การออกแบบห้องลมร้อนสำหรับติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ

Heat Exchanger Design for Longan Drying

เกรียงศักดิ์ นักผูก [1/]
สนอง อมฤกษ์ [1/]
Kiangsak Nukpook [1/]
Sanong Amaroerk [1/]

ABSTRACT

The objective of the research was to design heat exchanger of longan dryer and to study the effeciency. The experiment was conducted at the Agricultural Engineer Operating, Chiang Mai province during October 2006 - November 2007. The machine consists of a furnace, heat exchanger venting duct, hot air piping set and venturi. The test of open of hot air pipe indicated that the volume of air which flew through the venture, related to the opening gap which had linear regression of R^2 = 98%. The average mean air flow at the entrance was 0.87 m^3/second. The efficiency of hot air chamber system was 33%. It was found that there were 73% of good product and 27% of defect. The average volume was reducing 4% from fresh longan.

Key words: heat exchanger, drying longan, longan

บทคัดย่อ

ออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพห้องลมร้อนสำหรับติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ เพื่ออบลำไยสดด้วยลมร้อนที่ศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรม จ.เชียงใหม่ ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 - พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 โดยที่เตาอบมีส่วนสำคัญประกอบด้วย เตาเผาฟืน ห้องลมร้อน (อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ปล่องระบายควัน ชุดท่อลมร้อนและช่องคอคอด (venturi) เมื่อทดลองเปิดทางเข้าลมห้อง พบว่าทางเข้าเตาอบลำไยมีปริมาตรลมเฉลี่ยเข้าเตาอบ 0.87 ลบ.ม./วินาที ปริมาตรลมเข้าช่องคอคอดกับระยะเปิดมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง มีค่า R^2 = 98% ประสิทธิภาพของระบบห้องลมร้อน 33% ในการทดลองอบลำไย พบว่าผลที่ได้จากการอบลำไยเกรดเอเอมีผลดี 73% ผลเสียหาย 27% และหลังอบแห้งปริมาตรเฉลี่ยของลำไยลดลงประมาณ 4% ของผลสด

คำหลัก: ห้องลมร้อน อบแห้งลำไย เตาอบลำไย

[1/] ศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1 อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50000

[1/] Agricultural Engineer Operating Centre Chiang Mai, Office of Agricultural and Development Region 1, Maung district, Chiang Mai province 50000

คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก นิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบกระบะ ซึ่งอบลำไยสดทั้งเปลือกได้ 2,000 กก. ใช้เวลา 40-48 ชม. ที่อุณหภูมิ 65-80 °ซ. โดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้แก๊สหุงต้ม หรือน้ำมันดีเซล ทำให้การอบลำไยในฤดูมีปัญหาเรื่องเชื้อเพลิงที่ราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ มีผลให้ต้นทุนในการอบแห้งลำไยสูงตามไปด้วย อีกทั้งเป็นพลังงานนำเข้ามาจากต่างประเทศ ส่งผลให้ประเทศขาดดุลการค้าให้กับต่างประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเฉพาะการนำกิ่งไม้จากการตัดแต่งกิ่ง ลำไย มะม่วง ไม้ผลที่อายุมากให้ผลิตต่ำ หรืออาจเป็นวัชพืชขนาดใหญ่ เช่น ต้นไมยราบยักษ์ ต้นแขม หรือต้นเลานำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ ก็นับว่าเป็นผลดีคือทำให้ลดการใช้แก๊สหุงต้มลง และเป็นการทำลายวัชพืชไปด้วย เช่น การวิจัยและพัฒนาเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องลดความชื้นลำไยทั้งเปลือกของวิบูลย์และคณะ (2548) โดยออกแบบเตาไซโคลน มีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell and tube) โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อน เพื่อนำไปใช้ในการอบแห้งลำไยสด รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ในเขตภาคเหนือตอนบนเกษตรกรมีเครื่องอบแห้งแบบกระบะประมาณ 24,000 เครื่อง (ณัฐวุฒิ, 2548) หากสามารถนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เพื่อการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรรวมทั้งลำไย และใช้ระบบห้องลมร้อน จะช่วยลดการใช้แก๊สหุงต้มและน้ำมันเชื้อเพลิงของชาติลงไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ประเทศลดการขาดดุลการค้าให้กับต่างประเทศด้านพลังงานน้อยลงได้ และในสถานการณ์ปัจจุบันน้ำมันและแก๊สหุงต้มมีราคาแพงขึ้น การศึกษาด้วยลมร้อนนี้น่าจะเป็นอีกทางเลือกสำหรับการอบแห้งลำไย

