Agricultural Sci. J. 38 : 5 (Suppl.) : 313-316 (2007) ว. วิทย. กษ. 38 : 5 (พิเศษ) : 313-316 (2550)

# การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ในกระบวนการอบแห้งลำไย

# Waste heat recovery for longan drying process

ทวีชัย นิมาแสง[1] และ ณัฐวุฒิ เนียมสอน[1]
Taweechai Nimasaeng[1] and Natawut Neamsorn[1]

## Abstract

The main objective of this research is to reuse the waste heat from Longan drying process. A prototype machine with heat recovery system consists of three main parts, namely drying chamber, heat chamber and heat exchanger. Drying chamber or product container has 6 shelves. The heat chamber is mounted with LP gas burner and centrifugal fan. Heat exchanger is cross-flow type which captures waste heat from exhaust moist air and transfers it to intake air of dryer.

The two tests of drying 300.2 and 200 kilograms of Longan take an average time of 43 hours to reduce the moisture content from 73.46% to 16.2%, and produce dried product of 95.6 and 64.2 kilograms at the fuel consumption rate of 0.13 kg LP gas/1 kg fresh fruit, respectively.

Moreover, the heat exchanger performance is also evaluated with load and no load. The results of 4 tests can be summarized as follows;

| | | | |
|---|---|---|---|
| a.) Coefficient of heat convection outside heat pipe | = | 8.33 | $W/m^2.K$ |
| b.) Coefficient of heat convection outside heat pipe | = | 16.95 | $W/m^2.K$ |
| c.) Specific heat of heat exchanger | = | 0.0628 | kJ/kg.K |
| d.) Thermal effectiveness | = | 38.13 | % |
| e.) Transferred heat | = | 1.644 | kW |

**keywords**: Longan, drying, heat recovery

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการที่จะนำความร้อนเหลือทิ้งจากการอบแห้งลำไยกลับมาใช้ใหม่ เครื่องอบแห้งต้นแบบประกอบด้วย ห้องบรรจุผลผลิต ห้องความร้อน และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ห้องบรรจุผลผลิตมีชั้นรองรับถาด 6 ชั้น ส่วนห้องความร้อนติดตั้งหัวเผาก๊าซหุงต้มและพัดลมแบบแรงเหวี่ยง สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบไหลตั้งฉาก ใช้ในการนำความร้อนที่เหลือทิ้งไปกับอากาศชื้นที่ทางออกกลับมาให้กับอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องอบ

จากการทดลองอบแห้งลำไย 2 ครั้ง ครั้งละ 300.2 กิโลกรัม และ 200 กิโลกรัม ตามลำดับ ใช้เวลาเฉลี่ย 43 ชั่วโมงในการลดความชื้นเริ่มต้นจาก 73.46% ลงเหลือ 16.2% ได้ผลผลิตลำไยแห้ง 95.6 กิโลกรัม และ 64.2 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.13 กิโลกรัมก๊าซต่อ 1 กิโลกรัมลำไยสด

นอกจากนั้นการประเมินสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในขณะที่มีภาระและไม่มีภาระ รวม 4 ครั้ง สามารถสรุปได้ดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| ก.) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกท่อเฉลี่ย | = | 8.33 | $W/m^2.K$ |
| ข.) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อเฉลี่ย | = | 16.95 | $W/m^2.K$ |
| ค.) ความจุความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย | = | 0.0628 | kJ/kg.K |
| ง.) ประสิทธิผลทางความร้อนเฉลี่ย | = | 38.13 | % |
| จ.) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเฉลี่ย | = | 1.644 | kW |

**คำสำคัญ**: ลำไย อบแห้ง การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่

[1] โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Assist. Prof. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand, 10140

## คำนำ

เครื่องอบลำไยทั้งเปลือกที่เกษตรกรใช้อยู่ส่วนใหญ่เป็นเครื่องอบแบบกระบะ (Flat-bed type) มีขนาดบรรจุลำไยสดประมาณ 2000 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 40-48 ชั่วโมง สิ้นเปลืองก๊าซหุงต้ม (LP gas) 75 ถึง 90 กิโลกรัม หากเป็นเตารุ่นเก่าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จะสิ้นเปลืองน้ำมันถึง 240 ลิตร(ทวีชัย,2543) จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าอากาศชื้นที่ถูกขับออกจากเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงถึง 45 ถึง 65 องศาเซลเซียส (ทวีชัย,2546) ซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นของผลผลิตในขณะนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมีแนวทางที่จะลดการใช้พลังงานในการอบแห้งลำไย โดยการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนอกจากจะเป็นการอนุรักษ์พลังงานแล้ว ยังจะช่วยเกษตรกรลดต้นทุนในการผลิตอีกทางหนึ่งด้วย

## อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งแบบนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ต้นแบบประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ ห้องบรรจุผลผลิต ห้องความร้อน และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Figure 1) โดยที่อากาศที่ถูกเผาให้ร้อนในห้องความร้อนจะถูกขับไปยังห้องอบแห้ง เพื่อดึงความชื้นออกจากผลผลิต ความชื้นนี้จะปะปนมากับอากาศซึ่งยังมีความร้อนหลงเหลืออยู่ และถูกขับออกทางช่องระบายซึ่งต่อเชื่อมกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขณะเดียวกันอากาศเย็นภายนอกก็จะถูกดูดผ่านผิวด้านนอกของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อถ่ายเทความร้อนออกมาแล้วไหลเวียนกลับเข้าห้องความร้อนอย่างต่อเนื่อง ส่วนอากาศชื้นซึ่งไหลภายในท่อก็จะถูกขับออกไป

การทดสอบเครื่องอบแห้งใช้ลำไย ใช้เทอร์โมสแตทในการควบคุมอุณหภูมิภายใน ซึ่งโดยทั่วไปการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือกจะใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 48 ชั่วโมง ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก ปรับตั้งอุณหภูมิที่ 80°C ช่วง 25 – 36 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิ 75°C หลังจากนั้นปรับลดมาที่ 70°C จนกระทั่งลำไยแห้ง จึงยุติการอบ ระหว่างการอบมีการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งทุกๆ 1ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มต้นชั่วโมงที่ 1 จนสิ้นสุดการทดลอง บันทึกค่าความเร็วลมที่เข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และตั้งแต่ชั่วโมงที่ 40 เป็นต้นไป ทำการสุ่มตัวอย่างลำไยแต่ละชั้นทุกๆ 1 ชั่วโมง นำไปตรวจสอบเม็ดในของลำไย ถ้าเม็ดในมีลักษณะแห้ง แตกเมื่อใช้คีมหนีบ จึงหยุดเดินเครื่อง ชั่งน้ำหนักก๊าซหุงต้มที่ใช้ไปในการอบ ชั่งน้ำหนักลำไยแห้งที่ได้และสุ่มนำตัวอย่างลำไยไปทดสอบหาความชื้นหลังอบแห้งในห้องปฏิบัติการ จากนั้นนำข้อมูลต่างๆที่บันทึกไว้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, ค่าประสิทธิผลทางความร้อน, พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, ความจุความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, อัตราแปรสภาพของลำไย และอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

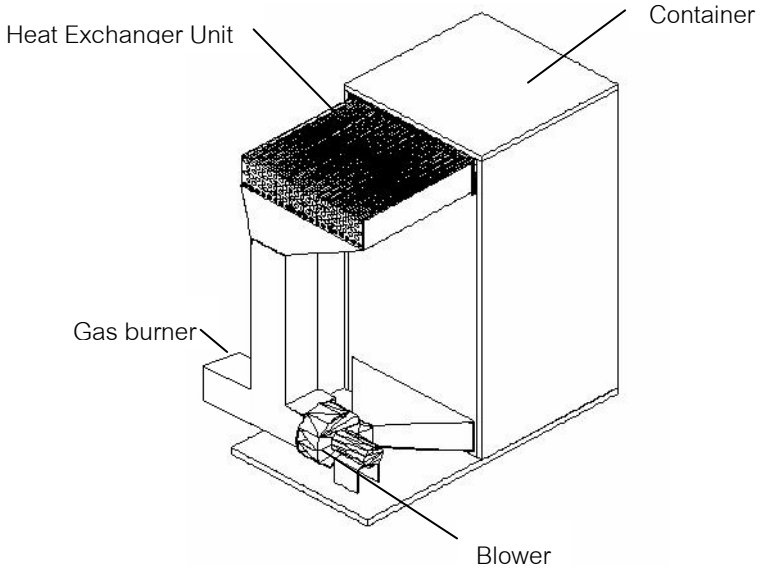


Figure 1 Prototype dryer with heat recovery system

**ผล**

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบระหว่างการอบลำไยแสดงใน Figure 2 โดยที่ค่า T1, T2 T3 T4 T5 และ T6 เป็นอุณหภูมิของอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง ซึ่งวัดบนถาดชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 6 ตามลำดับ

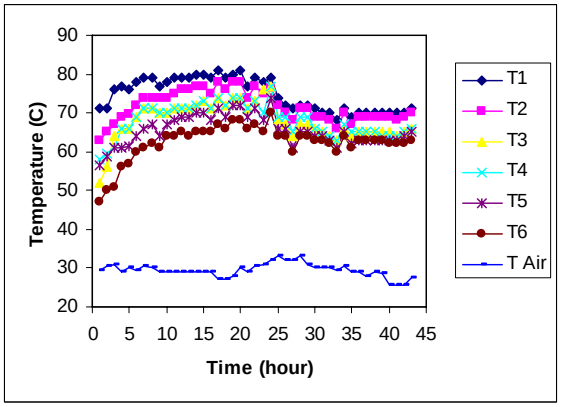


Figure 2 Change in drying air temperature

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงใน Figure 3 ซึ่งอุณหภูมิของอากาศร้อนทางด้านขาเข้าจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการอบ และผลต่างของอุณหภูมิระหว่างขาเข้าและขาออกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเริ่มเข้าสู่ภาวะคงที่

