

แนวทางการอบแห้งต้นหอมสับ

Strategies for Spring Onion Drying

มานิต สุขจินดาเสถียร¹, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์¹ และ สมเกียรติ ปรัชญาวรรการ²

Manit Sukjindasatean, Somchart Soponronnarit and Somkiat Prachayawarakorn

ABSTRACT

The objective of this paper was to investigate strategies for drying spring onion by considering both experimental and simulated results. Product quality, drying capacity and energy consumption were taken into consideration. It was concluded that drying should be divided into 3 stages. In the 1st stage, drying air temperature was 80°C, specific air flow rate was 33.9 m³/min.kg dry matter and drying time was 0.5 h. In the 2nd stage, drying air temperature and drying time were kept unchanged but specific air flow rate was decreased to 13.5 m³/min.kg dry matter. In the final stage, drying air temperature was decreased to 72°C, specific air flow rate was also decreased to 6.8 m³/min.kg dry matter. Following these three stages, specific primary energy consumption was 6.17 MJ/kg H₂O evap., drying time was 2.65 h and product quality was maintained.

Key words : spring onion drying, energy consumption, drying strategies

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการอบแห้งต้นหอมสับจากผลการทดลองและจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อัตราการผลิต และความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่าควรแบ่งการอบแห้งเป็น 3 ช่วง คือ ในช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 80°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 33.9 m³/min.kg dry

matter เป็นเวลา 0.5 h ในช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ และเวลาในการอบแห้งเท่าเดิม แต่ปรับอัตราการไหลเฉพาะของอากาศเป็น 13.5 m³/min.kg dry matter หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิเป็น 72°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศเป็น 6.8 m³/min.kg dry matter สิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิเฉพาะ 6.17 MJ/kg H₂O evap. ใช้เวลาอบแห้ง 2.65 h ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี

1 คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

School of Enegy and Materials King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Suksawat 48 Rd, Bangkok 10140, Thailand.

2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถนนสุขสวัสดิ์ 48 กรุงเทพฯ 10140

Faculty of Engineering. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Suksawat 48 Rd, Bangkok 10140, Thailand.

คำนำ

ในอุตสาหกรรมเกษตร กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ต้องใช้พลังงานในการอบแห้งสูง ถ้ามีการจัดการที่ดีจะทำให้ลดการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก โรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูป อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ มีการผลิตต้นหอมสับแห้ง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกะบะ ใช้ไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน ได้มีการศึกษาหาแนวทางการอบแห้งต้นหอมสับมาบ้างดังนี้ เจริญขวัญ (2533) ศึกษาการอบแห้งต้นหอมสับแบบเป็นงวด พบว่าการอบแห้งมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ จึงเสนอให้มีการอบแห้งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 2 มีการรวบรวมต้นหอมสับจากเครื่องอื่น เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน Wieneke (2534) ทำการศึกษาเช่นเดียวกันกับเจริญขวัญ (2533) และเสนอว่าควรนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ในช่วงที่ 2 ของการอบแห้ง อรอนงค์ (2534) ได้ศึกษาการกระจายของอุณหภูมิและหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของต้นหอมสับ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงที่ 1 คือ 80°C และอุณหภูมิที่ใช้อบในช่วงที่ 2 คือ 50°C ผลสรุปจากการทดลองตามที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่สามารถชี้ได้อย่างชัดเจนว่าจะดำเนินการอบแห้งอย่างไรจึงจะเหมาะสมที่สุดดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางการอบแห้งต้นหอมสับที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลการทดลองควบคู่ไปกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอบแห้งต้นหอมสับนี้พัฒนามาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Soponronnarit (1988) โดยพิจารณาเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.1 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากพัฒนา

พิจารณาปริมาตรควบคุม (CV3) ใน Figure 1 จากหลักสมดุลของพลังงานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของกระแสอากาศเท่ากับงานเพลที่ใส่ให้กับพัฒนา โดยตั้งสมมติฐานว่ามีการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมน้อย สามารถคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากพัฒนาได้ดังสมการ

$$T_{hi} = T_i + \Delta P / ((C_a + W_i C_v) \eta_f \rho_a) \quad (1)$$

T = อุณหภูมิของอากาศ, $^{\circ}\text{C}$

W = อัตราส่วนความชื้นของอากาศ, $\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg dry air}$