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาพัฒนาปรับปรุงเตาอบลำไยแบบกระบะที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีแนวคิดในเรื่องการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม มาเป็นพลังงานจากวัสดุทางการเกษตร (ไม้ฟืน) หรือวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรอื่นๆได้ โดยมีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาการอบลำไยแบบทั้งเปลือกของผู้ประกอบการที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เพื่อทำการปรับปรุงพัฒนาเทคโนโลยีในการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือก

2. ออกแบบห้องลมร้อน โดยมีแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องคือ ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยมีของไหลที่อุณหภูมิสูงถ่ายเทความร้อนให้แก่ของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2.1 ห้องลมร้อน (อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) และสร้างห้องลมร้อนเป็นแบบของไหลไม่สัมผัสกันโดยตรง (indirect contact type)

2.2 ทดลองหาประสิทธิภาพของห้องลมร้อน เมื่อติดตั้งเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบกระบะ โดยมีตัวแปรสำคัญคือ ความเร็วลม มวลของลม อุณหภูมิของลมที่เข้า (air in) และออกห้องลมร้อน (air out) ค่าต่างๆนี้มีความสัมพันธ์ดังสมการ (ธนาคม, 2547)

ปริมาตร $Q^{\bullet} = VA$

มวลต่อเวลา $m^{\bullet} = \rho Q^{\bullet}$

อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

$$q = m^{\bullet} c_p \Delta T$$

$$\Delta T = T_o - T_i$$

พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (ตระการ,2537) $q_{Max} = m_f^{\bullet}(LHV)$

ประสิทธิภาพของห้องลมร้อน

$$\eta = \frac{q}{q_{Max}}$$

A = พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน

η = ประสิทธิภาพของห้องลมร้อน

$Q^{\bullet}$ = ปริมาตร

q = อัตราการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

ΔT = ความแตกต่างอุณหภูมิของอากาศออกและเข้าห้องลมร้อน

T_o = อุณหภูมิของอากาศออกห้องลมร้อน

T_i = อุณหภูมิของอากาศเข้าห้องลมร้อน

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

q_{Max} = อัตราความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง

$m^{\bullet}$ = มวลของอากาศ

$m_f^{\bullet}$ = มวลของเชื้อเพลิง

V = ความเร็วลม

2.3 ทดสอบการทำงานจริง โดยต่อห้องลมร้อนเข้ากับเตาอบแห้งแบบกระบะ (furnace) ขนาดบรรจุ 1,000 กก. ด้วยเงื่อนไขข้อจำกัดของงบประมาณที่ได้รับ ทำการทดสอบ 2 แบบ คือ

2.3.1 ทดสอบเตาเปล่าคือ นำชุดห้องลมร้อนติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ แล้วเผาไม้ฟืนให้ความร้อนภายในเตาเผา จากนั้นก็เปิดชุดพัดลม (fan) ของเครื่องลดความชื้น ปิดช่องเลื่อนเปิดปิดลมของช่องคอคอด (venturi) ขนาด 0.115 x 0.32 ม. ควบคุมอุณหภูมิลมที่เข้ากระบะลดความชื้นไว้ที่ 80 - 90 °ซ. วัดอุณหภูมิอากาศที่ปลายปล่อง วัดอุณหภูมิอากาศ กระเปาะเปียก และอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้ง ชั่งน้ำหนักไม้ฟืนที่ป้อนเข้าเตาเผา ทดสอบการทำงานต่อเนื่อง 8 ชม. บันทึกข้อมูลทุก 20 นาที

