ capsaicin สูงสุด และการอบพริกแดงด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 26, 20, 16 และ 13 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสก็ให้ค่า a^* ปริมาณ capsaicin สูง และค่าความชอบรวมสูงสุด (Kaleemullah และ Kailappan, 2006) การศึกษาของ Doymaz (2007) การอบแห้งพริกทองแผ่นที่มีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 92.4 ± 0.2 ความชื้นมาตรฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 ± 0.3 ความชื้นมาตรฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 750, 390 และ 270 นาที ตามลำดับ ส่วนการศึกษาของ Karabulut และคณะ (2007) ได้ศึกษาการอบแห้งแอปปริคอต ด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งพริก คือ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ค่าปริมาณ เบต้าแคโรทีนสูง และให้ผลของค่าสี (L^* a^* b^* c^* และ h^*) ที่ดีและใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 17.75 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสนั้นทำให้ผลแอปปริคอตมีลักษณะไหม้มีสีคล้ำขึ้น แม้จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด คือ 13.25 ชั่วโมง

อุณหภูมิของอากาศร้อนมีความสำคัญมากและถูกควบคุมโดยความไวต่อความร้อนของวัตถุดิบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลเสียของอุณหภูมิต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

สามารถลดลงได้โดยการค่อย ๆ เพิ่มความร้อนหรือมีการหมุนเวียนอากาศร้อนในขณะที่ทำการอบแห้ง (Lewicki, 2006)

1.2 ความเร็วลม ความเร็วของลมที่พัดผ่านผิวหน้าของผลิตภัณฑ์มีผลต่ออัตราการเคลื่อนย้ายปริมาณความชื้นจากผิวหน้าสู่อากาศร้อน การระเหยน้ำจากผิวหน้ามีค่ามากขึ้น โดยการเพิ่มการถ่ายโอนมวลแบบการพาความร้อนเป็นผลเนื่องมาจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มความเร็วมทำให้ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ลดลงแต่มีผลเพียงเล็กน้อยกับช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Doymaz (2004) ที่พบว่ากรอบแคโรทที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ที่ความเร็วลม 0.5 และ 1.0 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง มีค่าเท่ากับ 28 และ 21 ชั่วโมง ตามลำดับ Kashaninejad และคณะ (2007) พบว่า ความเร็วลม ที่เพิ่มขึ้น (0.5, 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที) มีผลทำให้อัตราการอบแห้งถั่วพิทาชิโอเร็วขึ้น แต่ไม่มีผลมากเท่ากับผลของอุณหภูมิ สอดคล้องกับการอบแห้งแอปเปิ้ลด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ความเร็วลม 0.6, 0.8 และ 0.9 เมตรต่อวินาที ซึ่งความเร็วลมมีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราการอบแห้ง ไม่มากเมื่อเทียบกับผลของอุณหภูมิ (Timoumi *et al.* 2004) รวมทั้งในการอบแห้งลูกแพรพบว่าที่ความเร็วลม 0.0227 ถึง 0.0833 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองก็พบว่าความเร็วลมมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อยกว่าผลของอุณหภูมิเช่นเดียวกัน (Lahsasni *et al.*, 2004) ส่วนการอบแห้งกุหลาบป่าที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 1, 2, 3 และ 5 เมตรต่อวินาที พบว่าอัตราการอบแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Márquez *et al.*, 2006) การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหารเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อวินาที (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540)

1.3 ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นความสามารถของอากาศที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้ (Leon *et al.*, 2006) ปริมาณความชื้นในอากาศวัดได้จากความดันไอน้ำ ในระหว่างการอบแห้งอาหาร ในช่วงการอบแห้งคงที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการอบแห้ง ในทางกลับกันอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้ง อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์มีผลเพียงเล็กน้อยในช่วงการอบแห้งลดลง เมื่อการถ่ายโอนมวลภายในผลิตภัณฑ์ถูกจำกัดด้วยอัตราการอบแห้ง Kashaninejad และคณะ (2007) อบแห้งถั่วพิทาชิโอ ที่อุณหภูมิ 25 และ 70 องศาเซลเซียสที่ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์ 5 และ 20 พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน ไม่มีผลต่อระยะเวลาการอบแห้งถั่วพิทาชิโอ

1.4 ความดัน ความดันมีผลต่อความสัมพันธ์ของน้ำที่สถานะสมดุลและการอบแห้ง เมื่ออบแห้งในสถานะสูญญากาศ ความดันไอน้ำของอากาศลดลง การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ช่วงการอบแห้งคงที่ อย่างไรก็ตาม การอบแห้งถูกจำกัดโดยการถ่ายโอนมวลภายใน สถานะสูญญากาศ มีผลต่อการอบแห้ง

2. คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

2.1 พื้นที่ผิว ขณะอบแห้งโมเลกุลน้ำที่เคลื่อนที่ภายในผลิตภัณฑ์อย่างรวดเร็วทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วด้วยเช่นกัน เมื่อมีการตัดหรือฝานผลิตภัณฑ์ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว การอบแห้งก็เร็วขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Condori และคณะ (2001) ที่ศึกษาการอบแห้งพริกหวานและกระเทียมด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจกชนิดอุโมงค์ ที่พบว่าอัตราการอบแห้งเร็วขึ้นเมื่อขนาดของผลิตภัณฑ์มีความหนาลดลง โดยกระเทียมที่มีความหนาเพียง 0.3 เซนติเมตรและพริกหวานที่หั่นตามยาว มีความชื้นลดลงเหลือน้อยที่สุดและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น ๆ และการศึกษาของ Mdziniso (2006) โดยการอบแห้งแครอทและมันฝรั่งหวานด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศ พบว่าแครอทที่มีความหนา 0.3 และ 0.5 เซนติเมตร มีอัตราการสูญเสียน้ำร้อยละ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ ส่วนมันฝรั่งหวานที่มีความหนา 0.3 และ 0.5 เซนติเมตร มีอัตราการสูญเสียน้ำร้อยละ 3.8 และ 4.1 ตามลำดับ นอกจากนี้พริกอบแห้งที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ใช้เวลาในการอบแห้ง 3.34 ชั่วโมง แต่พริกทั้งผลใช้เวลาอบแห้งถึง 19 ชั่วโมง เมื่อใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (Doymaz and Pala, 2002)

2.2 การจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในเซลล์ของผลิตภัณฑ์ มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทิศทางต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับการเรียงตัวของส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์

2.3 โครงสร้างของเซลล์ ในผลิตภัณฑ์มีน้ำ 2 ส่วน คือ น้ำที่มีอยู่ในเซลล์กับน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ น้ำซึ่งอยู่ระหว่างโครงสร้างภายในเซลล์สามารถระเหยได้ง่ายกว่าน้ำภายในเซลล์

2.4 ชนิดและความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ตัวถูกละลายในอาหาร เช่น น้ำตาล แป้ง เกลือ และโปรตีน ส่วนในผักและผลไม้จะพบกรดอินทรีย์และไฮโดรคอลลอยด์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ด้วย (Maltini *et al.* 2003) ที่จับอยู่ในโมเลกุลของน้ำอาจยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำโดยเฉพาะในสภาวะที่มีความเข้มข้นสูง ๆ (ปริมาณความชื้นต่ำ) ตัวถูกละลายมีผลกับค่าออสโมติกแอกติวิตีและความหนืดของผลิตภัณฑ์ โดยตัวถูกละลายลดอัตราการส่งผ่านความชื้นและทำให้การอบแห้งช้า เช่น ในอาหารที่มีน้ำตาลสูงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำลดลงจึงส่งผลทำให้อาหารแห้งช้า (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2540) เมื่อผลิตภัณฑ์แห้งแล้ว การกระจายตัวของตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้น โดยที่ผิวหน้าจะความเข้มข้นสูงสุด ในขณะที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่แห้งมีความเข้มข้นของน้ำตาลหรือตัวถูกละลายอื่น ๆ โมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จำนวนหนึ่งเคลื่อนที่เข้าไปสู่ชั้นในของเซลล์ที่มียังคงมีน้ำเป็นตัวทำละลาย การเคลื่อนที่นี้ดำเนินต่อไปขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำใน

ผลิตภัณฑ์ซึ่งผลนี้เองที่ทำให้ตัวถูกละลายอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์ กลไกทั้ง 2 นี้อาจเกิดขึ้นในระบบของผลิตภัณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้ง 2 อย่างก็ได้ (Van Arsdell *et al.*, 1972)

การตากแดด

การตากแดด คือ การตากแห้งโดยให้ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับแสงแดดโดยตรงหรือแสงเพียงเล็กน้อย การตากแดดเป็นวิธีการที่ใช้ชื่อยุของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้กันมาเป็นเวลานาน (Heid and Joslyn, 1967; Basunia and Abe, 2001) รวมทั้งในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกด้วย (Ong, 1999) การตากแดดมีข้อเสียหลายประการ เช่น การใช้พื้นที่มาก ความไม่แน่นอนของสภาวะอากาศ การมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์ จากผงฝุ่นที่ติดมากับลม ฝน การรบกวนของแมลง คนและสัตว์ (สมยศ จรรยาวิลาส และคณะ, 2533; Basunia and Abe, 2001; Ekechukwu and Norton, 1999; Ong, 1999) ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งจะลดลงเนื่องจากการอบแห้งที่ต่ำหรือมากเกินไปจากแสงอาทิตย์หรือฝน (Ong, 1999)