C = ความร้อนจำเพาะ, $\text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$

ΔP = ความดันลดลง, kPa

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

η_f = ประสิทธิภาพของพัฒนา, เศษส่วน

เมื่อ i หมายถึงก่อนเข้าพัฒนา hi หมายถึงทางออกของพัฒนา a หมายถึงอากาศแห้ง v หมายถึงไอน้ำ งานที่ให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า (W_m) ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถคำนวณได้จาก

$$W_m = W_s / \eta_e \quad (2)$$

W_s คืองานเพลที่ให้กับพัฒนาและ η_e คือประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

1.2 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นด้วยแหล่งความร้อน

พิจารณาปริมาตรควบคุม (CV2) ใน Figure 1 การเปลี่ยนแปลงของเอนทัลปีของกระแสอากาศเท่ากับความร้อนที่อากาศได้รับจากแหล่งความร้อน โดยตั้งสมมติฐานว่าการสูญเสียความร้อนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อมมีค่าน้อย สามารถคำนวณหาอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากตัวอุ่นความร้อนได้ดังสมการ

$$T_o = T_{hi} + Q / m_a (C_a + W_i C_v) \quad (3)$$

เมื่อ m_a คืออัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

Q คือความร้อนที่ให้กับตัวอุ่นอากาศร้อน (kW)

T_o คืออุณหภูมิของอากาศที่ตรงทางออกของตัวอุ่นอากาศ ($^{\circ}\text{C}$)

1.3 การคำนวณการอบแห้งภายในเครื่องอบแห้ง

พิจารณาที่ชั้นบาง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของเครื่องอบแห้ง ที่ช่วงเวลาหนึ่งจะสามารถเขียนสมการสมดุลพลังงานและสมดุลมวลได้ดังนี้

$$C_a T_o + W_o (h_{fg} + C_v T_o) + RC_{pw} \theta = C_a T_f + W_f (h_{fg} + C_v T_f) + RC_{pw} T_f \quad (4)$$

$$W_f - W_o = (M_o - M_f)R \quad (5)$$

M = ความชื้นของดินหอมสับ เศษส่วน
มาตรฐานแห้ง

θ = อุณหภูมิของดินหอมสับ $^{\circ}\text{C}$

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ $\text{kJ/kg.H}_2\text{O}$

R คืออัตราส่วนของมวลของดินหอมสับในชั้นบางต่อมวลของอากาศแห้งที่ไหลผ่านชั้นบางในช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ สัญลักษณ์กำกับล่าง o และ f หมายถึงเงื่อนไขก่อนการอบแห้งและเงื่อนไขหลังการอบแห้งตามลำดับ pw หมายถึงดินหอมสับ

ในการคำนวณอัตราส่วนการอบแห้งของชั้นบาง ใช้สมการการอบแห้งชั้นบางที่พัฒนาขึ้นโดยมานิต (2536) โดยใช้สมการของ Page (1949) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$(M - M_{eq}) / (M_{in} - M_{eq}) = \exp(-Kt^N) \quad (6)$$

เมื่อ $K = \exp(-4.67879 + 0.073218T - 0.19866/V - 0.00024T^2)$

$$N = \exp(0.014273 - 0.01268T + 0.05006/V + 0.000053T^2)$$

V คือความเร็วลม (m/s) สัญลักษณ์กำกับล่าง in และ eq หมายถึงเริ่มต้นและสมดุลตามลำดับ สมการ (6) ใช้ได้กับช่วงความเร็วลม $0.2-0.8 \text{ m/s}$ และอุณหภูมิ $40-80^{\circ}\text{C}$ จากนั้นหาอนุพันธ์ของสมการ (6) เทียบกับ t และใช้เทคนิค Finite differences กับสมการอนุพันธ์ที่ได้ เขียนได้ดังนี้

$$M_f = (M - dM_{eq}) / (1 - d) \quad (7)$$

โดยที่

$$d = -KN(\Delta t)^{(N-1)}$$

เมื่อ Δt คือช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (h)

t คือเวลารวม (h)

M_{eq} สามารถหาได้จากสมการที่พัฒนาขึ้นโดยมานิต (2536) โดยใช้รูปแบบของสมการ Modified Halsey (Iglesias and Chirife, 1976) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$M_{eq} = [\exp(1.844 - 0.0154T) / (-\ln(RH))]^{(1/1.361)} \quad (8)$$

ในการคำนวณจะเริ่มจากการคำนวณหาอัตราส่วนการอบแห้งของชั้นบาง แล้วจึงคำนวณหาอัตราส่วนความ

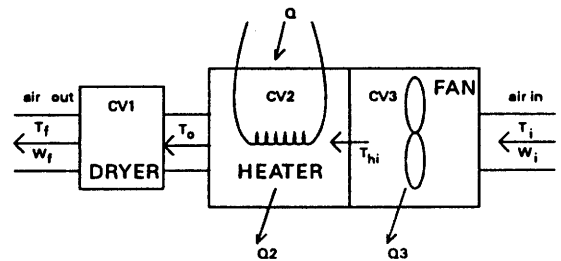


Figure 1 Control volumes.

