

การศึกษาหาแนวทางการอบแห้งต้นหอม

Study of Spring Onion Drying Strategy

ยุวนารี นามสงวน ศิวะ อัจฉริยวิริยะ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ เซ็น เซาว์ถาวร และ อานนท์ ตรงกิจโรจน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50202
โทร 53944148 โทรสาร 53944145 E-mail: siva@dome.eng.cmu.ac.th

Yuwanaree Namsanguan, Siva Acharyaviriya, Aree Acharyaviriya, Zen Choathaworn and Arnon Trungkitwiroat
Mechanical Engineering Department, Chiangmai University, Chiangmai, 50202
Tel 66-53944148, Fax 66-53944145 E-mail: siva@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขการอบแห้งต้นหอมที่เหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานและระยะเวลาการอบแห้งเป็นบรรทัดฐาน จากการศึกษาโดยการทดลองอบแห้งต้นหอมที่อุณหภูมิ 50°C, 60°C และ 70°C ที่อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน 1050 kg/h-kg solid, 1290 kg/h-kg solid และ 1550 kg/h-kg solid จากการจำลองสภาพการอบแห้งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าอุณหภูมิของลมร้อนสูงขึ้นมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานและระยะเวลาการอบแห้งลดลง อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนต่ำลงมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานลดลงแต่เวลาการอบแห้งสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนต่ำกว่า 200 kg/h-kg solid จะมีผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นและเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างมาก จากการพิจารณาผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถสรุปได้ว่า การอบแห้งต้นหอมควรใช้อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน 400 kg/h-kg solid และอุณหภูมิของลมร้อน 70°C ทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 17 MJ/kg-water และใช้เวลาในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง

Abstract

The objective of this research is to determine the optimal drying conditions for spring onion drying. Minimal energy consumption and drying time are the criteria. A mathematical model is developed and simulated for evaluating the optimal conditions. The drying experiments are carried out at drying air temperature of 50°C, 60°C and 70°C and specific airflow rate of 1050 kg/h-kg solid, 1290 kg/h-kg solid and 1550 kg/h-kg solid. It is found that the energy consumption and drying time decrease with increasing drying air temperature. Also, the energy consumption decreases with decreasing specific airflow rate but the drying time increases. However, if specific air flow rate is less than 200 kg/h-kg solid, the energy consumption and drying

time increase sharply. It can be concluded that the optimal drying conditions should be specific airflow rate of 400 kg/h-kg solid and drying air temperature of 70°C. The corresponding specific energy consumption and drying time are 17 MJ/kg-water and 13 h, respectively.

1. บทนำ

ต้นหอมเป็นผักชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นเครื่องปรุงรสและเพิ่มกลิ่นของอาหาร การนำต้นหอมมาอบแห้งให้ได้คุณภาพที่ดีเป็นที่ต้องการอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสำเร็จรูป และเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นที่สูงเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น กระบวนการนี้มีการถ่ายเทมวลและความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน การอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆได้ถูกนำมาใช้ ตัวอย่างเช่น Soponronnarit *et al.*, [3] ศึกษาการอบแห้งต้นหอมสับ โดยแบ่งขั้นตอนการอบแห้งเป็น 3 ช่วง กล่าวคือ ช่วงแรกของการอบแห้งจะใช้ อัตราการไหลจำเพาะและอุณหภูมิของลมร้อนสูง ช่วงที่สองจะใช้ อุณหภูมิของลมร้อนสูงแต่อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนจะลดลง สำหรับช่วงสุดท้ายจะใช้ อัตราการไหลจำเพาะและอุณหภูมิของลมร้อนต่ำ Swasdissevi *et al.*, [4] ศึกษาการอบแห้งต้นหอมสับโดยใช้เทคนิคฟลูอิดเบด

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูง เครื่องอบแห้งส่วนใหญ่ใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการพาความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ การศึกษาหาเงื่อนไขการอบแห้งเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิและอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนที่เหมาะสมในการอบแห้งต้นหอม โดยที่จะพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานและระยะเวลาการอบแห้งเป็นบรรทัดฐาน