นักวิจัยหลายท่านได้ทำการจัดแบ่งชนิดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตามชนิดของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง เช่น อาจเพิ่มประสิทธิภาพตู้อบแห้งโดยการเพิ่มอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนเสริม นอกเหนือจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ หลักการทำงานของตู้อบแห้ง เช่น การได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีแสงอาทิตย์การพาความร้อน หรือได้รับความร้อนทั้งการพาและการแผ่รังสีรวมทั้งลักษณะการไหลของอากาศ เช่น การไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติหรือบังคับ เป็นต้น (Ekechukwu and Norton, 1999; Esper and Mühlbauer, 1998; Imre, 1997; Ong, 1999; Pangavhane and Sawhney, 2002 Saponronnarit, 1995)

ประเภทของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร สัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์พวกไม้ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก มีดังนี้ (Ong, 1986 และ Ong, 1987 อ้างโดย Ong, 1999)

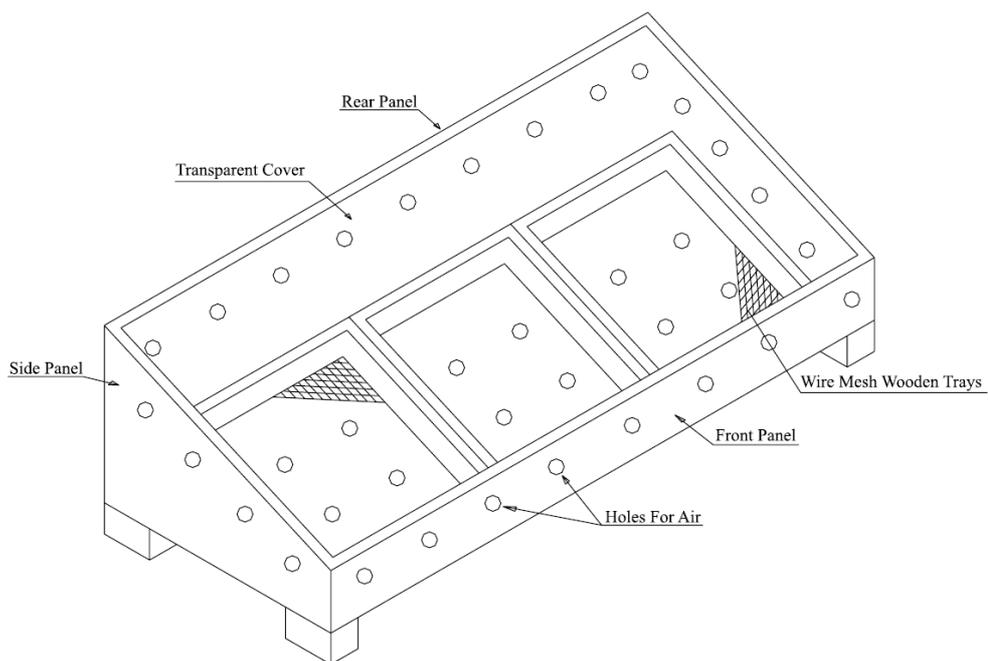
1. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ (The natural-convection cabinet-type solar drier)

ภาพที่ 6 แสดงภาพตัวอย่างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติชนิดกล่อง ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเคลื่อนที่ของอากาศแบบธรรมชาตินี้ผลิตและทดสอบครั้งแรก โดย Lawand ที่ Brace Research Institute โดยมีพื้นที่การอบแห้ง 7.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตรของ (Pangavhane and Sawhney, 2002) ในประเทศฟิลิปปินส์ ตู้อบแห้งรุ่นแรก

ๆ เคลื่อนที่ได้โดยล้อที่อยู่ด้านล่างของตู้อบ ขนาด 10 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1 ตัน ประกอบด้วย โครงสร้างเป็นกรอบทำด้วยไม้กล้ายกลองหุ้มด้วยแผ่นพอลิอะซิเตต (polyacetate) ช่องระบายอากาศ อยู่ส่วนหน้าด้านล่างของผนังเป็นทางเข้าของอากาศใหม่เข้าสู่ตู้และส่วนบนเป็นทางออกของอากาศ ร้อน ด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ ผลิตรักข์ที่ต้องการอบแห้งวางบนถาดที่เรียง เป็นชั้นภายในตู้ ตู้อบแห้งชนิดนี้ใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรและสัตว์น้ำ เช่น พริก พริกไทย กาแฟ เมล็ดพืชและลูกอมผลไม้ เช่น มะม่วง ก๋วย ลับปะรด แอปริคอต ลูกแพร แอปเปิ้ล เป็นต้น อุณหภูมิการอบแห้งภายในตู้ประมาณ 45 – 60 องศาเซลเซียส แต่อัตราการอบแห้งไม่คงที่โดย ถาดบนที่สัมผัสกับแสงอาทิตย์ ส่วนถาดด้านล่างที่ได้รับอากาศจะแห้งมากที่สุด ดังนั้นจึงควร หมุนเวียนถาดในขณะอบแห้ง (Ong, 1999)

Pangavhane และ Sawhney (2002) กล่าวว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการ ไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ มีต้นทุนการผลิตต่ำและง่ายต่อการดูแลรักษา ส่วนข้อด้อยของตู้อบ แห้งชนิดนี้ คือ ต้องใช้เวลาในการอบแห้งมาก เพราะความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน ต่ำ เนื่องจากการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ นอกจากนี้ประสิทธิภาพการอบแห้งอาจลดลง เนื่องจากบางส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาใช้เหนี่ยวนำการไหลของอากาศและตัวผลิตรักข์ เองเป็นตัวดูดซับซึ่งอาจจะไม่เป็นตัวดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ดี

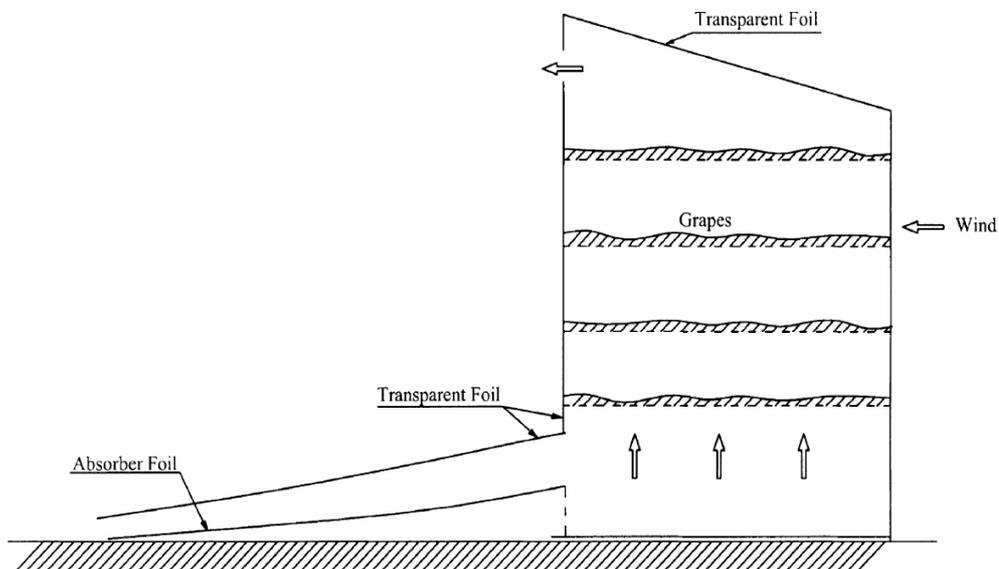
ดังนั้นจึงมีการเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ด้วยการเพิ่ม แผงรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (flat-plate) ที่ติดตั้งอยู่กับส่วนที่เป็นห้องอบแห้งในหลายปีที่ผ่านมา มีการ พัฒนาตัวเก็บความร้อน และหลาย ๆ การทดลองพบว่า ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ ได้รับความนิยม สูงสุดเนื่องจากความเหมาะสมด้านเศรษฐกิจ ง่ายในการประดิษฐ์ ทนทานและมีประโยชน์มาก ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ ประกอบด้วย แผ่นโลหะดูดซับที่ทาสีดำลอยตัวบนแผ่นเหล็กที่ไม่มีรูพรุน ด้านบนสุดคลุมด้วยแผ่นกระจกหรือพลาสติก 1 – 2 ชั้น ด้านล่างเป็นแผ่นกั้นที่ทำจากใยแก้วเพื่อ ป้องกันการสูญเสียความร้อนแล้วคลุมด้วยแผ่นห่อหุ้ม (Ong, 1999) เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ และทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อมีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้ประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียส แผงรับ รังสีที่เพิ่มเข้าไปเพื่อทำให้อบแห้งผลิตรักข์ได้อย่างต่อเนื่องและควบคุมอุณหภูมิได้อย่างมี ประสิทธิภาพมากขึ้น (Ong, 1999)



ภาพที่ 6 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติชนิดกล่อง

The natural-convection cabinet-type solar drier

ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)