2.3.2 ทดสอบอบลำไยในสภาพใช้งานจริง โดยนำชุดห้องลมร้อนติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ แล้วเผาไม้ฟืนให้ความร้อนภายในเตาเผา จากนั้นก็เปิดชุดพัดลมของเครื่องลดความชื้น ทดลองอบลำไยจำนวน 1,000 กก. กลับลำไยที่เวลา 25 ชม. โดยสลับล่างขึ้นบน ขณะที่ทำการอบลำไย ควบคุมอุณหภูมิภายในกระบะอบให้อยู่ในช่วง 60-70 °ซ. วัดอุณหภูมิอากาศที่ปลายปล่อง วัดอุณหภูมิอากาศกระเปาะเปียก และอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้ง สภาพอากาศแวดล้อม ชั่งน้ำหนักไม้ฟืนที่ป้อนเข้าเตาเผา ทดสอบการทำงานต่อเนื่องจนลำไยแห้งใช้เวลา 54 ชม. ความชื้นลำไยก่อนอบ 75% ความชื้นลำไยหลังอบแห้ง 13% บันทึกข้อมูลทุก 1 ชม.

3. วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบทาง

ด้านวิศวกรรมตามที่แสดงสมการไว้ในข้อ 2.2 และใช้หลักวิชาสถิติการวัดแนวโน้มส่วนกลาง คำนวณค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ โดยใช้วิธีรีเกรสชั่นในการหาความสัมพันธ์ปริมาตรลมกับระยะเปิดช่องคอคอด และขนาดผลลำไยสดลดลงหลังอบแห้ง ในการวัดขนาดเฉลี่ย จะวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสามเส้นตั้งฉากกันคือ หนึ่งวัดจากขั้วผลกับท้ายผล สองวัดที่ระนาบที่ตั้งฉากกับเส้นที่หนึ่งตรงกึ่งกลางในส่วนที่โตสุด และเส้นสุดท้ายตั้งฉากกับเส้นที่หนึ่งและสอง แล้วนำเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งสามมาเฉลี่ยเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของลำไย สำหรับต้นทุนในการอบแห้งเป็นค่าฟืนและค่าจ้างคนเฝ้า การทดลองดำเนินการที่ศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 จ.เชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2549 – พฤศจิกายน พ.ศ. 2550

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การอบลำไยแบบทั้งเปลือกของผู้ประกอบการ

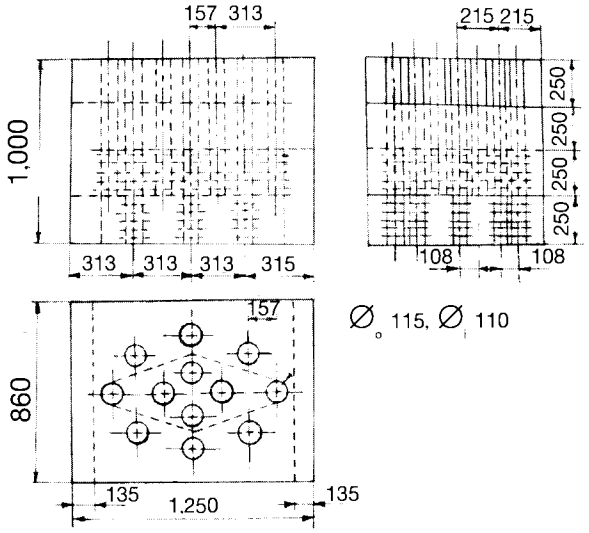
ใช้เตาอบแบบกระบะขนาด 1,000 กก. โดยบรรจุลำไยลงในกระบะให้เต็ม อบที่อุณหภูมิ 80 °ซ. เป็นเวลานาน 15 ชม. ทำการสลับชั้น (ชั้นบนลงล่างและชั้นล่างขึ้นบน) สลับชั้นเสร็จทำการอบต่อไปเป็นเวลานาน 15 ชม. สลับชั้นอีกครั้งหนึ่ง แล้วอบต่อไปเป็นเวลานาน 15 ชม. รวมเวลาอบทั้งสิ้น 45 ชม. ใช้แก๊สหุงต้มประมาณ 120 กก. แก๊สหุงต้มราคากก.ละ 17.4 บาท คิดเป็นต้นทุนค่าแก๊ส 1.04 บาท/กก. ค่าแรงงานคนเฝ้าเครื่อง 200 บาท/12 ชม. คิดเป็น 0.378 บาท/กก. รวมค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเป็น 1.42 บาท/กก.สด