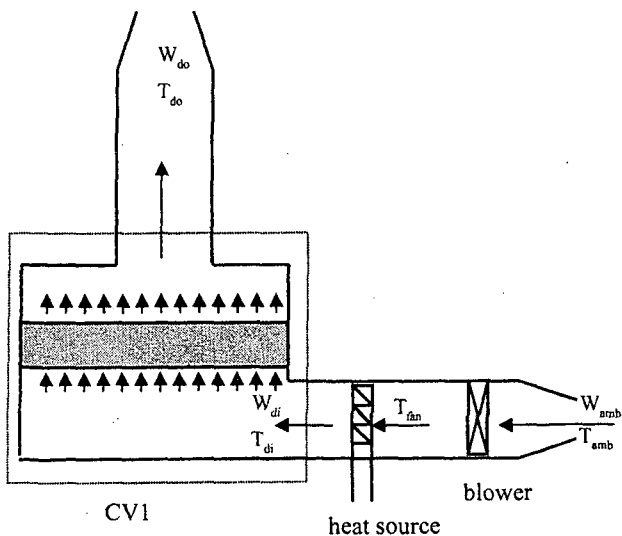
2. อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 การทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง นำดินหอมมาตัดให้ได้ความยาวประมาณ 4 เซนติเมตร ตัวอย่างที่เตรียมได้นี้มีความชื้นประมาณ 1500-1600% มาตรฐานแห้ง ทดลองอบแห้งตัวอย่างด้วยเครื่องอบแห้งในห้องปฏิบัติการ เครื่องอบแห้งนี้มีลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน และไม่มีระบบการเวียนลมร้อนกลับมาใช้ใหม่ อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ คือ 50°C, 60°C, และ 70°C และอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนที่ใช้ คือ 1050 kg/h-kg solid, 1290 kg/h-kg solid และ 1550 kg/h-kg solid แต่ละการทดลองทำการเก็บข้อมูลดังนี้ อุณหภูมิของลมร้อน สภาพอากาศแวดล้อม การลดลงของความชื้นตัวอย่างในขณะอบแห้งโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์มีความละเอียด ± 0.01 กรัม ทำการอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้าย 20% dry-basis การหาคำนวณแห้งใช้ตุ้มน้ำหนัก 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.2 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองแบบโกลด์สทูล (คิวและสมชาติ [2]) แบบจำลองนี้ประกอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนของการอบแห้ง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ส่วนของการเปลี่ยนแปลงพลังงานโดยมีแผนภาพของเครื่องอบแห้งดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. แผนภาพของเครื่องอบแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งจะประกอบด้วยแบบจำลอง 2 ส่วน คือ แบบจำลองของห้องอบแห้ง และแบบจำลองคุณสมบัติของลมร้อนขึ้น

แบบจำลองของห้องอบแห้ง

พิจารณาสมดุลมวลของน้ำในลมร้อนปริมาตรควบคุมที่ 1 จะได้ผลต่างของมวลของน้ำในลมร้อนก่อนและหลังการอบแห้งเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้ง แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta t m_d (W_{do} - W_{di}) = m_p (M_i - M_f) \quad (1)$$

โดยที่

M_f คือ moisture content after drying, decimal dry basis

M_i คือ moisture content before drying, decimal dry basis

W_{di} คือ humidity ratio of air entering chamber, kg/kg dry air

W_{do} คือ humidity ratio of air leaving chamber, kg/kg dry air

m_p คือ dry mass of product, kg

m_d คือ dry air flow rate, kg dry air/ h

Δt คือ time interval, h

พิจารณาสมดุลพลังงานปริมาตรควบคุมที่ 1 โดยสมมติว่า เกิดสมดุลความร้อนระหว่างวัสดุและอากาศ และการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของวัสดุอบแห้งและของเครื่องอบแห้งมีค่าน้อย ดังนั้นจะเขียนสมการโดยอาศัยกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้คือ ผลต่างของเอนทาลปีในลมร้อนที่เข้าและออกจากเครื่องอบแห้งเท่ากับศูนย์ แสดงได้ด้วยสมการ

$$m_d [C_a T_{di} + W_{di} (h_{fg} + C_v T_{di}) - C_a T_{do} - W_{do} (h_{fg} + C_v T_{do})] = 0 \quad (2)$$