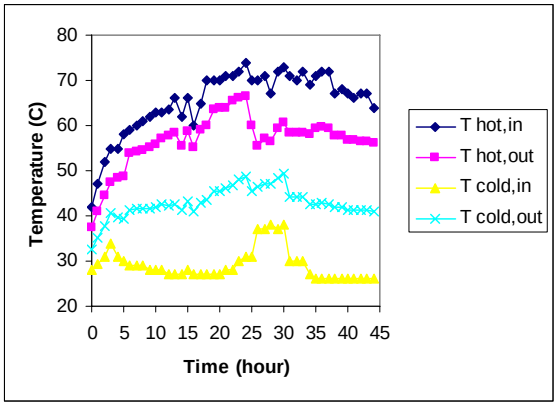


Figure 3 Change in heat exchanger temperature

เมื่อนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและข้อมูลความเร็วของอากาศ มาคำนวณหาค่าประสิทธิผลทางความร้อน (**e**) และค่าการถ่ายเทความร้อน (Q) โดยวิธี Effectiveness (or NTU) Method (สมยศ, 2530) ซึ่งเป็นการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง อันได้แก่ อุณหภูมิของอากาศทั้งด้านร้อนและด้านเย็นที่เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ค่าความเร็วของอากาศด้านขาเข้าและออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ขนาดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ได้ค่าสมรรถนะเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นสำหรับใช้ในการนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากตู้อบผลิตผลเกษตรดังนี้

| | | | |
|---|---|---|---|
| สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกท่อเฉลี่ย | = | 8.33 | $W/m^2.K$ |
| สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อเฉลี่ย | = | 16.95 | $W/m^2.K$ |
| ความจุความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเฉลี่ย | = | 0.0628 | kJ/kg.K |
| ประสิทธิผลทางความร้อนเฉลี่ย | = | 38.13 | % |
| พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเฉลี่ย | = | 1.644 | kW |

## วิจารณ์ผล

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบระหว่างการอบแห้ง เนื่องจากเป็นการให้ความร้อนจากส่วนล่างขึ้นสู่ส่วนบน อากาศร้อนจึงถูกถ่ายเทให้กับผลผลิตที่อยู่ชั้นล่างก่อน ดังนั้น อุณหภูมิของอากาศบนชั้นที่สูงขึ้นไปจึงมีค่าต่ำกว่าชั้นล่าง ๆ โดยความแตกต่างของอุณหภูมิของถาดชั้นที่อยู่ติดกันมีค่า 3-4°C ในช่วง 26 ชั่วโมงแรก และหลังจากนั้นลดลงเหลือ 1-2°C อีกทั้งในชั่วโมงที่ 35 ถึง 43 ระดับอุณหภูมิที่ถาดแต่ละชั้นค่อนข้างคงที่ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิลมร้อนและผลลำไยมีค่าไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะพบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนทางด้านขาเข้าจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการอบ และผลต่างของอุณหภูมิระหว่างขาเข้าและขาออกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเริ่มเข้าสู่ภาวะคงที่ สำหรับอุณหภูมิของอากาศเย็นด้านขาเข้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปช่วงเวลาคือ เพิ่มขึ้นตอนกลางวัน และลดลงในตอนกลางคืน ส่วนทางด้านขาออกอุณหภูมิก็มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับด้านขาเข้า ส่วนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิด้านขาเข้าและขาออกก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น สันนิษฐานว่าจะเกิดจากการแผ่รังสีความร้อน

## สรุป

จากการทดลองอบลำไยใช้ลำไยพันธุ์อีดอ เกรด AA ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 74.28% จำนวน 204 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบ 42 ชั่วโมง ได้ลำไยแห้งซึ่งมีความชื้น 17.1% จำนวน 64.2 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราแปรสภาพ (น้ำหนักลำไยสด : น้ำหนักลำไยแห้ง) เท่ากับ 3.18 : 1 และใช้ก๊าซหุงต้ม 27 กิโลกรัม คิดเป็นอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.13 กิโลกรัมก๊าซ ต่อ 1 กิโลกรัมลำไยสด

ค่าพลังงานความร้อนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่อใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ 1.644 kW หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าในการใช้งานตู้อบ 1 ชั่วโมง สามารถนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ได้ 5918.4 kJ

## คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติเครือข่ายภาคเหนือที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

ทวีชัย นิมาแสง. 2543 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบกระบะ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. โครงการขัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ทวีชัย นิมาแสง. 2546 ศึกษาการสลับทิศทางอากาศร้อนในกระบวนการอบแห้งผลผลิตเกษตร. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. โครงการขัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สมยศ เชิญอักษร. 2530, การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม