

บทที่ 2

การอบแห้ง



2.1 นิยาม (5)

การอบแห้งคือ กระบวนการที่ทองการเอาน้ำออกจากวัสดุ โดยทำให้หน้าที่มีอยู่ในวัสดุนั้น ๆ ระเหยไป ในการทำเช่นนี้บางครั้งจำเป็นต้องให้ความร้อนเท่ากับความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เพื่อให้การอบแห้งเร็วขึ้น

2.2 กระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นเวลานานมาแล้วที่มนุษย์ รู้จักการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการง่าย ๆ กล่าวคือ เอารวมหรืออาหารที่ทองการทำแห้งวางไว้ในภาชนะแบนราบ แล้วยกไปตั้งไว้กลางแจ้งเพื่อรับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ บ้านที่ได้รับความร้อนจะแห้งก่อน จึงต้องทำการกลบวัสดุหรือชิ้นอาหารนั้นให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ และมีปัญหาที่ชาวบ้านประสบกันบ่อย ๆ คือ ในฤดูฝนต้องคอยระวังดูแลอยู่ตลอดเวลา เมื่อฝนตกต้องช่วยกันเก็บวัสดุหรืออาหารที่ตากมาไว้ในร่ม ส่วนในฤดูร้อนและฤดูหนาว อากาศแห้งและมีฝุ่นละอองมาก ทำให้ของที่ตากไว้สกปรก บางครั้งถูกรบกวนจากแมลงและนก ทำความเสียหายแก่ของที่ตากไว้ เพื่อขจัดปัญหากังกล่าวได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้ทดลองสร้างเครื่องมือที่สามารถใช้อบแห้งของต่าง ๆ ด้วยพลังงานจากดวงอาทิตย์ในทุกสภาวะอากาศ เครื่องมือที่นักวิทยาศาสตร์ได้สร้างขึ้นมีหลายแบบด้วยกันคือ แบบที่เป็นโครงมีวัสดุใส่ปกคลุมวัสดุที่ตากไว้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยตรง (6) หรือแบบที่มีแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีอากาศไหลผ่านกลายเป็นอากาศร้อนไหลผ่านชั้นตากวัสดุ (1) อากาศก็จะถ่ายเทความร้อนให้วัสดุนั้นและพัดเอาไอน้ำบางส่วนติดตามไปด้วย หรือเป็นแบบที่มีทั้งส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง และมีแผงรับแสงอาทิตย์ด้วย (3,7)

2.2.1 ผลงานในอดีต

ในประเทศไทย R.H.B. Exell แห่งสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย(7) ได้ทำการออกแบบเครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นเครื่องอบแห้งที่มีขนาดใหญ่ โครงสร้างทำด้วยไม้ไผ่และมีพลาสติกใสคลุม ราคาคง ก่อสร้างได้ง่าย สามารถอบข้าวได้ครั้งละ 1 ตัน ลักษณะของเครื่องอบเป็นแบบที่มีทั้งส่วนที่รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง และมีแผงรับแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.1 ก และ 3.1 ข

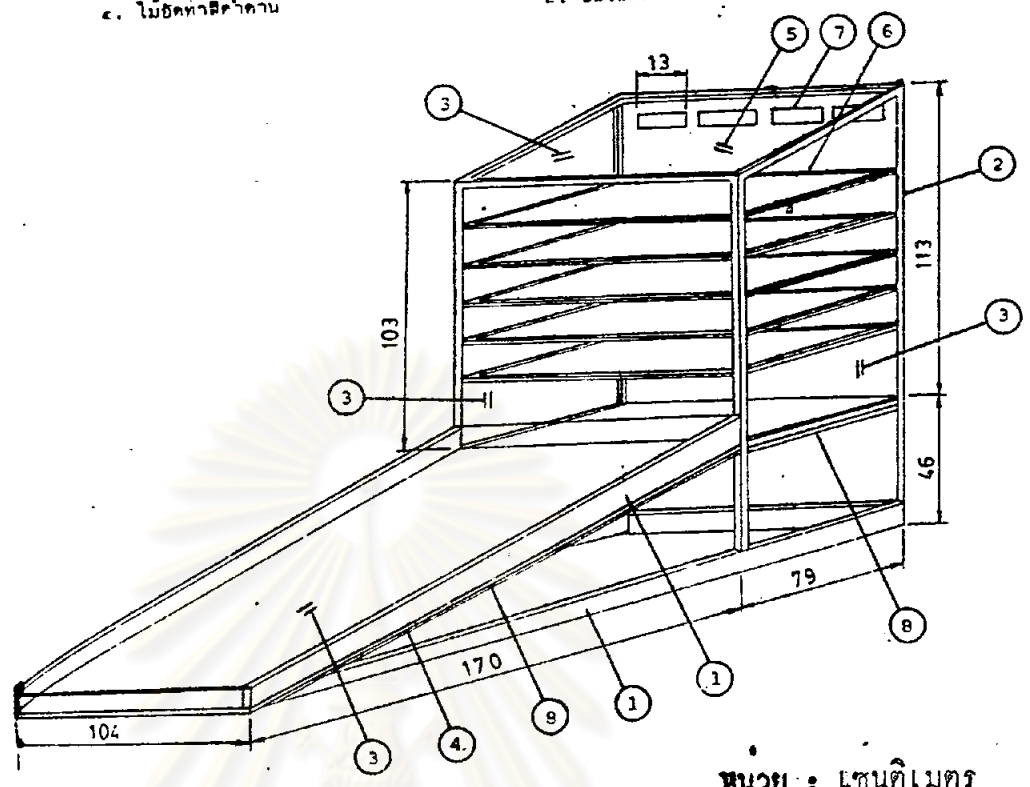
จากการทดลองอบข้าวโดยใช้เครื่องอบข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดย สมพงษ์ บุญธรรมจินดา และคณะ (8,2) ได้ทำการทดลองอบเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ กข.7 ซึ่งทำการเกี่ยวสด ความชื้นเมล็ดข้าวก่อนอบร้อยละ 20 มาตรฐานเปียก อบจนมีความชื้นร้อยละ 13 ทำการทดลองในฤดูฝนขณะสภาพท้องฟ้าแจ่มใส พบว่า ความหนาของชั้นข้าวบนชั้นคากข้าวที่เหมาะสมคือ 100 มม. เทียบกับความหนาชั้นข้าวอื่น ๆ เพราะการอบโดยใช้เวลาเท่ากัน การอบข้าวที่ความหนาชั้นข้าว 100 มม. นี้ปริมาณข้าวสุกที่อบได้จะมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่อบภายในเครื่องอบจะไ้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด และเปอร์เซ็นต์ความงอกของข้าวเปลือกสูงกว่าของเมล็ดข้าวเปลือกที่ตากแดดกลางแจ้งธรรมดา ประสิทธิภาพของเครื่องอบในฤดูฝนอยู่ในช่วงร้อยละ 5-12 การเปลี่ยนข้าวเปลือกในเครื่องอบอย่างสม่ำเสมอประมาณ 2-3 ครั้งต่อวัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบขึ้นร้อยละ 5