โดยที่

T_{do} คือ temperature of air leaving drying chamber, °C

T_{di} คือ temperature of air entering drying chamber, °C

การคำนวณหาความชื้นใช้สมการจลนศาสตร์การอบแห้งซึ่งเป็นสมการกึ่งทฤษฎี ดังนี้

$$MR = \exp(-Kt) \quad (3)$$

โดยที่

MR คือ moisture ratio, decimal

K คือ drying constant, h^{-1}

เมื่อทำการหาอนุพันธ์สมการจลนศาสตร์การอบแห้งเทียบกับเวลา และใช้เทคนิคของ finite difference จะได้สมการดังนี้

$$M_f = M_i + (M_{eq} - M_{in}) \Delta t K \exp(-Kt) \quad (4)$$

โดยที่

M_{eq} คือ equilibrium moisture content, decimal dry basis

M_{in} คือ initial moisture content, decimal dry basis

t คือ drying time, h

โดยที่ค่าคงที่ของการอบแห้ง(K)ของต้นหอม หาจากการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้ข้อมูลจากการทดลองของชวลิตและพงศ์พิชาญ [1] ได้สมการดังนี้

$$K = 0.062 \exp(0.048 T_{di}) \quad (5)$$

ความชื้นสมดุลของต้นหอมหาได้จากสมการของชวลิตและพงศ์พิชาญ [1] ได้สมการดังนี้

$$M_{eq} = A[RH_{di}/(1-RH_{di})]^B \quad (6)$$

เมื่อ $A = 0.14 - 0.36(T_{di}/100)$

$B = 0.40 - 0.13(T_{di}/100)$

โดยที่

RH_{di} คือ relative humidity , decimal

แบบจำลองคุณสมบัติของลมร้อนขึ้น

ความชื้นสัมพัทธ์คือ อัตราส่วนความดันไอของไอน้ำในลมร้อนต่อความดันไอไอน้ำในลมร้อนอิ่มตัว เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$RH_{do} = P_v / P_{vs(do)} \quad (7)$$

โดยที่

P_v คือ vapor pressure of air entering drying chamber, kPa

$P_{vs(do)}$ คือ saturated vapor pressure of air leaving chamber, kPa

ความดันไอน้ำอิ่มตัวสามารถหาได้จากสมการของ Clausius-Clapeyron เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{vs(do)} = \exp[-7511.52/(T_{do}+273)+89.6312+0.0239989(T_{do}+273)-1.1654551e-5(T_{do}+273)^2-1.2810336e-8(T_{do}+273)^3+2.09984e-11(T_{do}+273)^4-12.150799 \ln(T_{do}+273)] \quad (8)$$

ความดันไอของไอน้ำในลมร้อนคือส่วนของความดันย่อยที่กระทำโดยโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในลมร้อนขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความชื้นดังนี้

$$P_v = 101.325 W_{do} / (0.62189 + W_{do}) \quad (9)$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความสิ้นเปลืองพลังงาน

เมื่อลมไหลผ่านพัดลมจะทำให้มีอุณหภูมิของลมสูงขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Delta T_{fan} = P / \rho_a e_f (C_a + C_v W_{di}) \quad (10)$$