2. ผลการออกแบบสร้างห้องลมร้อน มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนคือ

2.1 เตาเผา ลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม กว้าง 0.88 ม. ยาว 1.26 ม. สูง 0.76 ม. ด้านบนเปิดไว้ตั้งชุดห้องลมร้อน ด้านล่างมีตระแกรงกั้นที่ความสูงจากพื้น 0.19 ม. ด้านล่างของตระแกรงเปิดโล่งทั้งสี่ด้าน ที่ระดับตระแกรงขึ้นมาปิดด้านยาวทั้งสองด้าน ด้านกว้างหนึ่งด้านอีกด้านเปิดไว้ป้อนฟืนเข้าเตา ในการออกแบบครั้งแรกได้เปิดด้านข้างไว้ป้อนฟืน มีควันบางส่วนลอยไปเข้าที่ประตูห้องลมร้อน จึงทำการแก้ไขได้รูปแบบดังที่กล่าวมาข้างต้น

2.2 ห้องลมร้อน เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ลมไหลไปกลับในเปลือก 2 ครั้งห้องลมร้อนมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 0.88 ม. ยาว 1.26 ม.สูง 1 ม. แยกเป็น 4 ชั้น ความสูงของชั้น 0.25 ม. ท่อยาว 1 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางนอก 0.11 ม. ติดในแนวตั้งสลับฟันปลา ในการออกแบบครั้งแรกมีจำนวน 10 ท่อ เมื่อทำการทดสอบ พบว่าผนังด้านล่างที่ติดกับเปลวไฟ อุณหภูมิสูงมาก แผ่นเหล็กร้อนแดงในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ส่วนในชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 ผนังท่อไม่ถึงกับร้อนแดง ดังนั้นจึงทำการแก้ไข โดยเพิ่มท่อเข้าไปอีก 2 ท่อ รวมเป็นจำนวน 12 ท่อ ผนังท่อด้านนอกสองชั้นล่างติดแผ่นครีบสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.177 x 0.177 ม. จำนวนท่อละ 5 ครีบ/ชั้น การติดครีบเพิ่มเข้าไปเพื่อให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนของผนังท่อมากขึ้น

ในการติดครีบนี้ ติดในแนวราบ แผ่นครีบขนานไปกับแผ่นกั้นชัน เพื่อให้ขวางทางลมน้อยที่สุด และพื้นที่สัมผัสกับลมมากที่สุด (Figure 1)



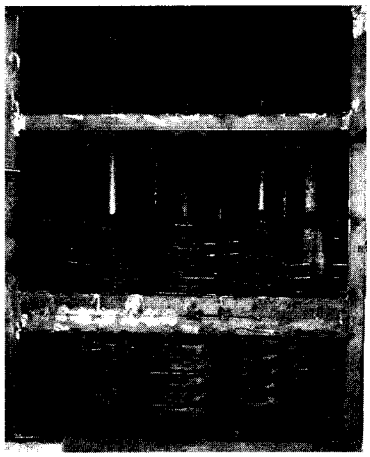


Figure 1. Heat exchanger

2.3 ชุดระบายควันและปล่อง ฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 0.88 ม. ยาว 1.26 ม. บีบเรียวสูงขึ้นไป 0.6 ม. ปลายบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.36 x 0.36 ม. ตรงกลางติดปล่องควันเส้นผ่าศูนย์กลางนอก 0.13 ม. สูง 1.5 ม. ในการทดลอง อุณหภูมิที่ปลายปล่องประมาณ 270-300 °ซ.