สุวัฒน์ ไทชนะ(3) แห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ออกแบบและวิจัยเครื่องอบขนาดเล็ก ลักษณะประกอบด้วยตู้อบและแผงรับแสงอาทิตย์ ลักษณะโครงสร้างทำด้วยเหล็กคานหน้าและคานข้างปิดด้วยกระจก เครื่องหนึ่งอีกเครื่องหนึ่งปิดด้วยพลาสติกใส ตู้อบมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง $1.04 \times 0.79 \text{ m}^2$ คานหน้าติดกับแผงรับแสงอาทิตย์สูง 1.03 ม. คานหลังสูง 1.13 ม. ประกอบด้วยชั้นวางของเรียงซ้อนกันตามแนวความสูง 5 ชั้น ส่วนบนของคานหลังตู้อบมีของระบายอากาศขึ้นสามารถปรับขนาดได้ คานหน้าตู้อบติดกับแผงรับแสงอาทิตย์ ขนาดพื้นที่ $1.04 \times 1.76 \text{ m}^2$ ลักษณะของเครื่องอบโค่นสกลงไว้ในรูปที่ 2.1 .ก ลักษณะการ

ส่วนประกอบของตู้อบแห้งหมายเลข ๑ และ ๒

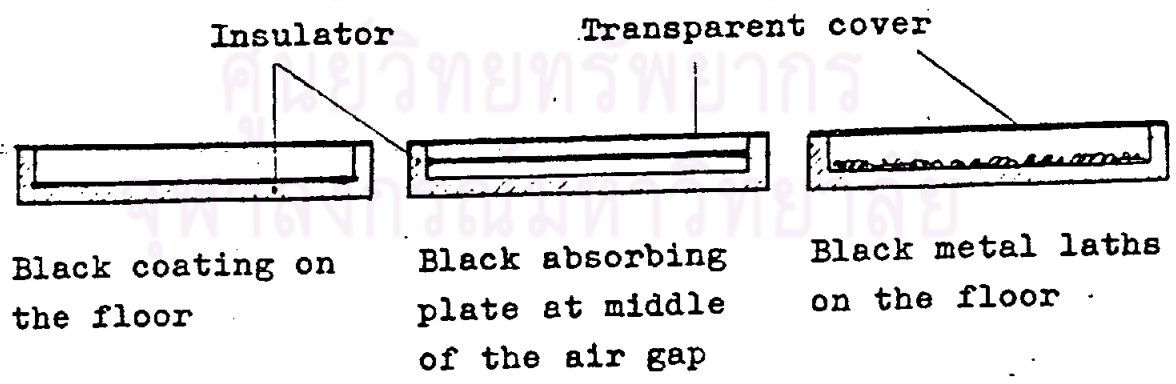
- ๑. เหล็กโครงตัววาง ขนาด ๒" X ๑"
- ๒. เหล็กโครงตัววาง ขนาด ๑" X ๑"
- ๓. กระดาษใยหรือแผ่นพลาสติกใส
- ๔. ไม้ขัดทำสีกาด้วน

- ๕. ไม้ขัดทำสีกาด้วน (ทำอีกด้านหนึ่งด้วย)
- ๖. แผ่นตะแกรง
- ๗. ช่องระบายอากาศขึ้น
- ๘. อนุกรมกับถาดบรรจุ