ภาพที่ 7 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ

The natural-convection solar drier

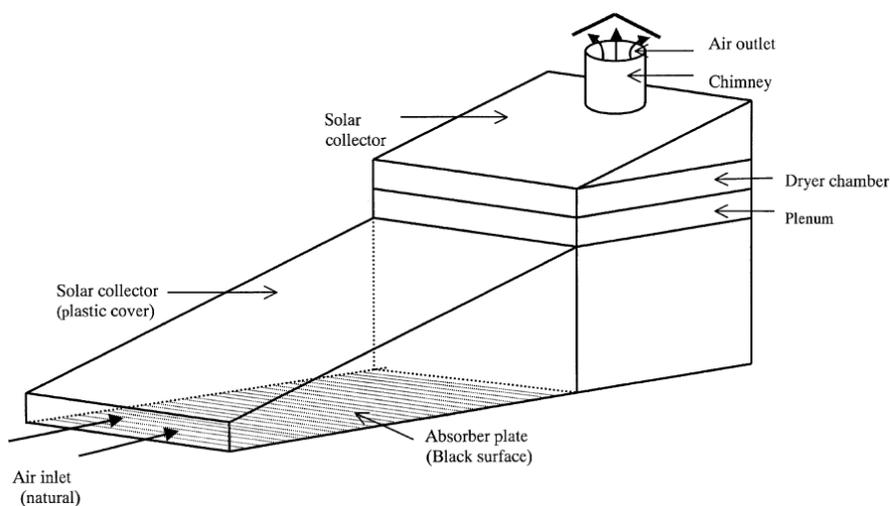
ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)

Eissen และคณะ (1985 อ้างโดย Pangavhane and Sawhney, 2002) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวกักเก็บความร้อนสำหรับอากาศร้อนและส่วนของตู้อบแห้งที่ใช้ในการบรรจุร้อนที่อยู่บนถาด (ดังภาพที่ 7) แผงรับรังสีประกอบด้วยฟอลต์โปร่งใสที่ใช้คลุมและแผ่นดูดซับสีดำ ภายในตู้อบแห้ง ประกอบด้วย ฟอลต์โปร่งแสงซึ่งป้องกันอุณหภูมิจากฝุ่นและฝน ช่องระบายอากาศซึ่งให้อากาศไหลเวียนอย่างเป็นธรรมชาติภายในตัวกักเก็บความร้อนและตู้อบแห้ง การไหลเวียนของอากาศเพิ่มขึ้นได้โดยการดูดอากาศจากภายนอกซึ่งเกิดจากลม อุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกได้ในตู้อบแห้งคือ 50 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณการบรรจุในตู้อบแห้งคือ 100 กิโลกรัมต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสของการอบแห้งหรืออุณหภูมิ 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตรของพื้นที่ตัวกักเก็บความร้อนและใช้เวลาในการอบแห้ง 7-8 วัน ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบธรรมชาติ แต่ตู้อบแห้งชนิดนี้สามารถลดการปนเปื้อนจากฝุ่นและฝน ส่วน Ratti and Mujumdar (1997) อบใช้เวลา 2 วันในการอบแห้งแครอท

สมยศ จรรยาวิลาสและคณะ (2533) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 ตู้ โดยตู้ที่ 1 และตู้ที่ 2 มีความแตกต่างกันตรงพื้นที่รับแสง คือ 20,000 และ 19,800 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ขนาดของตู้อบแห้งผลิตภัณฑ์ของตู้ที่ 1 และตู้ที่ 2 (กว้าง x ยาว x สูง) คือ 100 x 100 x 150 และ 110 x 80 x 155 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่จากการทดลองอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มและสับปะรดพบว่าตู้อบแห้งทั้งสองตู้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งใกล้เคียงกัน คือสามารถอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มจากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 75 จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15 ส่วนในการอบสับปะรดซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 85 จนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 ภายในตู้อบชั้นบนสุดมีอุณหภูมิสูงสุด คือ 57 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้อาจเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มส่วนของปล่องเพื่อช่วยเพิ่มการไหลของอากาศภายในตู้อบ (thermosiphoning) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของตู้อบ (Imre, 1997; Madhlopa, 2002)

Basunia และ Abe (2001) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งข้าวโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยการอบแห้งแบบชั้นบาง ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในการอบแห้งมีค่าระหว่าง 22.3 - 34.9 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 34.5 และ 57.9 ส่วน Phoungchandang and Woods (2000) ศึกษาการอบกล้วยด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วย มีค่า 250 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 25.9 ความชื้นมาตรฐานแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบ 42 ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับกล้วยที่ตากแดดเวลาที่ใช้ในการอบลดลงร้อยละ 14

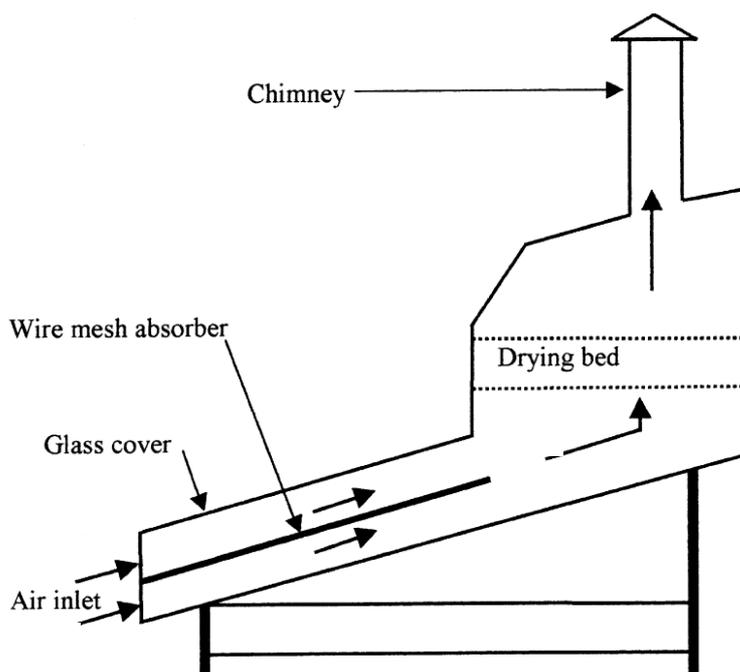


ภาพที่ 8 ตู้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผงรับรังสีและปล่อง

Mixed-mode type natural convection solar drier

ที่มา : Basunia และ Abe (2001)

การเพิ่มประสิทธิภาพตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อีกวิธีหนึ่ง คือ การเพิ่มตัวเก็บความร้อน (absorber) ที่แผงรับรังสี ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยการศึกษาคณะ Madhlopa และคณะ (2002) ได้พัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ตัวรับรังสีทำอากาศร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยตัวเก็บความร้อน 2 ระบบภายในแผงรับรังสีเดียวกันที่สามารถถอดออกได้ทำจากโลหะชนิดอ่อนและแผ่นไม้ที่ติดอยู่กับที่ อุณหภูมิเข้า 30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิขาออก 40 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบสูงถึงร้อยละ 21.3 ของพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 31.7 – 40.1 องศาเซลเซียส ในช่วงกลางวัน มะม่วงแผ่นอบแห้งมีความชื้นจากร้อยละ 85 ± 3 เป็น 13 ± 2 ความชื้นมาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้ง 3-5 วัน ซึ่งต่ำกว่ามะม่วงแผ่นอบแห้งโดยทั่วไป ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ที่ 3.4 ± 0.3 และปริมาณวิตามินซีมีค่าเท่ากับร้อยละ 74 ± 22



ภาพที่ 9 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติที่ประกอบด้วยแผงรับรังสี ตัวเก็บความร้อน ส่วนของห้องอบและปล่อง

The natural-convection solar drier consists of collector, absorber, drying chamber and chimney

ที่มา: Madhlopa (2002)

Khattab และ Badawy (1996) ศึกษาตำแหน่งการวางตัวเก็บความร้อนที่ภายในบรรจุด้วยกรวดที่ทำสีดำตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่มตัวเก็บความร้อนที่แผงรับความร้อน โดยมีการวางตัวเก็บความร้อน 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 วางตัวเก็บความร้อนต่ออยู่ตรงกลางระหว่างแผงรับรังสีและห้องอบผลิตภัณฑ์ ตำแหน่งที่ 2 วางตัวเก็บความร้อนแยกออกจากแผงรับรังสีและห้องอบผลิตภัณฑ์และตำแหน่งที่ 3 วางตัวเก็บความร้อนต่ออยู่ข้างล่างห้องอบผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่าการวางตัวเก็บความร้อนแยกออกจากแผงรับรังสีและห้องอบผลิตภัณฑ์ทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบผลิตภัณฑ์สูงสุดกว่าชุดการทดลองอื่น