2.4 ชุดท่อลมร้อนและช่องคอคอด ปลายท่อด้านติดห้องลมร้อนมีขนาดกว้าง 0.34 ม. ยาว 0.82 ม. บีบเรียวลดขนาดมาต่อเข้ากับช่องคอคอดขนาด 0.21 x 0.32 ม. ยาว 0.14 ม. ด้านบนทำช่องเลื่อนเปิดปิดลมขนาด 0.115 x 0.32 ม. ปลายอีกด้านขยายออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 0.55 x 0.55 ม. ที่ปลายเปิดเป็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.47 ม. ช่องคอคอดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก ออกแบบเพื่อนำลมเย็นเข้าไปผสมกับลมร้อนที่ได้จากเตาเผาก่อนเข้าสู่กระบะ หลักการที่ใช้ในการออกแบบคือ การบีบให้ช่องทางการไหลของลมก่อนเข้าชุดพัดลมของเตาอบให้เล็กลง เมื่อลมไหลผ่านช่องทางที่เล็กลง ทำให้ความเร็วในการไหลเพิ่มขึ้นมีผลให้ความดันลดลง ความดันที่ลดลงทำให้มีแรงดูดเอาลมเย็นจากภายนอกผ่านเข้าช่องคอด ซึ่งมีลิ้นเลื่อนปรับขนาดความกว้างของช่อง เพื่อควบคุมปริมาตรลมเย็นที่ต้องการเข้ามาผสมกับลมร้อนที่ได้จากห้องลมร้อนทำให้ได้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิเหมาะสมในการอบแห้ง (Figure 2)

หลักการทำงานของชุดห้องลมร้อนคือ เผาไม้ฟืนในเตาเผาได้ลมร้อนจากการเผาไหม้ ลมร้อนไหลภายในท่อของกลุ่มท่อแนวตั้งไปออกที่ชุดระบายควันและปล่อง ลมเย็นไหลเข้าประตูควบคุมปริมาตรลมเข้าของห้องลมร้อน ไหลเวียนผ่านกลุ่มท่อในแนวตั้งฉากกับกลุ่มท่อภายในห้องลมร้อนสองกลับ แล้วไหลออกที่ช่องทางออกลมร้อนที่ต่อเข้ากับชุดท่อลมร้อนผ่านช่องคอคอดที่จุดนี้ หากลมร้อนมีอุณหภูมิสูงมากเกินไป ก็สามารถเปิดช่องคอคอดให้ลมเย็นเข้าผสมกับลม