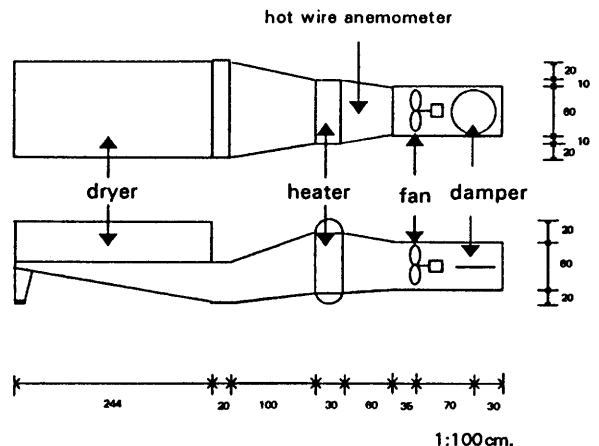


Figure 2 Detail of experimental dryer.

ชั้นและอุณหภูมิของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อไหลผ่านชั้นบาง จากนั้นคำนวณการหดตัวของดินหอมสับโดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้นโดย มานิต (2536) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$VV = 0.025505 + 0.004812M - 0.00034227M^2 + 9.47 \times 10^{-6}M^3 \quad (9)$$

VV = ปริมาตรจำเพาะของดินหอมสับ, m³/kg dry matter

ขั้นตอนการอบแห้งนี้จะพิจารณาที่ชั้นบางหนึ่งๆ เท่านั้น และสมมติว่าอากาศตรงทางออกของชั้นบางอันก่อนเป็นอากาศตรงทางเข้าของชั้นบางอันที่อยู่ถัดไป การคำนวณเช่นนี้จะดำเนินต่อไปจนถึงชั้นบนสุด ซึ่งจะได้การอบแห้งชั้นหนาโดยการรวมชั้นบางแต่ละชั้นเข้าด้วยกันและเวลาของการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งละ Δt การคำนวณจะสิ้นสุดลงเมื่อเวลาการอบแห้งรวมสูงกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ตั้งไว้

2. การทดลอง

นำดินหอมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4–8 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 30–45 เซนติเมตร หั่นให้ได้ขนาดยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร ใส่เครื่องอบแห้ง (Figure 2) ประมาณ 100 kg เปิดพัดลมและปรับอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ออบแห้งโดยวัดความเร็วของอากาศตรงทางเข้าเครื่องอบแห้ง ตั้งอุณหภูมิที่ใช้ออบและวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศแวดล้อมที่ช่วงเวลาต่างๆ นำตัวอย่างที่ระดับความสูงต่างๆ ออกมาหาความชื้นที่ช่วงเวลาต่างๆ ในการวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล type K ต่อกับ data logger ความถูกต้อง $\pm 1^\circ\text{C}$ สำหรับความเร็วลมใช้ hot wire anemometer โดยวัดความเร็วของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง (Figure 2) ส่วนการหาความชื้นของดินหอมสับใช้วิธีของเตาอบ โดยตั้งอุณหภูมิ 103°C อบเป็นเวลา 24 h

Table 1 Experimental results of spring onion drying.

Test no.	Temp. ($^\circ\text{C}$)	Specific air flow rate (m ³ /min.kg dry matter)	Drying time (h)	Initial moisture content (% wb)	Final moisture content (% wb)		Energy from fan (MJ/kgH ₂ O evap.)		Energy from steam (MJ/kg H ₂ O evap.)		Primary energy consumption (MJ/kg H ₂ O evap.)	
					sim ¹	exp ²	sim	exp	sim	exp	sim	exp
1	73	11.1	4.00	94.6	8.5	7.5*	0.10	0.23	6.63	8.30	6.90	8.90
2	66	22.2	4.00	94.9	9.3	8.3	0.20	0.24	8.96	9.40	9.49	10.01
3	78	20.6	1.50	94.6	11.1	9.1*	0.14	0.18	7.94	8.64	8.32	9.11
	63		1.50									
4	72	24.0	1.50	95.0	10.7	6.8	0.19	0.21	8.91	9.10	9.41	9.66
	62		2.00									
5	67	31.3	1.85	94.6	13.9	10.0	0.27	0.11	8.82	9.34	10.68	9.69
**	67	10.4	1.15									
6	80	28.1	0.50	94.1	6.6	6.9*	0.13	0.08	5.50	6.35	5.85	6.56
	80	21.1	0.05									
**	75	7.0	1.85									