หน่วย : เซนติเมตร

รูปที่ 2.1.ก ตู้อบพลังแสงอาทิตย์ ของ สุวัฒน์ ไทชนะ (3)



Details of absorbing surfaces

รูปที่ 2.1.ข ลักษณะแผงรับแสงอาทิตย์ (9)



ทำงานของเครื่องอบ เป็นแบบที่ ได้รับทั้งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง และโดยทางอ้อมจากแผงรับแสงอาทิตย์ ทดลองอบผ้าสาส์นชุบน้ำ ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติการระเหยน้ำของผ้าพลาสติกซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 25.5 สูงกว่าคุณสมบัติการระเหยน้ำของผ้าพลาสติกซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 21.3 เมื่อทดลองเปรียบเทียบการอบภายในตู้อบที่ไม่มีแผงรับแสงอาทิตย์ และการอบภายในตู้อบลักษณะเดียวกันเมื่อมีแผงรับแสงอาทิตย์ ผลการทดลองปรากฏว่าการอบภายในตู้อบที่ไม่มีแผงรับแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่การอบภายในตู้อบเมื่อมีแผงรับแสงอาทิตย์สามารถอบแห้งได้เร็วกว่า ลักษณะการแห้งของวัตถุดิบในแต่ละชั้น ชั้นบนสุดได้แก่ชั้นที่หยาบแห้งเร็วที่สุด รองลงมาได้แก่ชั้นที่หนึ่ง ชั้นที่สองและชั้นที่สามอัตราการแห้งใกล้เคียงกัน ส่วนชั้นที่สามซึ่งอยู่ตรงกลางจะแห้งช้าที่สุด

ปริศา วิบูลย์สวัสดิ์ และ ชัยวัฒน์ นิยมการ (9) แห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำการทดลองทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ 6 แบบ สำหรับใช้กับตู้อบแสงอาทิตย์ซึ่งกั้นหน้าและกั้นข้างปิดทับด้วยกระดาษหนา 3 มม. ที่ผิวในกั้นหลังและพื้นของตู้อบทำด้วยสีกา แผงรับแสงอาทิตย์ทดลองปิดทับด้วยวัสดุ 3 แบบ ได้แก่ กระดาษ acrylic plastic และ fibre-reinforced plastic และทดลองใช้แผ่นรับความร้อน 2 แบบได้แก่ แบบที่วางแผ่นโลหะสีกาขึ้นเล็ก ๆ ลงบนพื้น และแบบที่ใช้แผ่นโลหะสีกาวางไว้ตรงกลางของว่างระหว่างพื้นและกระดาษของแผงรับแสงอาทิตย์ ลักษณะแผงรับแสงอาทิตย์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1. ข ทดลองอบผ้าพิมพ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมชุบน้ำ ทางออกของอากาศชั้นปรับช่องว่างของค่าที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองพบว่า แผงรับแสงอาทิตย์แบบปิดทับด้วยกระดาษ และใช้แผ่นรับความร้อนแบบแผ่นโลหะสีกาวางไว้ตรงกลางของว่างระหว่างพื้นและกระดาษของแผงรับแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการอบสูงสุด จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยวิธี annual cost method พบว่าพลังงานที่ได้รับคิดเป็นเงิน 0.69 บาท/กิโลวัตต์. ชั่วโมง เมื่ออายุการใช้งานของแผงรับแสงอาทิตย์ 5 ปี

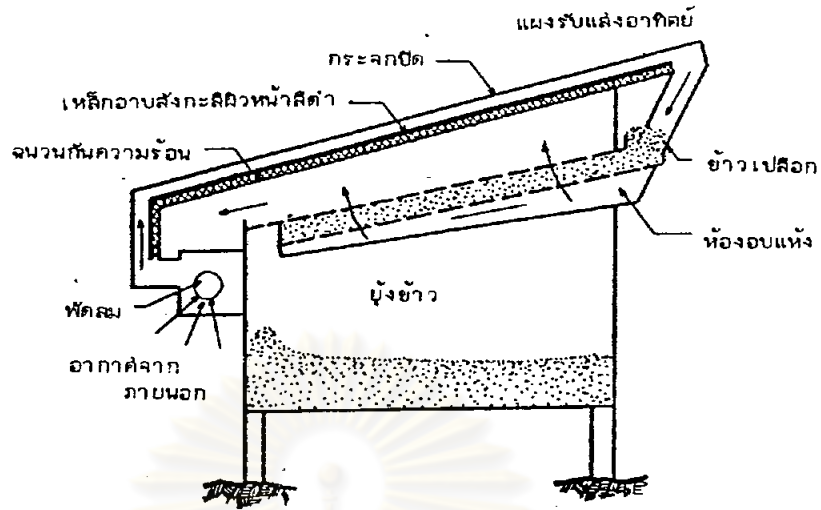
ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ มานิจ ทองประเสริฐ (1) แห่งคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการออกแบบเครื่องอบข้าวพลังงาน