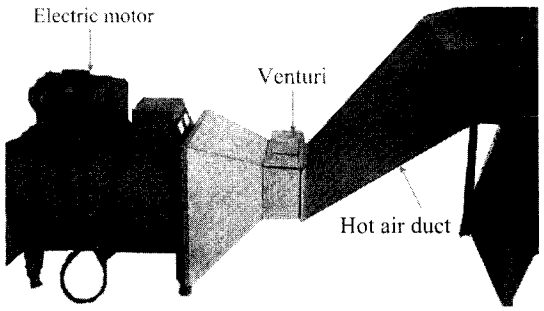


Figure 2. Hot air duct and venturi

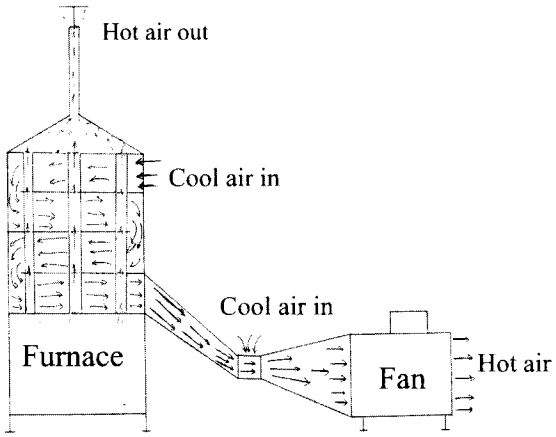


Figure 3. Heat exchanger and air flow

ร้อน ทำให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งก่อนเข้าสู่ชุดพัดลมและชุดกระบะเตาอบ เพื่อนำความร้อนที่ได้จากห้องลมร้อนไปอบแห้งลำไยในกระบะเตาอบ แล้วไหลผ่านชั้นความหนาของลำไยนำความชื้นจากลำไยออกสู่สภาวะอากาศแวดล้อมภายนอก (Figures 3 and 5) ลักษณะของห้องลมร้อนที่ติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ

3. ผลและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองห้องลมร้อนที่ติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ

พัดลมของเตาอบลำไยขนาดสองตันสามารถทำปริมาตรของลมได้ 1.72 ลบ.ชม./วินาที หลังจากต่อเข้ากับชุดห้องลมร้อน ทดสอบเปิดช่องลมของห้องลมร้อน พบว่าปริมาตรลมโดยเฉลี่ยที่เข้าเตาอบ 0.87 ลบ.ชม./วินาทีที่ช่องคอคอดปริมาตรลมที่เข้ากับระยะเปิดมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง (Figure 4) ลักษณะของเส้นแนวโน้มแสดงให้เห็นว่า หากเพิ่มระยะการเปิดช่องคอคอดมากขึ้นปริมาตรอากาศที่เข้าที่ช่องคอคอดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และสามารถคำนวณค่าสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้ได้จากสมการ (Figure 4) ซึ่งเป็นสมการของเส้นแนวโน้ม ที่สามารถทำนายปริมาตรลมที่ระยะเปิดใดๆได้ค่าความแม่นยำประมาณ 98%

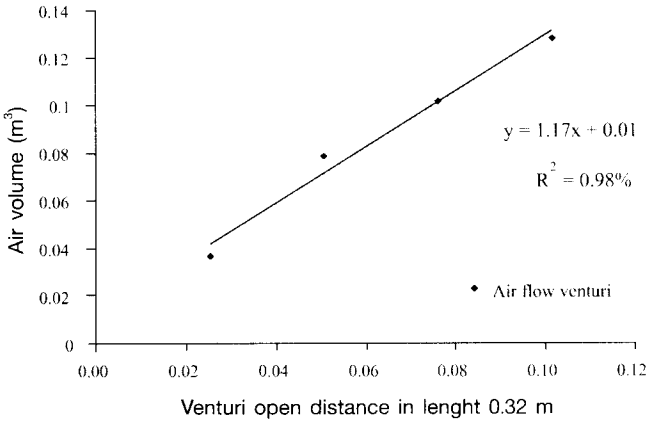


Figure 4. Relationship of air volume and venturi open distance

อัตราการเผาไหม้เฉลี่ยประมาณ 35 กก./ชม. ค่าความร้อนต่ำของฟืน (lower heating value (LHV)) 17-19 เมกกะจูล/กก. (ประเสริฐและคณะ, 2542) อุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศเฉลี่ย 28 °ซ. อุณหภูมิกระเปาะเปียก 24 °ซ. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 64% ควบคุมอุณหภูมิทางเข้าเตาอบให้อยู่ในช่วง 80-90 °ซ. อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 85 °ซ. สามารถคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบห้องลมร้อนได้ 33%