* Product turned brown 1 Simulation 2 Experiment

** Three beds were mixed into one bed

ผล

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดงใน Table 1 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายการใช้พลังงานปฐมภูมิรวมได้ใกล้เคียงกับของการทดลอง พลังงานปฐมภูมิคำนวณได้จากความสิ้นเปลืองไฟฟ้าเนื่องจากพัดลม (คูณด้วยแฟกเตอร์ 2.6) รวมกับพลังงานความร้อน ส่วนลึขอของผลิตภัณฑ์พบว่าในการทดลองที่ 6 ใช้อุณหภูมิ 80°C นาน 0.5 h ในช่วงแรกและคงอุณหภูมิเดิมที่ 80°C อีก 0.5 h ในช่วงที่สอง ผลิตภัณฑ์ยังไม่เหลือง แต่เมื่ออบแห้งต่อโดยใช้อุณหภูมิ 75°C จนกระทั่งต้นหอมแห้งดี ผลิตภัณฑ์เริ่มมีสีเหลืองในการทดลองที่ 3 ใช้อุณหภูมิ 78°C นาน 1.5 h พบว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง จึงอาจ

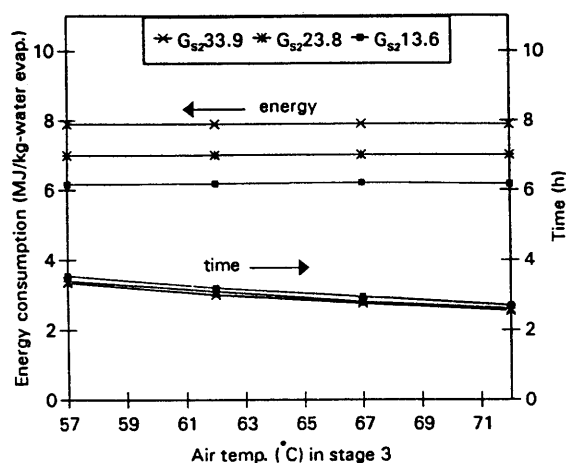


Figure 3 Effect of specific air flow rate in stage 2 and air temperature in stage 3 on specific primary energy consumption and drying time.
(Air temperature in stage 1 = 80°C, 0.5 h
Air temperature in stage 2 = 80°C, 0.5 h
Specific air flow rate in stage 1 = 33.9 m³/min.kg dry matter
Specific air flow rate in stage 3 = 6.8 m³/min.kg dry matter
 G_{s2} = Specific air flow rate in stage 2, m³/min.kg dry matter)

สรุปได้ว่าควรใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วงแรกไม่สูงกว่า 80°C และไม่นานกว่า 1 h จากนั้นใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำกว่า 75°C การใช้อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการอบแห้งสูงตามด้วย นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ออบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งเช่นกัน เพราะต้นหอมสับมีความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างมากคือประมาณ 94-95% wb ดังนั้นในช่วงต้นๆ ของการอบแห้งควรใช้อัตราการไหลของอากาศที่ค่อนข้างสูง

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแนวทางการอบแห้งแบ่งขั้นตอนการอบแห้งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 80°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 33.9 m³/min.kg dry matter (เป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ทำได้) ใช้เวลาอบแห้ง 0.5 h ช่วงที่ 2 ใช้ อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลาอบแห้ง 0.5 h เปลี่ยนอัตราการ

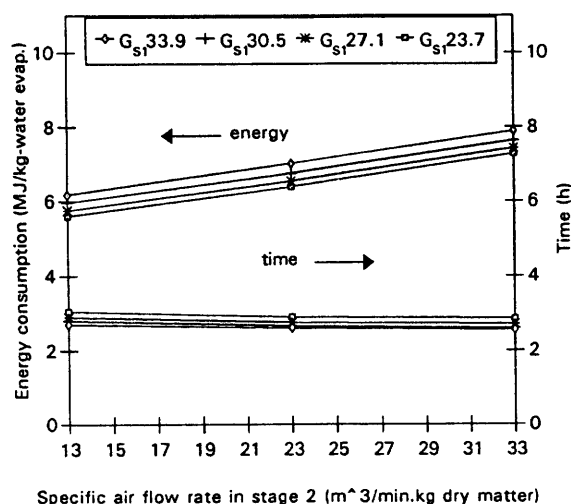


Figure 4 Effect of specific air flow rate in stage 1 and stage 2 on specific primary energy consumption and drying time.
(Air temperature in stage 1 = 80°C, 0.5 h
Air temperature in stage 2 = 80°C, 0.5 h
Air temperature in stage 3 = 72°C
 G_{s1} = specific air flow rate in stage 1, m³/in.kg drymatter
Specific air flow rate in stage 3 = 6.8 m³/min.kg dry matter)