แสงอาทิตย์ โดยการสร้างแบบจำลอง (Simulation Model) ของเครื่องอบแห้ง ผลจากการคำนวณเพื่อให้ได้เครื่องอบขนาดความสามารถในการอบครั้งละ 1,000 กก. อบข้าวจากความชื้นร้อยละ 21-23 มาตรฐานเปียก ลงเหลือร้อยละ 14 ในช่วงเวลา ไม่เกิน 6 ชม. ผลที่ได้คือเครื่องอบแห้งขนาดจริงประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ขนาด 16 ม² โดยติดตั้งแผงสังกะสีมุงหลังคาข้างข้าวที่มีอยู่เดิมเป็นแผ่นกักแสงอาทิตย์ ท่อส่งอากาศร้อนเป็นแบบโลหะแผ่นพับขึ้นรูปลักษณะเช่นเดียวกับท่อส่งอากาศในระบบปรับอากาศขนาดท่อ 0.53 x 0.28 ม² ยาวประมาณ 8 ม. ตู้อบข้าวประกอบด้วยโครงเหล็กจากส่วนบนทำเป็นห้องอบปิด โดยรอบด้วยไม้ฉีก กั้นบนเป็นตะแกรงเหล็ก ห้องอบจะเอียงเป็นมุม 5° ด้านหน้าและหลัง ของตู้อบทำแบบเปิดและเปิดได้เมื่อข้าวเปลือกแห้งได้ความชื้นที่กำหนดเปิดแผ่นปิดกั้นหลังตู้อบ ให้ข้าวไหลลงบนพื้นยังข้าว ซึ่งข้าวจะเก็บไว้หรือนำไปจำหน่ายต่อไป พัดลมส่งอากาศร้อน ให้อัตราการไหลอากาศประมาณ 45.3 ลบ.ม. / นาที ที่ความดันสถิตยประมาณ 0.7 นิ้วของน้ำ ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1.08 เมกะจูล ราคาเครื่องอบประมาณ 19,340 บาท ค่าบำรุงรักษาปีละ 1,934 บาท ค่าใช้เครื่องครั้งละ 5 บาท ต่อการอบข้าว 1 เกวียน ลักษณะของเครื่องอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2

2.3 กระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงต่าง ๆ

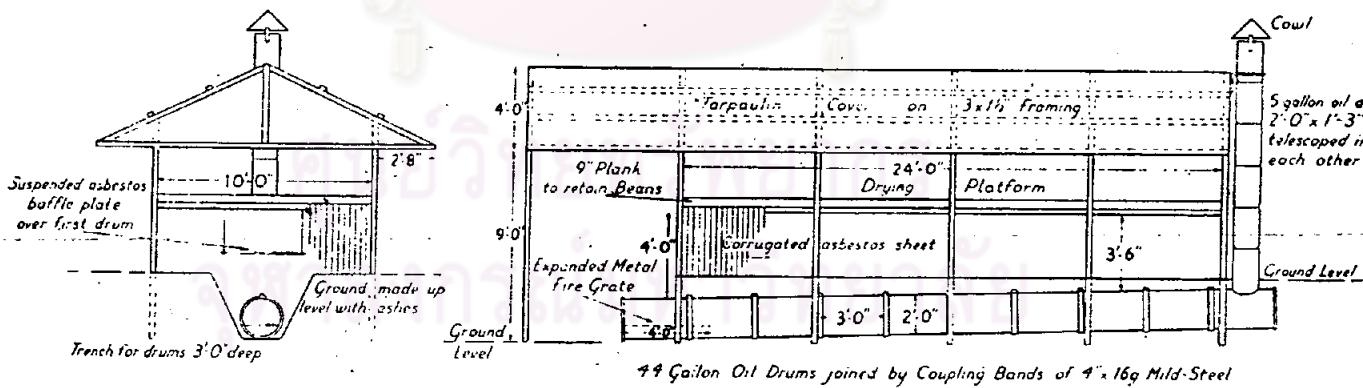
2.3.1 เชื้อเพลิงจากวัสดุการเกษตร

เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานจากดวงอาทิตย์ ได้แก้ปัญหาเรื่อง ฝน ฝุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ แล้ว ในบางกรณีอาหารหรือวัสดุที่ต้องการอบแห้งนั้นมีเวลาจำกัด เพราะถ้าทิ้งไว้นานอาจเสียหรือเน่าได้ ในฤดูฝนหรือเวลากลางคืนไม่มีพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านมายังโลกเรา จำเป็นที่จะต้องออกแบบเครื่องมือสำหรับทำการอบแห้งโดยใช้แหล่งพลังงานอื่นมาช่วย นอกเหนือไปจากพลังงานแสงอาทิตย์



ลักษณะ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 2.2: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และ มานิจ ทองประเสริฐ (1)



Sectional drawing of a prototype hot-air drier.
(Courtesy Cadbury Bros. Ltd.)

รูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งของบริษัท Cadbury Brothers (10) แห่งประเทศอังกฤษ

บริษัท Cadbury Brothers (10) แห่งประเทศอังกฤษ ได้ทำการออกแบบ เครื่องอบแห้ง ลักษณะเตาทำควยถึงน้ำมัน 200 ลิตร จำนวน 10 ลูก นำมาเปิดหัวท้าย ยกเว้นลูกสุดท้ายซึ่งเปิดหัวปิดท้าย นำมาเชื่อมต่อกันเป็นท่อยาว ปลายท่อเชื่อมต่อกับปล่องไฟ เหนือท่อถึงน้ำมันมีชั้นตากของนอกจากนี้ยังมีหลังคาถักฝนอีกชั้นหนึ่ง ในถึงน้ำมันใบแรกได้จัด ทะแกรงรองรับเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ การควบคุมอัตราการเผาไหม้กระทำโดยการเปิด ปิดฝาหน้าเตามากน้อยตามต้องการ ความร้อนถูกถ่ายเทจากผนังท่อสู่ชั้นตากข้างบน อุณหภูมิ อากาศที่โคจรประมาณ 60-80 °ซ สามารถอบถั่วหมัก (fermented bean) หนัก 450 กก. ให้แห้งภายใน 40-44 ชม. ได้มีการนำเครื่องอบนี้ไปใช้ใน Cameroon ลักษณะของ เครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

เรื่องศรี ศรีหะวงษ์ และคณะ (4) ได้ทำการออกแบบและวิจัยเครื่องอบเมล็ดพืช สำหรับเกษตรกร โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง หรือใช้น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันเตาแทน ลักษณะ ของเครื่องมือประกอบด้วยใส่เมล็ดพืชขนาดบรรจุ 2 เกวียน หรือ 3.62 ตบ.ม ข้าวเปลือก พักลม เตาเผาแกลบ และเครื่องยนต์ ลักษณะของเครื่องมือโคแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ลักษณะ การทำงานของเครื่องมือ อากาศร้อนที่ออกจากเตาเผาแกลบมีอุณหภูมิประมาณ 200 °ซ ผสมกับ อากาศข้างนอก ทำให้โคอุณหภูมิประมาณ 43-60 °ซ ผลการทดลองอบเมล็ดข้าวเปลือกหนัก 2 เกวียน ปริมาณความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 20-26 มาตรฐานเปียก ลดลงเหลือร้อยละ 14 ความ เร็วลม 0.85 ตบ.ม / นาที คือ ตบ.ม ข้าวเปลือก ใช้เวลาในการอบ 6 ชม. ใช้แกลบ ประมาณ 7 กก. หรือประมาณครึ่งกระสอบต่อ ชม.ที่อบ ในการอบแต่ละครั้งจะใช้แกลบ อย่างมากประมาณ 2-3 กระสอบ เมื่อใช้เวลาอบ 4-6 ชั่วโมง เมื่อเวลาที่ไม่ม่แกลบสามารถ ใช้เครื่องยนต์แทนได้ สามารถปรับอุณหภูมิอากาศร้อนตามต้องการได้ โดยการปรับอัตราการไหล ของแกลบหรือน้ำมันใหม่มากขึ้นหรือลดลง

2.3.2 เชื้อเพลิงจากถ่านหิน

ในประเทศไทย การมีใบยาสูบใช้ความร้อนจากเตาอบขนาดใหญ่ ซึ่งเป็น เตาแบบเก่าใช้กันมานาน หลังจากเกิดวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงาน สมบูรณ์ ภักดี วิมรงค์

ภิญโญ และคณะ (11) จึงได้ทำการออกแบบและปรับปรุงระบบการวางท่อลมร้อนจากเตาขึ้นใหม่ เพื่อให้ประหยัดเชื้อเพลิง ลักษณะเตาสร้างด้วยอิฐเผาเป็นแบบเตาเดี่ยว แต่ละโรงนมมี 2 เตา อยู่ก้านหน้าของโรงนม ตะแกรงรองรับถาดวาง 60° กับพื้นเตา ช่องหน้าเตาและที่ช่อง เชื้อถ่านมีฝาเหล็กแผ่นเลื่อนเปิดมากหรือน้อยตามความจำเป็นได้ ท่อคนไฟมี 2 ช่วง ช่วงแรก เป็นท่อเหล็กหล่อ ข้างนอกท่อมีครีบริบายความร้อน ช่วงที่สองเป็นทังน้ำมัน 200 ลิตร และมีครีบริบายความร้อนเช่นกัน ท่อไอร้อนเดินท่อซ้อนและเรียงขนานกันไปจำนวน 4 ท่อ มีปุ่ม พักไอร้อนอยู่ที่ฝาผนังก้านหน้าโรงนม เป็นจุดรวมของท่อทั้งสิ้น จากนั้นเป็นท่อเดี่ยวเดินท่อทะลุ ฝาผนังก้านหลังไปเชื่อมต่อกับปล่องควันซึ่งสูงประมาณ 12 เมตร ลักษณะการวางท่อดังรูปที่ 2.5 ผลการทดลองพบว่า โรงนมแบบปรับปรุงใหม่ สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ถึงร้อยละ 29 แต่มีความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิเล็กน้อยภายในโรงนม