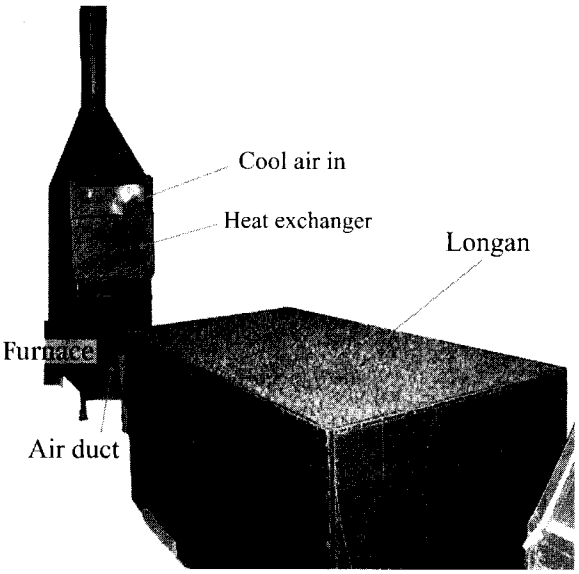


Figure 5. Drying longan

ในการทดลองอบแห้งลำไย โดยต่อห้องลมร้อนเข้ากับเตาอบที่บรรจุได้ 1,000 กก. มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง 1.28x3.64x1.89 ม. กั้นห้องอบขวางด้านยาวออกเป็นสองห้องที่ 1.82 ม. (ทำให้สามารถอบได้ 500 กก./ครั้งได้ด้วย) สำหรับการอบแห้งลำไยจำนวน 1,000 กก. สลับชั้นลำไยที่เวลา 25 ชม. โดยสลับล่างขึ้นบน ในการอบใช้ฟืนไม้ลำไย 1,480 กก. โดยมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งอากาศเฉลี่ย 30 °ซ. อุณหภูมิกระเปาะเปียก 26 °ซ. ควบคุมอุณหภูมิในการอบให้อยู่ในช่วง 60-70 °ซ. อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 65 °ซ. ความชื้นลำไยก่อนอบเฉลี่ย 75% ความชื้นลำไยหลังอบแห้งเฉลี่ย 13% (ความชื้นลำไยอบแห้งต้องไม่เกิน 13.5%) ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 54 ชม. และปริมาตรลำไยแห้งลดลง จากการทดลองวัดขนาดโดยเฉลี่ยก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง พบว่าขนาดผลลำไยลดลงหลังอบแห้ง 4% ของลำไยสด (Figure 6) แสดงสมการโพลิโนเมียลกำลัง 4 เป็นสมการทำนายขนาดที่ลดลงของผลลำไยหลังอบแห้งเป็นลำไยแห้งทั้งเปลือก โดยสามารถทำนายขนาดของลำไยเมื่ออบแห้งแล้วจะมีขนาดเท่าไร ด้วยการวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำไยสดสามแนวตั้งฉากกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยทั้งสามแนวเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย จากนั้น แทนค่าในสมการเป็นค่าตัวแปร x ก็จะได้ค่าตัวแปร y คือ ขนาดเฉลี่ยของลำไยสดที่ลดลงหลังอบแห้ง สมการที่แสดงนี้สามารถทำนายได้ค่าแม่นยำประมาณ 97% รวมทั้งขนาดเฉลี่ยของลำไยแห้งมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของลำไยเป็นเส้นตรง ซึ่งอาจมีการศึกษาต่อเพื่อสร้างเทคนิคการทำนายระดับความชื้นของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกได้

