

การศึกษากรรมวิธีและแบบจำลองในการอบแห้งหอมหัวใหญ่

สิงหนาท พวงจันทร์แดง
ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

การศึกษาระบวนการแปรรูปหอมหัวใหญ่โดยการอบแห้ง โดยศึกษาผลของการบำบัดหอมหัวใหญ่ด้วยสารเคมีบางชนิดก่อนการอบแห้ง และผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณภาพและลักษณะที่ปรากฏของหอมหัวใหญ่ภายหลังการอบแห้ง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษา นำหอมหัวใหญ่สดมาแช่ในสารประกอบซัลเฟอร์ และกรดแอสคอร์บิกก่อนที่จะนำไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ได้เป็นไปตามสมการความสัมพันธ์ในรูปของเอกซ์โปเนนเชียลที่มีตัวแปรคงที่เพียงค่าเดียว การอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่ผ่านการบำบัดด้วยสารประกอบซัลเฟอร์ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการบำบัดด้วยสารเคมีก่อนการอบแห้ง และอุณหภูมิของการอบแห้งไม่มีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนการอบแห้งและค่าอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน

Study on Processing and Modeling of Onion by Drying

Singhanat Phoungchandang
Department of Food Technology,
Faculty of Technology, Khon Kaen University.

Abstract

A drying process of fresh onion has been studied. The experiments have been carried out to examine the effect of pretreatment with some chemicals and drying temperature on quality of dried onion as well as the optimum condition for storage.

Fresh onion is soaked in sulfur dioxide and ascorbic acid solution prior to drying in cabinet tray dryer at 50°C, 60°C and 70°C. The results are well fit to exponential equation with only one constant variable. The results also showed the samples drying at higher temperature have higher drying rate as compare with the samples dried at lower temperature. However, the quality of sample treated with sulfur dioxide solution and dried at lower temperature of 50°C is much better than those dried at higher temperature. Moreover, the pretreatment prior to drying and the temperature of drying process have no significant effect on drying and rehydration ratio.

คำนำ

ในการเพิ่มผลผลิตหอมหัวใหญ่ ยังไม่ได้คำนึงถึงกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสม และควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาจะต้องน้อยที่สุด ผลผลิตที่มากจนล้นตลาดจะก่อให้เกิดปัญหาในการขนถ่ายผลผลิตไปยังตลาดหรือโรงงานแปรรูป ดังนั้นหลังการเก็บเกี่ยวจะต้องมีกระบวนการทำเย็นและกระบวนการแปรรูปขั้นต้น ซึ่งจะต้องทำอย่างถูกวิธีเพื่อรักษาคุณภาพของผลผลิตไว้ให้มากที่สุด

คุณภาพและราคาของหัวหอมหัวใหญ่ของผักแห้ง ก่อให้เกิดความสนใจที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะปริมาณการใช้ที่สูงขึ้นในเบหมิกิ่งสำเร็จรูปและซอสสำเร็จรูปบางกำลัง ส่งให้อุตสาหกรรมผักแห้งขยายตัวอย่างรวดเร็ว

ทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง Charm[1] พบว่าอัตราการดึงน้ำออกจากอาหารจะคงที่อยู่ระยะหนึ่ง จากนั้นอัตราการระเหยน้ำค่อยๆ ลดลง

การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร อัตราการดึงความชื้นออกจากอาหารขึ้นกับเวลา งานวิจัยต่างๆ ส่วนมากได้รายงานเป็นอัตราส่วนความชื้นที่ระเหยไปต่อเวลา (moisture ratio per time) ได้มีผู้คิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งแบบชั้นบาง (thin layer drying model) ของเมลิ็ดธัญพิช และใช้เป็นสมการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร Henderson และ Perry[3] รายงานว่าในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะเป็นส่วนกลับกับปริมาณน้ำที่ถูกดึงออก ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (1)$$

Henderson และ Pabis[2] ได้เสนอสมการไว้ดังนี้

$$MR = \exp(-kt) \quad (2)$$

ต่อมา Thomson และคณะ [6] ได้เสนอสมการอบแห้งดังนี้

$$t = A(\ln MR) + B(\ln MR)^2 \quad (3)$$

Overhults และคณะ[4] ได้ศึกษาการอบแห้งหัวเห็ด โดยใช้หัวเห็ดที่มีความชื้น 20-23% สภาพการอบแห้งใช้อากาศร้อนที่อุณหภูมิ 140°C และอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างแข็ง(dew point) มีค่า 8°C โดยใช้สมการของ Page[5] ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt)^n \quad (4)$$

เมื่อ

MR = อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio)

M = ความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ที่เวลาใดๆ

M_o = ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

M_e = ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

t = เวลาที่ใช้อบแห้ง (ชม.)

k = ค่าคงที่ (empirical drying constant, h⁻¹ หรือ 1/ชม.)

n = ค่าคงที่ (empirical drying exponent)

A,B = ค่าคงที่

dM/dt = ปริมาณความชื้นต่อเวลา

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลของกระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิต่อคุณภาพของหอมหัวใหญ่อบแห้ง ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้พัฒนาการอบแห้งต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ตู้อบแห้ง