จะเห็นได้ว่าจากผลงานที่ปรากฏได้มีการออกแบบเครื่องอบที่ใช้เฉพาะ พลังงานจากแสงอาทิตย์และเครื่องอบที่ใช้เฉพาะพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ควรที่จะ ได้มีการทดลองออกแบบเครื่องอบที่สามารถใช้ได้ทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจาก เชื้อเพลิง โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันหรือขณะที่มีแสงแดดเพียงพอ และ ใช้เชื้อเพลิงในเวลากลางคืนหรือในขณะที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเครื่องอบ ข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ใหม่อีกส่วนสำหรับใช้พลังงานจาก เชื้อเพลิง โดยเพิ่มส่วนที่เป็นท่อเผาไหม้เข้าไป โดยศึกษาจากลักษณะของเตาบริษัท Cadbury Brothers แห่งประเทศอังกฤษ ซึ่งช่างก็ออกแบบเพื่อนำไปใช้ในชนบท

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง (12)

ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งที่สำคัญได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศ

2.4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของอากาศควรรักษาให้ต่ำกว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับ จุดประสงค์ของการอบในครั้งนั้น เช่นควรรักษาไม่ให้เกิน 43°C (110°F) เมื่อต้องการ

อบเมล็ดพืชเพื่อนำไปปลูก หากอุณหภูมิสูงถึง 51.5 °ซ (125 °ฟ) จะทำลายคุณสมบัติในการงอกของเมล็ดส่วนใหญ่ สำหรับข้าวอุณหภูมิอากาศที่โชยไม่ควรเกิน 60 °ซ (140 °ฟ) . เมื่อต้องการนำเมล็ดไปสี แต่โดยทั่วไปมักอบข้าวที่อุณหภูมิประมาณ 45 °ซ (113 °ฟ) (8) ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถทำการอบแห้งได้เร็วขึ้น แต่การอบนานเกินไปหรืออุณหภูมิสูงเกินไป จะเกิดความเสียหายทั้งทางกายภาพและทางเคมีแก่ผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดการหัก เป็นต้น

2.4.2 ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์

อากาศที่มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะสามารถรับไอน้ำไว้ได้มากกว่า จะถึงความชื้นสัมบูรณ์ ค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศถูกควบคุมโดยปริมาณความร้อนและการไหลเวียนของอากาศ

2.4.3 อัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นวัสดุใดมากหรือน้อยขึ้นกับความต้านทานในการไหล ซึ่งเกิดจากความต้านทานของชั้นวัสดุ และความต้านทานของชั้นตากซึ่งมีลักษณะเป็นรู หรือช่องดี ซึ่งหากว่าพื้นที่ของหรือรูนี้คิดเป็นประมาณร้อยละ 10 หรือมากกว่าของพื้นที่ชั้นตากทั้งหมดแล้วถือว่าความต้านทานเนื่องจากรูนั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานเนื่องจากการไหลผ่านชั้นวัสดุจึงจะทิ้งได้ ความต้านทานเกิดขึ้นเนื่องจากสูญเสียพลังงานจากความเสียด (friction) และความปั่นป่วน (turbulence) ความต้านทานนี้สามารถเอาชนะได้โดยเพิ่มความดัน (pressure) ที่ทางเข้า และหรือโดยทำให้เกิดสูญญากาศ (vacuum) ที่ทางออกของอากาศ หากความต้านทานในการไหลน้อย อัตราการไหลของอากาศจะสูงขึ้นช่วยให้อัตราการตากแห้งเร็วขึ้น

2.5 อัตราการอบแห้ง (13)

ความสามารถในการอบแห้งขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการถ่ายเทมวลสารความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจะถูกพาไปที่ผิววัสดุ หรือใกล้กับผิววัสดุ หรือภายใน

ผิววัสดุ ขึ้นกับชนิดของวัสดุและสภาวะในการอบแห้ง ความชื้นจะผ่านวัสดุออกมาโดยเป็นน้ำ หรือเป็นไอน้ำสู่ผิวของวัสดุและผ่านสู่อากาศต่อไป

2.5.1 อัตรการอบแห้งคงที่

หลังจากการอบแห้งช่วงแรกซึ่ง เป็นช่วงที่ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับ อุณหภูมิอากาศร้อน จากนั้นจะเป็นช่วงการอบแห้งคงที่ ในช่วงนี้วัสดุจะเปียกมาก น้ำส่วนใหญ่ จะอยู่ที่ผิวโคครอบของวัสดุ ถ้าวัสดุนั้นไม่มีรูพรุน น้ำที่ระเหยออกไปส่วนใหญ่ไคแก่ น้ำที่อยู่ โคครอบผิวของวัสดุ ถ้าวัสดุมีรูพรุนน้ำส่วนใหญ่ที่ระเหยออกไปในช่วงอัตรการอบแห้งคงที่นี้ ส่วนใหญ่มาจากภายในวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ประมาณอุณหภูมิที่ระเหยเปียก (wet-bulb temperature) ทรายไคที่ยังมีความชื้นเหลือในรูปของน้ำที่ผิววัสดุ