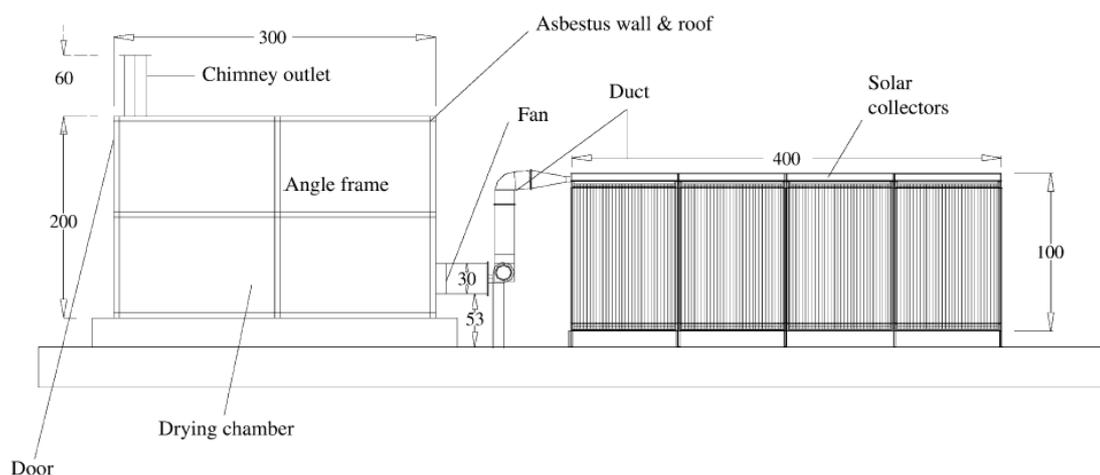
อนุศักดิ์ อินทียนราวุธและปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์ (2532) ได้ทำการทดลองตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีแผงรังสีและหินเก็บกักความร้อน โดยพบว่า พลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 11-19 เมกกะจูลต่อตารางเมตร-วัน อัตราการอบแห้งของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีหินเป็นตัวเก็บกักความร้อน (ปริมาตร 0.16 เท่าของปริมาตรตู้อบแห้ง) ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าตู้อบแห้งที่ไม่มีหินเป็นตัวกักเก็บความร้อน แต่ในช่วงพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วงมากกว่า 19 เมกกะจูลต่อตารางเมตร

ต่อวัน อัตราการอบแห้งแบบที่มีหินเป็นตัวกักเก็บความร้อนจะต่ำกว่าแบบไม่มีหินและตู้อบแห้งที่มีหินปริมาณ 0.16 และ 0.08 เท่าของปริมาตรตู้อบแห้งและมีอัตราการอบแห้ง 6.4 และ 6.02 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ

นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติร่วมกับการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) Bena และ Fuller (2002) ได้มีการพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติร่วมกับการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในช่วงกลางคืน การทำสับปะรดแห้งซึ่งมีกำลังการอบแห้งสับปะรดสด 20 - 22 กิโลกรัม ความชื้นของสับปะรดลดลงจากร้อยละ 559 ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นร้อยละ 11 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 3.5 วัน ประสิทธิภาพการอบแห้งโดยรวมประมาณร้อยละ 9 ประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเชื้อเพลิงชีวมวล (biomass) มีค่าร้อยละ 22 และ 27 ตามลำดับ การทดลองของ Kirirat และคณะ (2006) ออกแบบและทดสอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกับความร้อนที่ได้จากการเผาไม้ฟืนในการอบทองพันชั่ง จากการทดลองพบว่าทองพันชั่งซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 268 ความชื้นมาตรฐานเปียก ให้มีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 3.7 ความชื้นมาตรฐานเปียก ตัวอย่างมีการแห้งตัวอย่างสม่ำเสมอและใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 23 ชั่วโมง ระยะเวลาต้นทุน ประมาณ 5.5 ปี

2. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ (The forced convection indirect-type solar drier) ดังแสดงในภาพที่ 10 ประกอบด้วย ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ (flat-plate solar air collector) ซึ่งทำให้อากาศร้อนขึ้น อากาศร้อนจะถูกโบเวอร์แบบเหวี่ยง (centrifugal blower) ดูดอากาศร้อนผ่านตัวรับรังสีเพื่อจะเข้าสู่ห้องอบแห้งเพื่อใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ ในบางกรณีตัวเก็บความร้อนอาจเป็นส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของหลังคาห้องอบแห้งก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 11

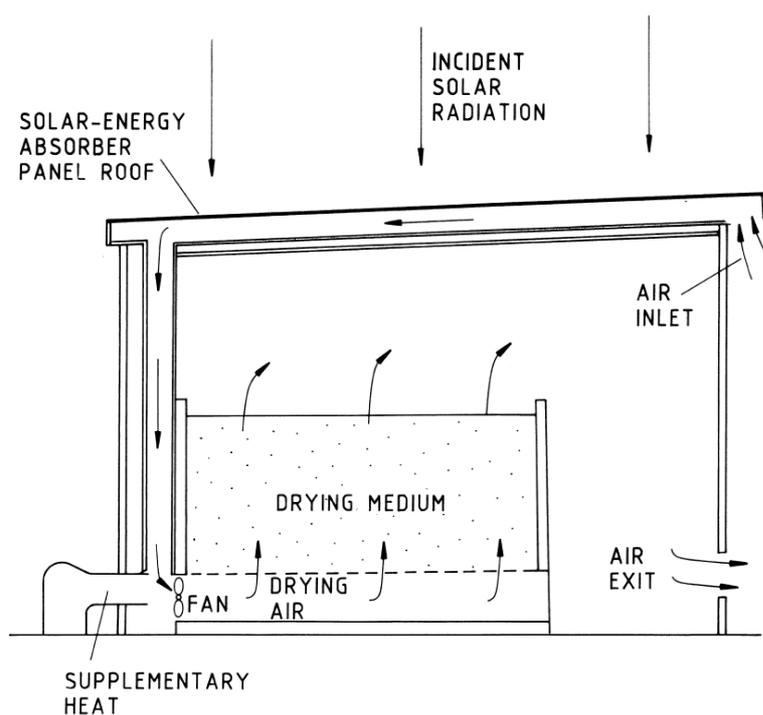
ภายในห้องอบแห้งอาจให้อากาศผ่านตาข่ายง่าย ๆ หรือให้อากาศไหลวนอย่างซับซ้อน ถ้าต้องการให้ตู้อบแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้และผลิตภัณฑ์ที่ทำกรอบแห้ง ตู้อบแห้งชนิดนี้ใช้สำหรับอบแห้งผลผลิตทางเกษตร เซรามิก กว๊ายเตี๋ยว ไบยาสูบ ผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เมล็ดน้ำมัน พืชหัว หนังกุ้ง เป็นต้น ขนาดของตัวเก็บพลังงานอยู่ในช่วง 200 – 600 ตารางเมตร (Ong, 1999)



ภาพที่ 10 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศ

Forced-convection solar drier

ที่มา : Kadam และ Samuel (2006)



ภาพที่ 11 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับการไหลของอากาศที่มีหลังคาเป็นตัวเก็บความร้อน

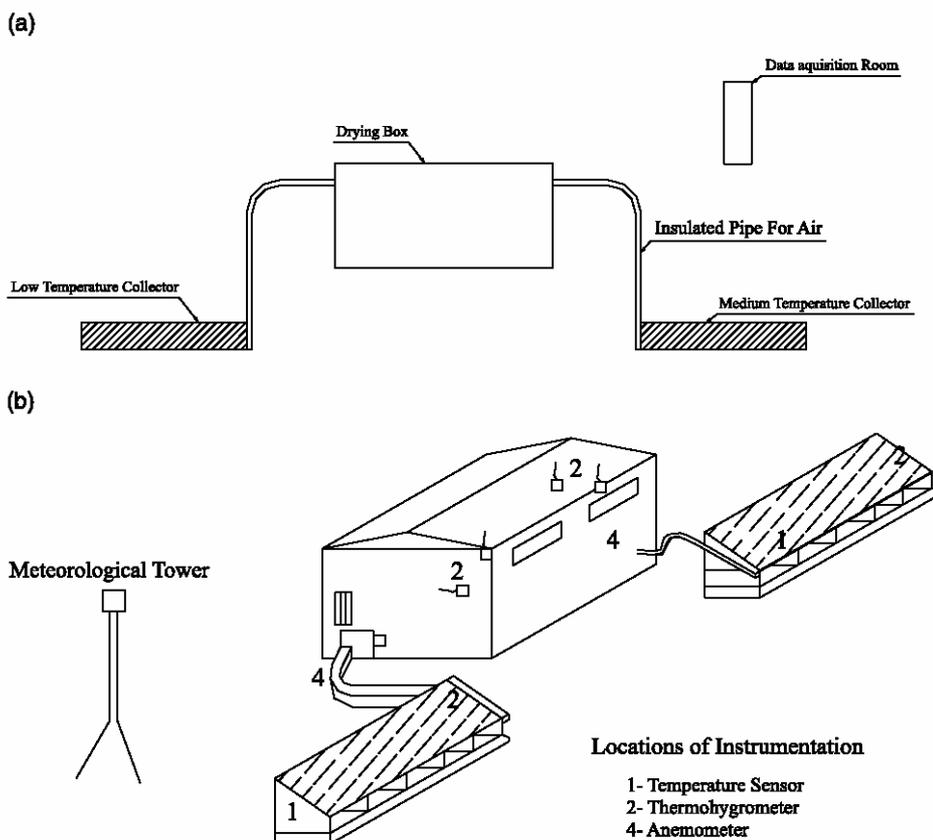
A collector-roof solar-energy storage drier

ที่มา : Ekechukwu and Norton (1999)