โดยที่

$$\Delta T_{fan} = \text{temperature rise across a fan, } ^\circ\text{C}$$

$$P = \text{pressure drop, kPa}$$

$$\rho_a = \text{air density, kg/m}^3$$

$$e_f = \text{fan efficiency, decimal}$$

เมื่อค่า P คือค่าความดันลรวมทั้งหมดเมื่อลมร้อนไหลผ่านเครื่องอบแห้ง และมีค่าเท่ากับค่าความดันลดเมื่อลมร้อนไหลผ่านต้นหอมและความดันลดเมื่อลมร้อนไหลผ่านท่อ ตะแกรง และข้อต่อต่างๆ อุณหภูมิของลมร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านแหล่งให้ความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta T_h = T_{di} - (T_{di} + \Delta T_{fan}) \quad (11)$$

โดยที่

$$\Delta T_h = \text{temperature rise across heat source, } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{fan} = \text{temperature rise across a fan, } ^\circ\text{C}$$

$$T_{amb} \text{ คือ temperature of ambient air, } ^\circ\text{C}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการใช้พลังงานความร้อนและอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับการขับพัดลม ได้จากสมการที่ (12) และ (13) ตามลำดับ

$$Q_h = m_d (C_a + C_v W_{di}) \Delta T_h \quad (12)$$

$$E = m_d P / (\rho_a e_f e_m) \quad (13)$$

โดยที่

$$Q_h = \text{the rate of heat consumption, kJ/h}$$

$$E = \text{the rate of electricity consumption, kJ/h}$$

$$e_m = \text{motor efficiency, decimal}$$

พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งจะเท่ากับผลรวมของอัตราการใช้พลังงานความร้อนกับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Total energy} = 2.6E + Q_h \quad (14)$$

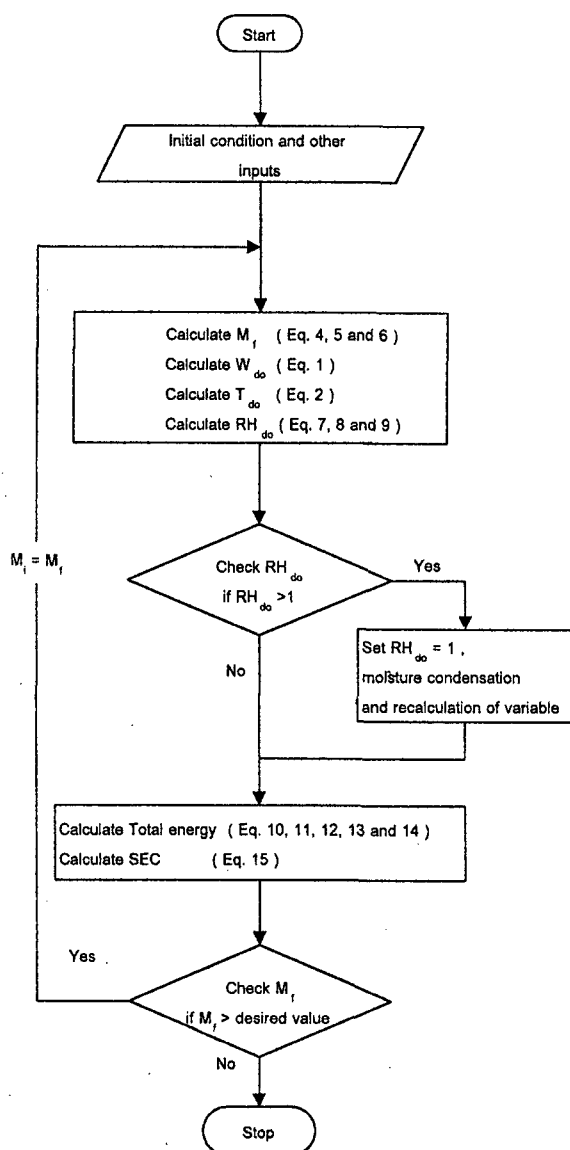
โดยที่ค่าของ 2.6 คือ ค่าปัจจัยการแปลงพลังงาน

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(SEC) เท่ากับอัตราการใช้พลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{SEC} = \text{Total energy} / [(M_{in} - M_f) m_p] \quad (15)$$