โดยใช้ตู้อบไฟฟ้าแบบถาด (Cabinet tray dryer) HA 40 มีขนาดกว้าง 1.22 เมตร สูง 1.68 เมตร และลึก 0.79 เมตร มีปริมาตร 1.62 ลูกบาศก์เมตร ช่วงอุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยเทอร์โมสแตท สามารถตั้งเวลาทำงานของชุดลดความร้อนได้ด้านในมีตะแกรงโปร่ง 6 ชั้น เพื่อวางผักที่จะอบแห้ง มีพัดลมกระจายความร้อนและระบายความชื้นด้วยอัตรา 3.82 ลบ.เมตร/นาท หรือมีความเร็วลม 311.5 เมตร/นาท ด้านบนมีช่องระบายความชื้นออกจากตู้อบเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.5 ซม. อ่านอุณหภูมิจากหน้าปัทม์ด้านหน้าของตู้อบ

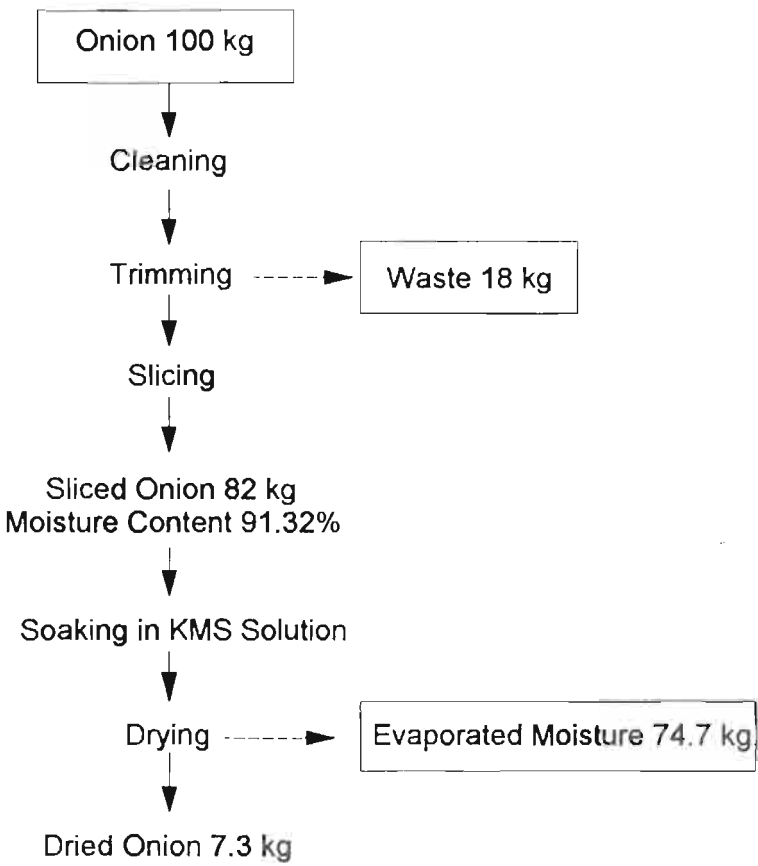
วัตถุดิบ

หอมหัวใหญ่พันธุ์ เยลโลกราเน็กซ์ โดยนำหอมหัวใหญ่มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกแล้ว หั่นตามขวางให้มีความหนา 3 มม.

การศึกษาผลของกระบวนการก่อนการอบแห้ง

- 1 ไม่ผ่านการชบวนการใดๆ
- 2 ผ่านการแช่ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ (Potassium metabi-sulfite; KMS) ความเข้มข้น 0.3% นาน 10 นาที
- 3 ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ความเข้มข้น 0.1% นาน 10 นาที

โดยการชบวนการก่อนการอบแห้งในข้อ 2.3.2 และ 2.3.3 เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีของหอมหัวใหญ่อบแห้ง กระบวนการทำหอมหัวใหญ่อบแห้งดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการอบแห้งหอมหัวใหญ่

การทดสอบการอบแห้ง

1. โดยวางหอมหัวใหญ่ที่ผ่านกระบวนการก่อนการอบแห้งตามข้อ 2.3 บนตะแกรงภายในตู้อบถาดละ 1.5 กิโลกรัม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับในขณะที่ยอดเหนียวภายนอกอยู่ระหว่างการอบมีค่าประมาณ 25-28 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50-60
2. สุ่มตัวอย่างจากข้อ 2.3 มาหาความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ทุกๆ 1 ชั่วโมงจนกระทั่งความชื้นไม่ลดลง
3. อบหอมหัวใหญ่ในข้อ 2.3 บางส่วนต่อไปอีก 3-5 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่นำไปหาความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content ; M_e) (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)
4. นำค่า M , M_o , M_e และ t ไปคำนวณอัตราส่วนความชื้น (MR) แล้วนำไป วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS และทดสอบการถดถอย โดยมีค่า $n = 1$ แล้วใช้สมการของ Henderson และ Pabis[2] เพื่อหาค่า k