ไหลเฉพาะของอากาศให้น้อยลง เพื่อดูผลของอัตราการไหลเฉพาะของอากาศที่มีต่อการใช้พลังงาน และในช่วงที่ 3 ให้อัตราการไหลเฉพาะของอากาศเป็น $6.8 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ แล้วเปลี่ยนอุณหภูมิเพื่อดูผลที่มีต่อการใช้พลังงาน ดังแสดงใน Figure 3 พบว่าอัตราการไหลในช่วงที่ 2 มีผลต่อการใช้พลังงานโดยที่อัตราการไหลในช่วงที่ 2 ที่สูงจะใช้พลังงานมากกว่าที่อัตราการไหลต่ำ ส่วนผลของอุณหภูมิในช่วงที่ 3 ไม่มีผลต่อการใช้พลังงานแต่มีผลต่อเวลาที่ใช้อบแห้งโดยที่อุณหภูมิสูงใช้เวลานานแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ หลังจากนั้นทดลองเปลี่ยนอัตราการไหลเฉพาะของอากาศทั้งในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 โดยใช้อุณหภูมิอบแห้ง 80°C และใช้เวลาอบแห้งช่วงละ 0.5 h ทั้งในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ส่วนในช่วงที่ 3 ใช้อุณหภูมิอบแห้ง 72°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $6.8 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ ดังแสดงใน Figure 4 พบว่าอัตราการไหลเฉพาะของอากาศในช่วงที่สองมีผลต่อความสัมพันธ์พลังงานมาก แต่อัตราการไหลเฉพาะของอากาศในช่วงแรกมีผลต่อความสัมพันธ์พลังงานไม่มาก เวลาที่ใช้อบแห้งไม่แปรเปลี่ยนมากนัก ดังนั้นจึงอาจสรุปแนวทางการอบแห้งได้ดังนี้ ในช่วงแรกควรใช้อุณหภูมิ 80°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $33.9 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ ใช้เวลา 0.5 h ในช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 80°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $13.5 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ ใช้เวลา 0.5 h ในช่วงที่ 3 ใช้อุณหภูมิ 72°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $6.8 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ สิ้นเปลืองพลังงานปฏุม-ภูมิจำเพาะ $6.17 \text{ MJ/kg H}_2\text{O evap.}$ โดยแยกเป็นของไฟฟ้า 4.53 % และของไอน้ำ 95.47 % ใช้เวลาอบแห้ง 2.65 h

สรุป

แนวทางการอบแห้งควรแบ่งเป็น 3 ช่วง โดยในช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 80°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $33.9 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ ใช้เวลา 0.5 h ในช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 80°C เช่นกัน อัตราการไหลจำ

เพาะของอากาศ $13.5 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ ใช้เวลา 0.5 h ในช่วงที่ 3 ใช้อุณหภูมิ 72°C อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ $6.8 \text{ m}^3/\text{min.kg dry matter}$ สิ้นเปลืองพลังงานปฏุมภูมิจำเพาะ $6.17 \text{ MJ/kg H}_2\text{O evap.}$ ใช้เวลาอบแห้ง 2.65 h ผลลัพธ์ที่ได้มีคุณภาพดี เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์พลังงานการอบแห้งในโรงงานหลวงอาหารสำเร็จรูป (Test No 5) พบว่าสามารถประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 30%

เอกสารอ้างอิง

- เจริญขวัญ วนะดิณิมิต 2533. เครื่องอบแห้ง, รายงานวิชาปัญหาพิเศษ สาขาวิศวกรรมอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- มานิต สุขจินดาเสถียร. 2536. แนวทางการอบแห้ง ดันหอมลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- อรอนงค์ ศรีพาทกุล. 2534. การปรับปรุงกระบวนการผลิตดันหอมอบแห้ง. รายงานวิชาปัญหาพิเศษ สาขาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Wieneke, F. 2534. รายงานการศึกษาโครงการระยะสั้นของโครงการแลกเปลี่ยนนักศึกษา, เอกสารโครงการหลวงอาหารสำเร็จรูป. อาจารย์วิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- Iglesias, H.A. and J. Chirife. 1976. Prediction of temperature on water sorption isotherms of food materials. J. Food Technol. 11 : 109-116.
- Page, G.E. 1949. Factors influencing the maximum rate of drying shell corn in layers. M.S. Thesis. Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Soponronnarit, S. 1988. Energy Model of Grain Drying System. ASEAN Journal on Science and Technology for Development. 5 : 43-68.