2.3 ขั้นตอนการคำนวณ

เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมโดยใช้ข้อมูลของวัสดุอบแห้ง เงื่อนไขของอากาศแวดล้อม เงื่อนไขของลมร้อน และค่าคงที่ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยมวลของดินหอม ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อัตราส่วนความชื้นของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิของลมร้อน อัตราการไหลของลมร้อน โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณผังการจำลองสถานะ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ผังการจำลองสถานะ

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งดินหอมที่อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน 1050 kg/h-kg solid, 1290 kg/h-kg solid และ 1550 kg/h-kg solid และที่อุณหภูมิของลมร้อน 50°C, 60°C และ 70 °C ได้ข้อมูลการทดลองตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ผลการทดลองอบแห้งดินหอมที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ

Air temperature (°C)	Specific air flow rate (kg/h-kg solid)	Drying time (h)	SEC (MJ/kg-water)
50	1050	29.5	26.25
	1290	19.0	27.31
	1550	19.0	31.10
60	1050	23.5	22.35
	1290	10.0	23.54
	1550	10.5	26.45
70	1050	9.5	19.45
	1290	9.5	21.42
	1550	9.5	24.35

หมายเหตุ ความชื้นเริ่มต้นของดินหอมอยู่ในช่วง 1500-1600 % dry-basis ความชื้นสุดท้าย 20% dry-basis

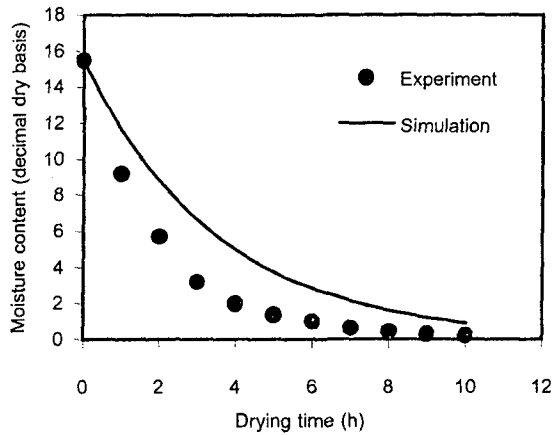
3.2 เปรียบเทียบความชื้นที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลอง

จากการจำลองสถานะการอบแห้งด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้กำหนดเงื่อนไขในการจำลองสถานะการอบแห้งเช่นเดียวกับการทดลอง ที่ความชื้นเริ่มต้นของดินหอม 1560% dry-basis ความชื้นหลังการอบแห้ง 20% dry-basis มวลของดินหอมสด 2 kg อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน 1050 kg/h-kg solid และอุณหภูมิของลมร้อน 70 °C ได้ผลการจำลองสถานะและผลจากการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่า การลดลงของความชื้นของดินหอมในระหว่างการอบแห้งที่ได้จากการจำลองสถานะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย ซึ่งทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ทำนายจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าที่ได้จากการทดลอง

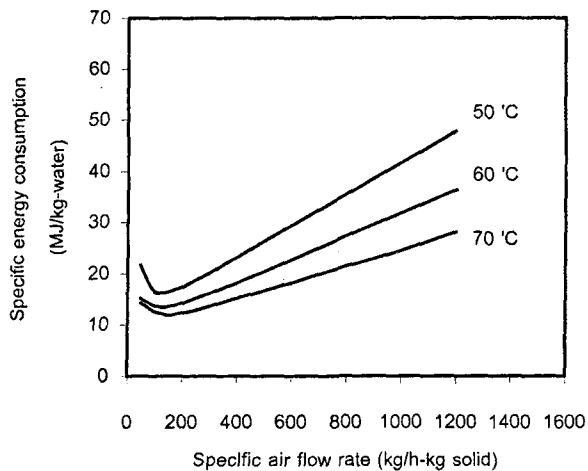
3.3 อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะและอุณหภูมิของลมร้อน

การศึกษาอิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะและอุณหภูมิของลมร้อนที่มีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงาน โดยมีเงื่อนไขการจำลองสถานะดังนี้ ความชื้นเริ่มต้นของดินหอม 1500% dry-basis ความชื้นสุดท้าย 20% dry-basis อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30°C อัตราส่วนความชื้นของอากาศแวดล้อม 0.015 kg water/kg dry air อุณหภูมิของลมร้อน 50°C, 60°C และ 70°C และอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน อยู่ในช่วง 80-1200 kg/h-kg solid ได้ผลการจำลองสถานะการอบแห้งดังรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิของลมร้อนสูงขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจะลดลง สำหรับอิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ อัตราการไหลจำเพาะสูง อัตราการไหลจำเพาะปานกลาง และอัตราการไหลจำเพาะต่ำ ช่วงอัตราการไหลจำเพาะสูง (มากกว่า 400 kg/h-kg solid) ความสิ้นเปลืองพลังงานจะลดลงเมื่ออัตราการไหลจำเพาะลดลงและเวลา การอบแห้งค่อนข้างคงที่สำหรับช่วงอัตราการไหลจำเพาะปานกลาง(200-400 kg/h-kg solid) ความสิ้นเปลืองพลังงานจะลดลงเมื่ออัตราการไหลจำเพาะลดลง แต่

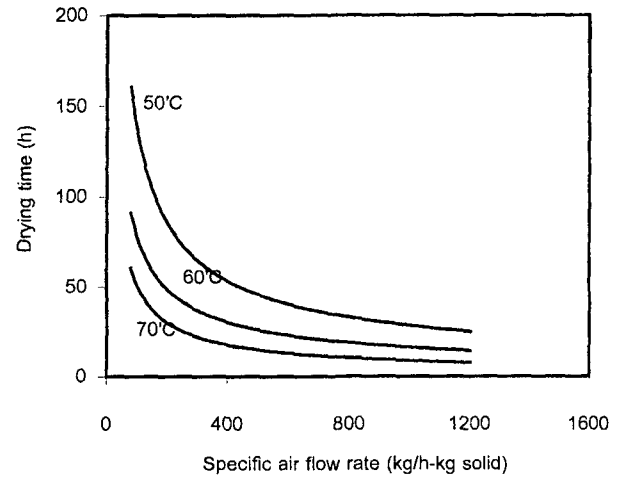
เวลาการอบแห้งจะสูงขึ้น และในช่วงอัตราการไหลจำเพาะต่ำๆ เมื่ออัตราการไหลจำเพาะลดลง ความสิ้นเปลืองพลังงานและเวลาการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก



รูปที่ 3. การลดลงของความชื้นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน



รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการอบแห้งกับอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน

4. สรุป

จากการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งต้นหอมที่เหมาะสมควรใช้อัตราการไหลจำเพาะของลมร้อน 400 kg/h-kg solid และอุณหภูมิของลมร้อน 70 °C ทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 15 MJ/kg-water และใช้เวลาในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ขวลิต ศรีอนุพงศ์ และพงศ์พิชาญ์ โกสุมาต " การศึกษาหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การอบแห้งต้นหอม" วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, พ.ศ. 2533, 42 หน้า
- [2] ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ "การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งมะละกอแช่เย็นในตู้อบแห้งและการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งที่เหมาะสม" เอกสารหลังการประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทความร้อน มวล และโมเมนตัมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ปี พ.ศ. 2532
- [3] S. Soponronnarit, M. Sukjindasatean and S. Prachayawarakorn, "Improvement in the Efficiency and Capacity of Chopped Spring Onion Drying" Drying Technology, Vol. 13, 1999, pp.1191-1199.
- [4] T. Swasdisevi, S. Soponronnarit, S. Prachayawarakorn and W. Phetdasada, "Drying of Chopped Spring Onion using Fluidization Technoqe" Drying Technology, Vol. 17, 1995, pp. 2167-2179.