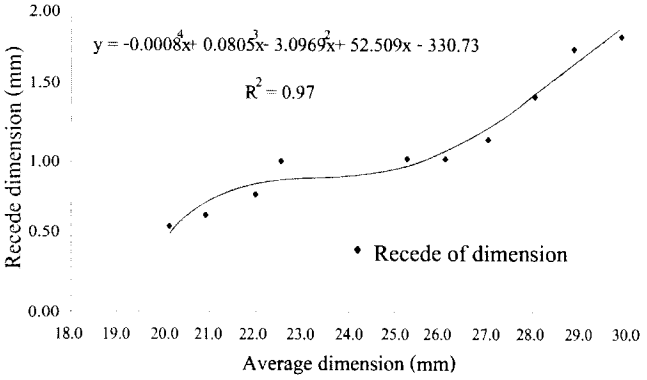


Figure 6. Relationship average dimension and recede of dimension

สำหรับผลการอบลำไยเกรดเอเอ พบว่ามีผลดี 73% ผลแตก 9% ผลบุบ 1% ผลมีน้ำหมาก (รอยคราบน้ำหวาน) 17% สำหรับ เกรดเอมีผลดี 64% ผลแตก 5% ผลบุบ 1% ผลมีน้ำหมาก 30% ใช้เวลาอบนาน 54 ชม. อุณหภูมิที่ใช้อบ 60-70 °ซ. เมื่อพิจารณาต้นทุนในการอบแห้งจากค่าฟืนกก.ละ 1 บาท เป็นเงิน 1,480 บาท

ค่าแรงงานคนงานสลับชั้นและเฟ้าเครื่อง 200 บาท/12 ชม. เป็นเงิน 1,000 บาท รวมค่าดำเนินการทั้งหมด 2,480 บาท กรณีที่อบลำไยด้วยเตากระบะบรรจุได้ 1,000 กก. พบว่าต้นทุนในการอบลำไยเท่ากับ 2.50 บาท/กก. ของลำไยสด

สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบและสร้างห้องลมร้อนสำหรับติดตั้งเข้ากับเตาอบลำไยแบบกระบะ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เตาเผา ห้องลมร้อน ชุดปล่องระบายควัน ชุดท่อลมร้อนและช่องคอคอด พบว่าชุดพัดลมที่ใช้กับเตาอบลำไยขนาดสองตันสามารถทำปริมาตรลมได้ 1.72 ลบ.ชม./วินาที หลังจากต่อกับชุดห้องลมร้อน ปริมาตรลมที่เข้าเตาอบเฉลี่ย 0.87 ลบ.ม./วินาที เมื่อเปิดทางลมเข้าของห้องลมร้อน พบว่าลมที่เข้าช่องคอคอดกับระยะเปิดมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง มีค่า R^2 = 98% ประสิทธิภาพของระบบห้องลมร้อน 33% ในการอบแห้งลำไยจำนวน 1,000 กก.สด ใช้เวลา 54 ชม. ใช้ฟืนไม้ลำไย 1,480 กก. ขณะที่ทำการอบลำไย ควบคุมอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 65 °ซ. ความชื้นของลำไยเมื่อเริ่มต้นอบ 75% หลังอบแห้งแล้วลดลงเหลือ 13% โดยเฉลี่ย

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนายบุญช่วย น้อยยะ นายวรวิทย์ ยะกลิ้ง นายพัด สอนหล้า และทีมช่างทุกคนของศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ ที่มีส่วนช่วยในการดำเนินงานสร้างต้นแบบและทดลองจนงานนี้แล้วเสร็จ และขอขอบคุณนางสาวชวนชื่น เดี่ยววิไล นายไมตรี เยาวรัตน์ และนายตัญญู กองช่าง ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีจนงานนี้แล้วเสร็จ

เอกสารอ้างอิง

วิบูลย์ เทเพนทร์ เวียง อากรชี และพุทธินันทร์ จารุวัฒน์. 2548. *วิจัยและพัฒนาเตาเผาแกลบสำหรับเครื่องลดความชื้นลำไยทั้งเปลือก.* เอกสารการประชุมวิชาการประจำปี 2548. สถาบันเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 8 หน้า.

ณัฐวุฒิ ดุษฎี. 2547. *แม่โจ้ศาสตร์แห่งลำไย.* ภาควิชาพืชไร่. คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่. 174 หน้า.

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. 2547. *การถ่ายเทความร้อน.* บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด ถนนสวนสยาม เขตคันนายาว กรุงเทพฯ. 512 หน้า.

ประเสริฐ เทียนนิมิตร ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร. 2542. *เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น.* บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ. 395 หน้า.

ตระการ ก้าวกสิกรรม. 2537. *วิศวกรรมโรงไฟฟ้า.* สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กรุงเทพฯ. 356 หน้า.