2.5.2 อัตรการอบแห้งไม่คงที่

เมื่อปริมาณความชื้นลดลงกัวยอัตรการคงที่จนถึงค่าปริมาณความชื้นค่าหนึ่ง เมื่อทำการอบแห้งต่อไป อัตรการอบแห้งจะลดลง ปริมาณความชื้นที่จุดคอระหว่างช่วง อัตรการอบแห้งคงที่และช่วงอัตรการอบแห้งลดลงเรียกว่า ปริมาณความชื้นวิกฤต เรียกจุด นั้นว่า จุดวิกฤต จุดนี้เกิดขึ้นเมื่อน้ำที่ผิวของวัสดุไม่เพียงพอที่จะคลุมพื้นที่ผิววัสดุทั้งหมด ใน วัสดุที่ไม่มีรูพรุน จุดวิกฤตเกิดขึ้นเมื่อความชื้นที่ผิวระเหยออกไปหมด ในวัสดุที่มีรูพรุนจุดวิกฤต เกิดขึ้นเมื่อ อัตรการไหลของความชื้นไปที่ผิววัสดุไม่เท่ากับอัตรการระเหยของน้ำจากผิววัสดุ

2.6 การถ่ายเทความร้อนของท่อเผาไหม้ (14)

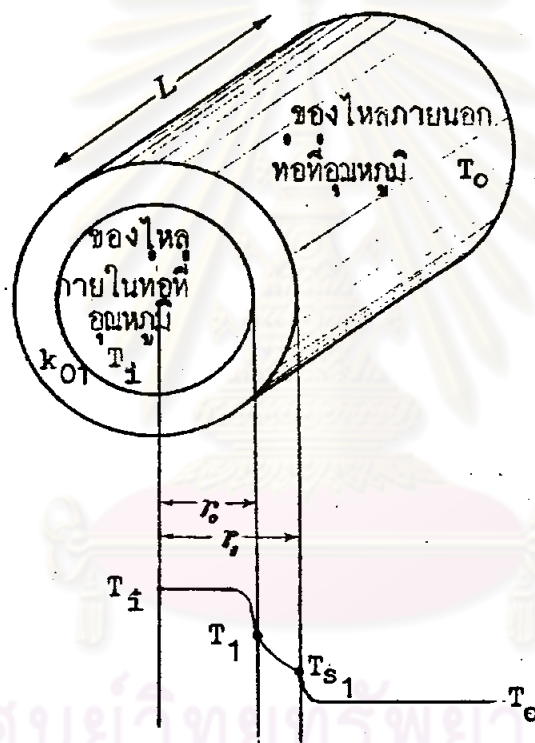
ลักษณะของท่อเผาไหม้ประกอบด้วยท่อยาว ปลายท่อเชื่อมต่อกับปล่องเผาไหม้ ภายใน ท่อมีอากาศร้อนไหลผ่านออกสู่บรรยากาศทางปล่องเผาไหม้ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรายใน ท่อสู่อากาศรอบผนังท่อบมี 2 ลักษณะใหญ่ ๆ ไคแก่ การนำความร้อนและการพาความร้อน

ขั้นตอนการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังท่อ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจากอากาศร้อนภายในท่อสู่ผนังท่อชั้นใน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำความร้อนผ่านผนังท่อ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการพาความร้อนจากผนังท่อสู่อากาศที่อยู่โดยรอบ



รูปที่ 2.6 การส่งถ่ายความร้อนผ่านผนังท่อสู่อากาศโดยรอบ

Bird, Stewart และ Lightfoot (14) ได้แสดงสมการอธิบายการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายในห้องผิวเรียบสู่บรรยากาศภายนอก ไว้ดังนี้



กรณี Steady state

$$Q_o = \frac{2\pi L (T_i - T_o)}{\frac{1}{r_o h_o} + \frac{\ln r_1/r_o}{k_{o1}} + \frac{1}{r_1 h_1}} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ Q_o = อัตราการส่งถ่ายความร้อนจากภายในห้องสู่บรรยากาศ, จูล/วินาที

L = ความยาวท่อ, เมตร

T_i = อุณหภูมิอากาศภายในท่อ, องศาเซลเซียส

T_o = อุณหภูมิอากาศภายนอกท่อ, องศาเซลเซียส

r_o = รัศมีภายในท่อ, เมตร

r_1 = รัศมีภายนอกท่อ, เมตร

h_o = สัมประสิทธิ์การส่งถ่ายความร้อนระหว่างอากาศภายในท่อ และผนังท่อภายใน, จูล/วินาที. เมตร² องศาเซลเซียส

h_1 = สัมประสิทธิ์การส่งถ่ายความร้อนระหว่างอากาศภายนอกท่อ และผนังท่อภายนอก, จูล/วินาที. เมตร² องศาเซลเซียส

k_{o1} = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของท่อ, จูล/วินาที. เมตร² องศาเซลเซียส

กรณี Steady state และค่า \hat{C}_p คงที่

$$Q = W \hat{C}_p (T_o - T_a) \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่อากาศภายนอกท่อผนังท่อได้รับจากท่อเผาไหม้, จูล/วินาที

W_a = อัตราการไหลของมวลอากาศผ่านผนังท่อเผาไหม้, กิโลกรัม/วินาที

\hat{C}_p = ความจุความร้อนของอากาศ, จูล/กิโลกรัม. องศาเซลเซียส

T_a = อุณหภูมิบรรยากาศ, องศาเซลเซียส

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังท่อเผาไหม้สู่อากาศโดยรอบท่อ

$$Q_1 = h_1 \sqrt{DL} (T_s - T_a) \dots \dots \dots (3)$$

เมื่อ Q_1 = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังท่อเผาไหม้สู่อากาศโดยรอบท่อ, จูล/วินาที