Pangavhane และ Sawhney (2002) ได้แสดงรูปโครงสร้าง (ดังภาพที่ 12a) ซึ่งประกอบด้วยพัดลม แล่งให้ความร้อนแสงอาทิตย์ 2 แบบ คือ ส่วนที่ให้อุณหภูมิต่ำและกลาง และ ส่วนของตู้อบแห้งที่บรรจุวัตถุดิบเพื่อใช้ในการอบแห้ง อากาศผ่านตัวรับรังสีโดยแผ่นกระจายที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าซึ่งต่อกับตัวมอเตอร์ 3 เฟส 380 โวลต์ (กำลังไฟฟ้า 0.5 – 1.0 กิโลวัตต์) ใช้แผ่นโพลียูรีเทน (polyurethane) เป็นฉนวนความร้อนเพื่อลดการสูญเสียจากการนำและการพาความร้อน ในตู้อบแห้งแบ่งเป็น 3 ส่วน ซึ่งสองส่วนใช้ในการอบแห้งและอีกส่วนใช้ในการรอกการขนย้าย ส่วนที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 2 ส่วนนั้นต่อกับส่วนที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ส่วนอุณหภูมิต่ำและกลางตามลำดับ ดังภาพที่ 10b ขนาดบรรจุในแต่ละกล่องอยู่ในช่วง 500 - 3,500 กิโลกรัม อากาศร้อนจากตัวเก็บความร้อนผ่านไปยังส่วนของวัตถุดิบที่เรียงเป็นแผ่นบาง ๆ ในถาดภายในตู้ส่วนที่ใช้สำหรับอบผลิตภัณฑ์

Sharma และคณะ (1993 อ้างโดย Pangavhane and Sawhney, 2002) ได้อบแห้งองุ่นมะเขือ และมะเขือเทศ โดยขณะอบแห้งองุ่น อัตราการไหลของอากาศที่ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อากาศร้อนที่ได้จากตัวเก็บความร้อนต่ำสามารถให้ความร้อนได้ถึง 55-60 องศาเซลเซียส ขณะที่ตัวเก็บความร้อนปานกลางให้อากาศร้อนถึง 75-80 องศาเซลเซียส ในช่วงเที่ยงและการอบแห้งองุ่น 90 กิโลกรัม อยู่ในช่วง 5-7 วันขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ

Ghazanfari และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษการอบแห้งถั่วพิทาชิโอโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นบางโดยการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ (thin-layer forced air) ในประเทศอิหร่านจากการทดลองพบว่า ในช่วงกลางวันบรรยากาศโดยทั่ว ๆ ไปอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ ร้อยละ 14 ในช่วงกลางคืนอุณหภูมิต่ำสุด คือ 11 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดคือ ร้อยละ 28 ช่วงเวลาในการอบแห้ง ตั้งแต่ 08.00 – 20.00 น. อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดคือ 56 องศาเซลเซียสเมื่อเวลา 13.30 น. ขณะที่อุณหภูมิภายนอกเป็น 36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดของผลิตภัณฑ์ คือ 34 องศาเซลเซียสในวันแรกของการทดลอง และเป็น 42 องศาเซลเซียสเมื่อวันที่สองของการทดลอง ในเวลากลางคืนอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงเป็น 12 องศาเซลเซียส ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของถั่วพิทาชิโออยู่ที่ร้อยละ 40.0 ความชื้นมาตรฐานเปียกหลังจากอบแห้งแล้วความชื้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 6.0 ความชื้นมาตรฐานเปียก ผลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ถั่วพิทาชิโอเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบลมร้อนและการตากแดด พบว่า ถั่วพิทาชิโอที่อบด้วยลมร้อนมีความกว้างของรอยแยกที่เปลือกมาก ส่วนใหญ่เปลือกจะแยกออกเมื่อถั่วสุก สีของเปลือกมีสีสว่างในถั่วที่อบแห้งโดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตู้อบลมร้อน รสชาติของถั่วที่มีการอบแห้งโดยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดด โดยภาพรวมถั่วพิทาชิโอที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแสงพลังงานอาทิตย์มีคุณภาพดีที่สุด



ภาพที่ 12 รูปโครงสร้างของระบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอ้อม

Schematic lay out for force-convection solar drying system

a) รูปด้านข้าง

Cross-section of force-convection solar drying system

b) รูปมุมมอง แสดงตำแหน่งของการวางอุปกรณ์

Location of instrument

ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)

รองลงมาคือการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง ถ้าวัดผ่านการอบแห้งทุกวิธีไม่มีการปนเปื้อนจากอัลฟาทอกซิน

ส่วนการทดลองของ Midilli (2001) ก็ได้ทดลองโดยใช้ถั่วพิทาชิโอที่มีการแกะเปลือกและไม่มีการแกะเปลือกแล้วนำไปอบแห้งโดยเปรียบเทียบการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดในชั้นที่ 2 และ 15 วัดได้ 60 และ 55 องศาเซลเซียส ขณะที่ทำการทดลอง อุณหภูมิภายนอกสูงสุด คือ 32 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของการตากแห้งอยู่ระหว่าง ร้อยละ 60-75 ขณะที่ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของการอบแห้งระหว่างร้อยละ 37-62 ถั่วพิ

ทาทิโอดีที่มีเปลือกและไม่มีเปลือกที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่า 6 ชั่วโมง

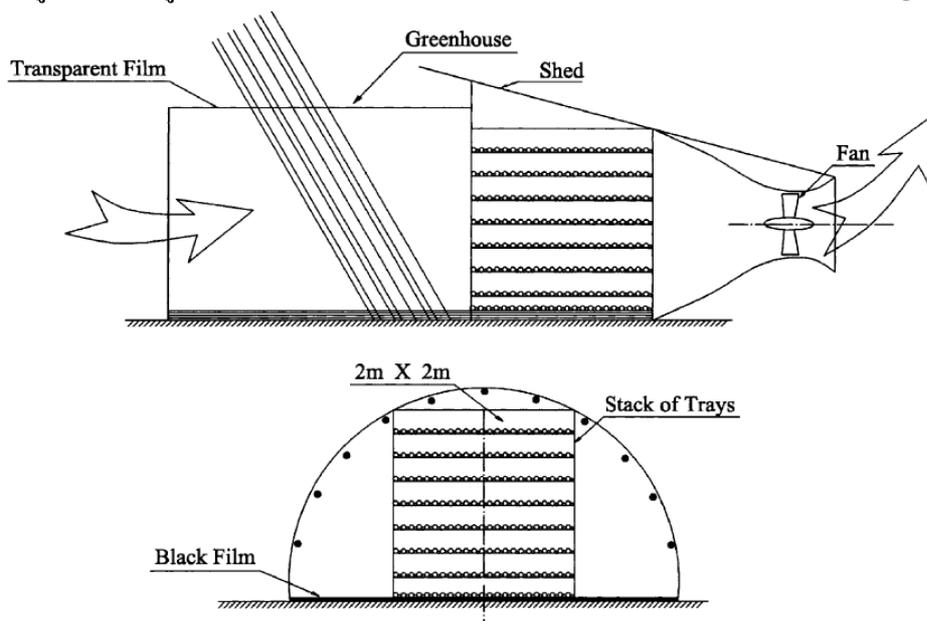
วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร และคณะ (2537) ศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบ การไหลของอากาศเป็นแบบบังคับโดยการติดตั้งพัดลมที่ให้ไหลเข้าไปภายในแผงรับรังสี ทำการ อบแห้ง 2 วิธี คือ การอบแห้งแบบหมุนเวียน (เฉพาะช่วงกลางวัน 6 ชั่วโมง) และการอบแห้ง แบบต่อเนื่อง (ทั้งกลางวันและกลางคืน) โดยกลัวยอบแห้งด้วยวิธีแรกใช้เวลาอบเฉลี่ย 6 วัน ส่วนแบบ ที่ 2 นั้นใช้เวลาประมาณ 3 วัน ซึ่งสามารถลดระยะเวลาเมื่อเทียบกับการตากแดดประมาณร้อยละ 50 แต่คุณภาพทางกายภาพยังคงเหมือนกับการตากแดด ประสิทธิภาพของสูงสุดระบบอบแห้งมี ค่าประมาณ ร้อยละ 30 ระยะคืนทุนอยู่ระหว่าง 1.5 – 5.4 ปี จงจิตร และคณะ (2541) ศึกษาตู้อบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์และใช้พลังงานเสริมจากชีวภาพ เพื่ออบแห้งกระเทียม จากความชื้นเริ่มต้น ประมาณ ร้อยละ 67 ความชื้นมาตรฐานเปียก จนมีความชื้นสุดท้าย ร้อยละ 60 ความชื้นมาตรฐานเปียก จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้พลังงานจากชีวมวลอย่างเดียวและการใช้พลังงานจากชีวมวลร่วมกับ พลังงานแสงอาทิตย์ ใช้เวลาอบแห้ง 14 ชั่วโมงและ 15 ชั่วโมง ตามลำดับ และหากใช้พลังงานจากชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 10 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด มัชมนต์ธรรม์ พรหมทองและคณะ (2546) ศึกษาการใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับ พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบมีค่าประมาณ 45-58 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ ใช้ในการทดลอง 36 ชั่วโมง (จากพลังงานแสงอาทิตย์ 10 ชั่วโมงและจากพลังงานไม้ฟืน 26 ชั่วโมง) อบแห้งสั้บแซกแห้งล้างน้ำและเนื้อสั้บแซกที่คั้นน้ำออกแล้วที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นประมาณ ร้อย ละ 93 ความชื้นมาตรฐานแห้ง และร้อยละ 353 ความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามลำดับ จนมีความชื้น สุดท้าย ร้อยละ 16 ความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่อระยะเวลาที่ใช้อบเพียง 14 และ 16 ชั่วโมง ระยะเวลาคืน ทุนประมาณ 2 – 4 ปี