T_s = อุณหภูมิที่ผนังท่อเผาไหม้, องศาเซลเซียส

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ, องศาเซลเซียส

เมื่อไม่คิดว่าการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนจากผนังท่อจะได้ว่า

$$W \hat{C}_p (T_o - T_a) = h_1 \sqrt{DL} (T_s - T_a)$$

ขณะที่อากาศร้อนไหลผ่านภายในท่อเผาไหม้ อากาศร้อนภายในท่อจะถ่ายเทปริมาณความร้อนส่วนหนึ่งสู่อากาศภายนอกของผนังท่อเรื่อยไปตามระยะทางการไหล ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในท่อลดลงตามลำดับ อากาศร้อนจะไหลผ่านท่อสู่บรรยากาศทางปล่อง ปริมาณความร้อนส่วนหนึ่งจะถ่ายเทผ่านผนังปล่องเผาไหม้สู่อากาศรอบปล่องเผาไหม้ ทั้งสมการ

กรณี Steady state

$$Q_2 = h_2 \sqrt{DL_s} (T_c - T_a) \dots \dots \dots (4)$$

เมื่อ Q_2 = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังปล่องเผาไหม้สู่อากาศรอบปล่องเผาไหม้, จูล/วินาที

h_2 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากผนังปล่องเผาไหม้สู่อากาศโดยรอบปล่องเผาไหม้, จูล/วินาที. เมตร² องศาเซลเซียส

T_c = อุณหภูมิ ผนังปล่องเผาไหม้, องศาเซลเซียส

L_s = ความยาวปล่องเผาไหม้, เมตร

และปริมาณความร้อนส่วนที่เหลือ (Q_3) จะถูกพาไปกับอากาศร้อนออกสู่บรรยากาศ

$$Q_3 = W_s \hat{C}_p (T_h - T_a) \dots \dots \dots (5)$$

เมื่อ Q_3 = ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับอากาศร้อนทางปล่องเผาไหม้, จูล/วินาที

W_s = อัตราการไหลของมวลอากาศผ่านปล่องเผาไหม้, กิโลกรัม/วินาที
 T_h = อุณหภูมิอากาศร้อนที่ออกจากปล่องเผาไหม้, องศาเซลเซียส

2.7 ปล่องเผาไหม้ (15)

เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดการระเหยอากาศขึ้นตามธรรมชาติ โดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ อากาศร้อนมีความหนาแน่นต่ำ จึงมีน้ำหนักเบากว่าอากาศเย็นที่มีปริมาตรเท่ากัน ดังนั้นอากาศร้อนจึงลอยตัวสู่เบื้องบน อากาศร้อนภายในปล่องเผาไหม้มีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็นรอบ ๆ ปล่องเผาไหม้ อากาศในปล่องเผาไหม้ลอยตัวขึ้นข้างบน ทำให้เกิดแรงยกภายในปล่องเผาไหม้ขึ้น ช่วยให้การไหลของอากาศเร็วขึ้น การสิ้นเปลืองเร็วขึ้น อุณหภูมิในการสันดาปสูงขึ้น ทำให้การสันดาปมีประสิทธิภาพสูง

2.8 เชื้อเพลิง

ในการวิจัยมุ่งเน้นที่จะใช้เชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายในชนบท เช่น เศษกิ่งไม้ ใบไม้ ฟืน ถ่านไม้ หรือเศษวัสดุจากการเกษตร แต่ในการทำงานวิจัยต้องทราบค่าปริมาณความร้อนที่แน่นอนของเชื้อเพลิง และความสะอาดในการหาค่าปริมาณความร้อน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมาก และต้องคำนึงถึงความสามารถในการหาเชื้อเพลิงมาใช้ในสถานวิจัยได้ จึงได้เลือกใช้ถ่านไม้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ใช้สามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงใด ๆ ที่มีอยู่แทนถ่านไม้ได้

2.8.1 ลักษณะและคุณสมบัติของถ่านไม้ (15)

ถ่านไม้ประกอบด้วยสารต่าง ๆ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ดังนี้

1. คาร์บอนประมาณร้อยละ 80-90
2. สารที่ระเหยได้ประมาณร้อยละ 7-30 ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 9 คาร์บอนมอนอกไซด์ ร้อยละ 20 ไฮโดรเจนประมาณร้อยละ 64 และไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ประมาณร้อยละ 7
3. ซัลเฟอร์ ประมาณร้อยละ 0.5-10 ซึ่งประกอบด้วย

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
SiO_2	15-25
CaO	25-30
MgO	6-7
Al_2O_3	2-4
Fe_2O_3	3-5
Mn	0.5
Na_2O	1-2
K_2O	10-15
P (ในรูปของ P_2O_5)	1-3
S	0.05-0.06

ถ้ามีความถ่วงจำเพาะระหว่าง	0.2-0.5
ความพรุนร้อยละ	70-75
ความชื้นร้อยละ	1-16 (เฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ในสภาวะที่ไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง)
จุดตกไฟ	240-250 องศาเซลเซียส
ค่าความร้อนประมาณ	25.1-30.1 เมกะจูล/กิโลกรัม