สังวาล เพิ่งพัดและวัฒนพงษ์ รัชวีเชียร (2539) ศึกษาการอบแห้งเนื้อและปลาตุ๋ก และปลาช่อนด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (ใช้ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงาน เสริมจากก๊าซ LPG) ผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละ 100 กิโลกรัมใช้เวลาในการอบประมาณ 20 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในตู้อบประมาณ 30 - 40 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง คิดเป็น ร้อยละ 50

3. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก (The greenhouse-type solar drier) ดังแสดงในภาพที่ 13 หลักการของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก คือเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกหรือพลาสติกใสเข้าไปภายใน จะถูกผลิตภัณฑ์และองค์ประกอบ ต่างๆ ภายในเรือนกระจกดูดกลืนรังสีแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน วัสดุภายในโรงเรือนจะแผ่รังสี

อินฟราเรดออกมา แต่ไม่สามารถผ่านกระจกออกมาภายนอกได้ ทำให้อุณหภูมิในเรือนกระจกสูงขึ้น และถ่ายโอนความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ (เสริม จันทน์ฉายและคณะ, 2547)

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจกที่มีช่องระบายอากาศ เพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ในประเทศจีนขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร หรือ 6 ตัน สำหรับอบแห้ง ท่อนไม้ หนังกุ้งและลูกอมผลไม้ โดยคลุมด้วยแก้วด้านทิศใต้-ทิศตะวันออกและกำแพงอิฐด้านทิศเหนือ ประตูเข้า-ออกอยู่ทางด้านข้าง ผลไม้วางบนถาดซึ่งเรียงเป็นชั้นในห้องอบแห้ง (Ong, 1999)



ภาพที่ 11 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก

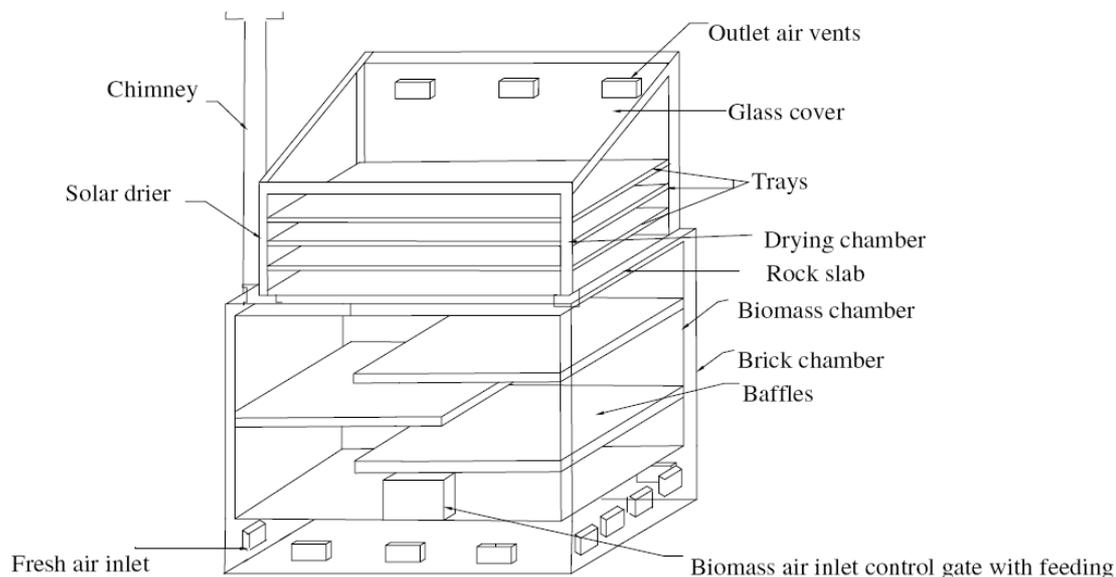
Solar drier with green house as collector

ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)

Condorí และ Saravia (1998) ออกแบบและศึกษาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจกโดยบังคับการไหลของอากาศ แบบห้องอบผลิตภัณฑ์แบบเดี่ยวและคู่ พบว่า ตู้อบแบบคู่นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งร้อยละ 87 ของพื้นที่เดียวกันและการศึกษาของ Condorí และคณะ (2001) ศึกษาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจกโดยบังคับการไหลของอากาศ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ พริกหวานและกระเทียม พบว่า พริกหวานที่อบแห้งแล้วยังคงมีการเสื่อมเสียจากเชื้อรา เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง ส่วนในการอบแห้งกระเทียมนั้นอบได้เพียง 1 วันแล้วไม่สามารถอบต่อได้เนื่องจากสภาวะอากาศไม่ดี ในการศึกษาในครั้งต่อไปจึงควรเพิ่มเครื่องให้พลังงานความร้อนเสริมในขณะอบแห้ง ซึ่ง Ong (1999) ได้ให้ข้อเสนอว่า ปัญหาของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบนี้คือการกระจายอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันซึ่งแก้ไขได้โดยการจัดให้ลมเข้าไปภายในตู้ทั้งสองด้าน อากาศใหม่เข้ามาจากข้างนอกโดยผ่านท่อระบายอากาศที่ด้านทิศใต้ของ

ตู้เรือนกระจก ภายในท่อระบายอากาศมีรูพรุนที่ผนังเพื่อสัมผัสกับวัตถุดิบ อากาศไหลผ่านรูผ่านไปยัง วัตถุดิบเพื่ออบแห้งและปล่อยออกทางท่อที่อยู่ด้านบนทางทิศเหนือของผนังถ้ามีพัดลมแบบไหลตาม แกนอากาศที่ปลายท่ออากาศจะทำให้การไหลเวียนของอากาศกลับทิศ โดยอากาศจะเข้าทางด้านปล่อง ที่อยู่ด้านบนและไหลออกทางด้านล่างเพื่อให้วัตถุดิบแห้งและมีการหมุนวน 3 รอบที่บริเวณแกนและ เพิ่มความเร็วของอากาศเพื่อทำให้การอบแห้งเพิ่มขึ้นในระยะเวลาเท่าเดิม

4. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม (Hybrid system) ดังแสดงในภาพที่ 14 Prasad และคณะ (2006) ศึกษาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบผสมต่อร่วมกันของแผ่นหิน พลังงานเสริมจากชีวมวลและสถานะเรือนกระจก ในเวลากลางวันใช้พลังงานแสงอาทิตย์และใช้ พลังงานจากชีวมวลในเวลากลางคืน ในแต่ละชั้นสามารถบรรจุขี้มัน 5 กิโลกรัมต่อถาด จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิภายในตู้อบมีค่าอยู่ในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส ซึ่งลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบ ร้อยละ 84 เมื่อเทียบกับการตากแดด ประสิทธิภาพโดยรวมของตู้อบมีค่าร้อยละ 28.57 นอกจากนี้คุณภาพของ ขี้มันที่อบด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดีกว่าการตากแดด เพราะในตัวอย่างที่มีการตากแดดพบ เชื้อราแล้วขี้มันที่อบด้วยตู้อบนี้ยังปริมาณน้ำมันที่ระเหยได้สูงกว่าอีกด้วย



ภาพที่ 14 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม

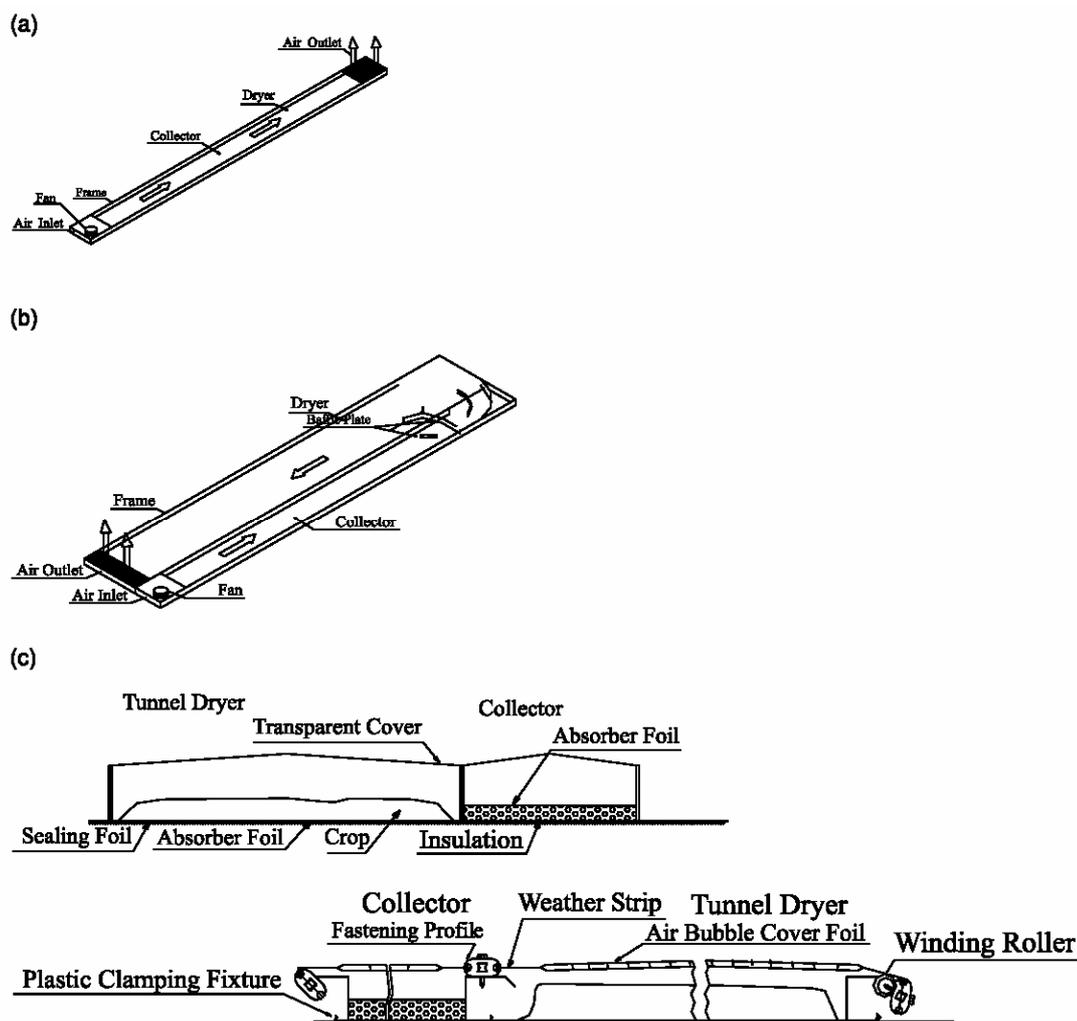
Hybrid system solar drier

ที่มา : Prasad และคณะ (2006)

นอกจากนี้ Pangavhane และ Sawhney (2002) ได้รายงานชนิดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งธัญอื่นอีก 3 แบบ ดังนี้

1. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีตัวกักเก็บความร้อน (Solar tunnel drier with integral collector)

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีตัวกักเก็บความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 13 ประกอบด้วย พัดลมขนาดเล็ก, ตัวกักเก็บความร้อน และห้องอบแบบอุโมงค์ซึ่งใช้วางธัญ ความร้อนที่ได้จากตัวกักเก็บความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ กำลังในการบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 50-300 กิโลกรัม ตัวกักเก็บความร้อนและอุโมงค์อบแห้งเรียงตามลำดับดังภาพที่ 15a อย่างไรก็ตามการบรรจุอาจสูงถึง 1,000 กิโลกรัม ถ้ามีการปรับตัวกักเก็บความร้อนและอุโมงค์อบแห้งในแนวนอน ดังภาพที่ 13b กรอบของตัวกักเก็บความร้อนและอุโมงค์ ยาว 20 เมตร กว้าง 2 เมตร ส่วนตัวกักเก็บความร้อนสูง 6 เซนติเมตร กว้าง 1 เมตร กรอบของตัวกักเก็บความร้อนและตัวอุโมงค์ยึดติดกับพื้นและคลุมด้วยพอยล์ที่โปร่งแสง ดังแสดงในภาพที่ 15c พลาสติกสีดำวางระหว่างผนังของตัวกักเก็บความร้อนและตู้อบแห้ง ฉนวนกันความร้อนวางใต้แผ่นพอยล์เพื่อลดการสูญเสียความร้อน



ภาพที่ 15 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีตัวกักเก็บความร้อน

Solar tunnel drier with integral collector

a) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ขนาดเล็ก

Solar tunnel drier for drying small quantities

b) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่

Solar tunnel drier for drying larger quantities

c) ภาพตัดขวางของตัวกักเก็บความร้อนและตู้อบแห้ง

Cross-section of collector and drier

ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)

อากาศแห้งถูกบังคับให้ผ่านตัวกักเก็บความร้อนโดยใช้พัดลมที่มีมอเตอร์กระแสสลับขนาด 150 วัตต์ ตัวกักเก็บความร้อนเป็นตัวให้ความร้อนแล้วหมุนไป 180 องศา และผ่านอุโมงค์อบแห้ง แผ่นกระจายอากาศ (baffle) ติดตั้งที่ส่วนย้อนกลับเพื่อให้การกระจายของอากาศให้เป็นไปในทิศทางที่ขวางกับตู้อบแห้ง ขณะฝนตกช่องอากาศจะถูกปิด ตะแกรงที่วางไว้ที่ทางเข้าและทางออกจะเป็นตัวป้องกันผลิตภัณฑ์จากแมลง การลดความดันทานอากาศและการใช้พลังงานพัดลมให้น้อยที่สุด อากาศเข้าทางตรงจากด้านล่างของตู้อบแห้งที่มีอุโมงค์วางเรียงเป็นชั้นบาง ๆ แผ่นคลุมโปร่งใสแบบพอลิที่มีอากาศใช้แทนที่พอลิที่เป็น แผ่นพลาสติก โพลีเอทิลีน (polyethylene) ชั้นเดียว เนื่องจากความคงที่ของปริมาณ UV ที่สูงและเพิ่มความแข็งแรงที่มากกระทบ พอลิมีอายุการใช้งาน 5 ปีและพอลิที่มีอากาศจะช่วยให้ช่วยกักอากาศที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเชื่อมพอลิให้อยู่ทั้ง 2 ด้านของความยาว พอลิก็กักอากาศโดยการผลึกของอากาศข้ามเข้าไปใน PVC ซึ่งยึดติดกับส่วนบนของผนังด้านข้าง การสูญเสียความร้อนเกิดขึ้นโดยเมื่อมีการระเหยของน้ำขณะอบแห้งซึ่งสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้โดยการให้พลังงานเสริมซึ่งช่วยให้อุณหภูมิในอุโมงค์ยังคงอยู่ในระดับเดียวกัน

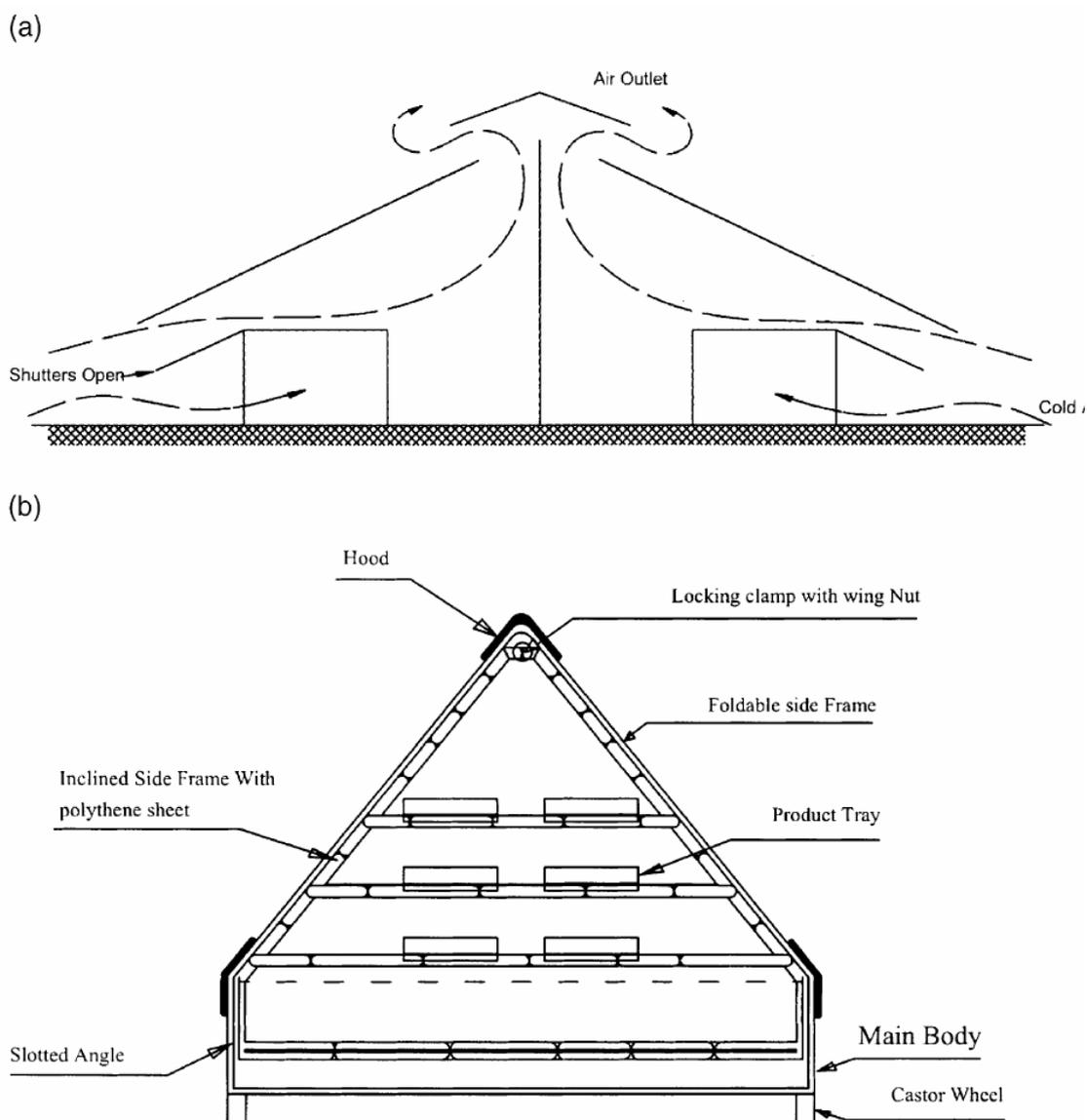
Bala และคณะ (2003) ได้ทำการทดลองอบแห้งสับปะรดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เปรียบเทียบกับการตากแห้ง พบว่า ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีปริมาณ การบรรจุสับปะรดได้ 120-150 กิโลกรัม อุณหภูมิภายในอุโมงค์อยู่ระหว่าง 34.1-64.0 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้ง 3 วัน สับปะรดมีความชื้นลดลงจากร้อยละ 87.32 ความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นร้อยละ 14.13 ความชื้นมาตรฐานเปียก ส่วนการตากแห้งนั้นความชื้นของสับปะรดลดลงจากร้อยละ 87.32 ความชื้นมาตรฐานเปียก เป็นร้อยละ 21.52 ความชื้นมาตรฐานเปียก สับปะรดที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์มีปริมาณ โปรตีนและวิตามินซีสูง คุณภาพดี ไม่มีการปนเปื้อนผงฝุ่น แมลง

วิลาวรรณ คำหาญ (2547) ซึ่งทดสอบสมรรถนะของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมเพื่อใช้อบแห้งพริกจากการทดสอบการอบพริก 2 ครั้ง ครั้งแรกใช้พริก 30 กิโลกรัมสามารถอบพริกที่ความชื้นร้อยละ 70.6 ความชื้นมาตรฐานเปียก จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 3.29 ความชื้นมาตรฐานเปียก อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 24.3-45.9 องศาเซลเซียส ส่วนในการทดลองครั้งที่ 2 ใช้พริก 29.5 กิโลกรัม สามารถอบพริกที่ความชื้นร้อยละ 71.00 ความชื้นมาตรฐานเปียก จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ ร้อยละ 3.93 ความชื้นมาตรฐานเปียก อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าระหว่าง 24.2-40.9 องศาเซลเซียส ซึ่งการอบแห้งแบบนี้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการตากแดดซึ่งใช้เวลาประมาณ 6-7 วัน

2. ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคากระจก (Glass roof solar drier)

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคากระจกมีลักษณะคล้ายตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสภาวะเรือนกระจก ดังแสดงในภาพที่ 16 ประกอบด้วย 2 แฉกขนานกันทำจากตะแกรงที่นำไฟฟ้าวางบนไม้คลุมด้วยหลังคากระจกเอียงตามความยาวจากทิศเหนือ-ใต้ ส่วนบนสุดของหลังคามีสวนที่เป็นลักษณะคล้ายหวมกซึ่งมีช่องว่างให้อากาศร้อนที่ความชื้นออกไปเป็นการสร้างภายในบางส่วนให้เป็นสภาวะสูญญากาศ อากาศใหม่เข้าผ่านรูที่มีอยู่ด้านข้างฝั่งตะวันออกและตะวันตก ถาดและผนังด้านในทาสีดำ กระจกที่เคลื่อนที่ได้อยู่ส่วนล่างของผนังใต้หลังคากระจก และเหนือ โครงซึ่งให้อากาศใหม่เข้าไปในตู้อบแห้งเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายใน ผลึกภัณฑ์ได้รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ซึ่งทะลุผ่านหลังคากระจกและทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น ในฤดูที่มีเมฆและฝนตกเพื่อเพิ่มอัตราการอบแห้ง อากาศร้อนจะถูกให้ทางด้านล่างด้านหนึ่งของโครงสร้าง ตู้อบแห้งชนิดนี้มักใช้ในประเทศบราซิลเพื่ออบแห้งโกโก้

Nair และ Bongirwar (1994 อ้างโดย Pangavhane and Sawhney, 2002) พัฒนาและประดิษฐ์ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพับได้ดังแสดงในภาพที่ 16b โดยใช้ในการทดลองอบแห้งองุ่นที่ 25 และ 100 กิโลกรัม ผนังด้านข้างทำจากอะลูมิเนียมและทาสีดำภายนอก จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงเป็น 2 เท่าของอุณหภูมิปกติในตอนเที่ยง ด้านหลังของตู้อบแห้งแบบนี้เพิ่มความเร็วลมในส่วนนอกอาคารลดอุณหภูมิภายในเพราะความร้อนถูกแทนที่ด้วยอากาศภายนอก



ภาพที่ 16 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคากระจก

Glass solar drier

a) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคากระจก

Glass solar drier

b) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลังคากระจกแบบพับได้

Foldable crop solar drier

ที่มา : Pangavhane และ Sawhney (2002)

ข้อดีของการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Esper และ Mühlbauer (1998) ได้กล่าวถึงข้อดีของการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับกรอบแห้งแบบ open-air มีดังนี้

- มีการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านสี เนื้อสัมผัสและรสชาติอย่างมีนัยสำคัญ

- ไม่มีการปนเปื้อนจากแมลง จุลินทรีย์และเชื้อรา
- เพิ่มอัตราการอบแห้งได้สูงสุด ร้อยละ 50
- ลดการสูญเสียขณะอบแห้งและเก็บรักษา
- เพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

ข้อด้อยของการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

- ไม่สามารถทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ขณะที่สภาวะอากาศไม่ดี เช่น ฝนตก และเวลาสั้น ในช่วงที่มีเมฆมาก ประสิทธิภาพการอบแห้งจะลดลง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็ลดลงด้วย
- ใช้พื้นที่มากในการอบแห้ง พื้นที่ที่ใช้ต้องเป็นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งกีดขวางหรือเงาของสิ่งกีดขวางมาบดบังขณะอบแห้ง
- ความไม่ต่อเนื่องในการอบแห้งจึงไม่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้

หลักการทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกกระทบพื้นอะลูมิเนียมสีดำ หรือผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวดูดรังสีทำให้อุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงขึ้นเกิดการถ่ายโอนความร้อนไปยังวัตถุดิบที่ขึ้นทำให้มีไอน้ำที่มืออยู่ระเหยออกไปเป็นไอน้ำไหลไปกับอากาศ โดยลอยตัวไหลออกทางด้านบนของตู้อบแห้ง

อากาศเย็นจากภายนอกจะไหลเข้าทางด้านหน้าส่วนล่างของตู้อบแห้ง ไปแทนที่อากาศร้อนจากแสงอาทิตย์ต่อไป ภายในตู้อบแห้งจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ 60 องศาเซลเซียส ด้วยคุณสมบัติของกระจกที่เป็นฉนวนในช่วงคลื่นความร้อนและฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี ดังนั้นอากาศภายในตู้อบแห้งจะไหลเวียน โดยธรรมชาติตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์จนกระทั่งวัตถุดิบที่นำมาอบแห้งมีความชื้นลดลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสีย ทั้งนี้ระยะเวลาของการอบนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะของวัตถุดิบที่จะนำมาอบแห้ง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2545)

กลไกของการถ่ายโอนมวล

คู่ออบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเครื่องอบแห้งซึ่งใส่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งและส่วนที่เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อทำให้อากาศร้อน ตัวรับรังสีที่นิยมใช้เป็นแบบแผ่นเรียบซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ แผ่นปิดใสด้านบน (cover plate) เป็นวัสดุใสที่ปิดด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยยอมให้รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าไปถึงแผ่นดูดความร้อนสู่บรรยากาศภายนอก ทั้งยังป้องกันการเสียหายอันอาจเกิดกับแผ่นดูดความร้อนด้วย ส่วนที่ 2 คือ ตัวเก็บความร้อน (absorber) เป็นส่วนหนึ่งของแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งดูดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงกระทบและถ่ายโอนความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่านไปยังส่วนเครื่องอบแห้ง ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมักจะติดตั้งในลักษณะที่เอียงทำมุม 14 องศากับพื้นราบ

ดังนั้นความร้อนซึ่งวัตถุดิบนำไปใช้ในการระเหยน้ำ ส่วนหนึ่งมาจากการที่ตัวมันดูตรงรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง อีกส่วนหนึ่งมาจากรังสีซึ่งตกกระทบพื้นผิวสีดำของแผ่นดูดแล้วทำให้อากาศที่ผ่านพื้นผิวสีดำมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนไหลผ่านวัตถุแล้วลอยตัวออกทางช่องอากาศออกด้านบน เราจึงต้องการมุมเอียงของแผ่นปิดใสที่ทำให้ปริมาณรังสีผ่านแผ่นปิดใส เข้าสู่ตัวเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงเป็นการเพิ่มอัตราการอบแห้ง ในขณะที่เดียวกันอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านคู่ออบแห้งควรมีค่าสูงด้วย (สมยศ จรรยาวิลาส และคณะ, 2533)

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (วิลาวรรณ คำหาญ, 2547) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานของความร้อนที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ หรือ

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{solar}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } Q_u = m \dot{C}_p (T_{Fo} - T_{Fi}) \quad (7)$$

$$\text{เมื่อ } Q_u = \text{พลังงานที่ได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (J/s)}$$

$$m \dot{C}_p = \text{อัตราการไหลของอากาศ (Kg/s)}$$

$$C_p = \text{ความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/Kg}^\circ\text{C)}$$

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

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

$$\text{โดยที่ } m \dot{C}_p = A \rho v \quad (8)$$

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

$$\text{โดยที่ } Q_{solar} = A_c I_T \quad (9)$$

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

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้ง (η) คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบต่อพลังงานที่ให้กับตู้อบแห้ง (Bena and Fuller, 2002) สำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลของอากาศเป็นแบบธรรมชาติ

$$\eta = \frac{WL}{IA} \quad (10)$$

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

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. การศึกษาการออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการควบคุมการไหลของอากาศโดยใช้ผนังกันเพื่อเป็นอุปกรณ์ช่วยในการควบคุมการไหลของอากาศ
2. ศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในสภาวะที่มีและไม่มีการอบแห้งตัวอย่าง