การทดสอบอัตราส่วนการอบแห้ง (Drying ratio)

ได้จากน้ำหนักของหอมหัวใหญ่ที่หั่นแล้วหารด้วยน้ำหนักหอมหัวใหญ่หลังการอบแห้ง

การทดสอบอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน (Rehydration ratio)

โดยนำหอมหัวใหญ่อบแห้งมาแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำไปคำนวณหาอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน ซึ่งได้จากน้ำหนักของหอมหัวใหญ่แห้งหลังแช่น้ำหารด้วยน้ำหนักหอมหัวใหญ่แห้งก่อนการแช่น้ำ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดสอบสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา จะเห็นว่าหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส อัตราส่วนความชื้นจะค่อยๆ ลดลง โดยที่อุณหภูมิสูง อัตราส่วนความชื้นจะลดลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

การอบแห้งหอมหัวใหญ่ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 6 5 และ 4 ชั่วโมง

ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

จากการทดลองพบว่าค่าคงที่ (k) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำหอมหัวใหญ่ไปอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการระเหยน้ำจะน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้กระบวนการก่อนการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งดังแสดงใน ตารางที่ 1

ความชื้นสมดุลของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จะมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสามารถดึงน้ำออกจากเซลล์ของหอมหัวใหญ่ได้มากกว่า ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 1

ค่า Drying Constant ของการอบแห้งหอมหัวใหญ่แห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature (°C)	Drying Constant, k (1/h)		
	No Pretreatment	Soaking KMS	Soaking in Ascorbic acid
50	0.97774	1.06617	1.21580
	(r=0.985)	(r=0.984)	(r=0.985)
60	1.36332	1.32598	1.38158
	(r=0.976)	(r=0.954)	(r=0.969)
70	1.63589	1.91238	1.87008
	(r=0.979)	(r=0.968)	(r=0.970)

ตารางที่ 2

ค่า Drying time และ Equilibrium moisture content ของหอมหัวใหญ่แห้ง

Temperature	No Pretreatment		Soaking in KMS		Soaking in ascorbic acid	
	T	EM	T	EM	T	EM
	(h)	(%)	(h)	(%)	(h)	(%)
50	6	10.26	6	9.79	6	8.77
60	5	7.34	5	7.54	5	7.24
70	4	5.94	4	5.56	4	5.71

T=drying time, EM=equilibrium moisture content, moisture content=% in dry basis

การอบแห้ง

1. ประสิทธิภาพของตู้อบ ในการทดสอบประสิทธิภาพของตู้อบ โดยใช้สมการของ Henderson และ Pabis[2] ค่า M , M_0 , M_e และ t นำไปคำนวณอัตราส่วนความชื้น (MR) เมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS และทดสอบการถดถอย โดยมีค่า $n=1$ จะสามารถหาค่า k ได้ ดังนั้นจะเห็นว่า การอบแห้งทุกกรรมวิธีเป็นไปตามสมการของ Henderson และ Pabis[2] และสมการที่ได้สามารถใช้ทำนายเวลาอบแห้งได้อย่างแม่นยำ (Coefficient of Correlation > 0.95%) ดังแสดงในตารางที่ 1
2. สมการอบแห้งแบบชั้นบาง (Thin layer drying equation) ในการศึกษาการอบแห้งหอมหัวใหญ่ โดยใช้หอมหัวใหญ่ที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 91.32 สามารถใช้ความสัมพันธ์ของสมการแบบ Arrhenius เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคงที่ k กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในรูปอุณหภูมิสัมบูรณ์ จากการทดลองนี้ได้ค่าคงที่ a และ b ซึ่งสามารถนำไปหาค่าคงที่ k เพื่อที่จะใช้ทำนายเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ รูปแบบของสมการที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้คือ

$$\ln k = a + \frac{b}{T_a}$$

$$\ln k = 9.52133 - \frac{5513.70044}{T_a}$$

โดย T_a = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ใช้ออบแห้ง (องศาไรมัวร์)

การทดสอบอัตราส่วนการอบแห้ง

จากการทดลองพบว่ากรรมวิธีที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ มีอัตราส่วนการอบแห้งต่ำกว่ากรรมวิธีที่มีการแช่ในสารเคมีเล็กน้อย ผลผลิตแห้งที่ได้จากกรรมวิธีที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ อาจจะมีปริมาณมากกว่ากรรมวิธีที่ผ่านการแช่ในสารเคมี เนื่องจากการแช่หอมหัวใหญ่ในสารเคมีมีการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการไปบ้าง ดังแสดงในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า กรรมวิธีต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดสอบอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน

จากการทดลองพบว่า หอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผ่านกระบวนการต่างๆ สามารถคืนรูปมีลักษณะใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่สด หอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ สามารถคืนรูปและมีคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับของสดมากกว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตามอัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนทุกกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกันคือ สามารถดูดน้ำกลับคืนได้ประมาณ 7 เท่าของน้ำหนักแห้ง ในเวลา 4 ชั่วโมง แสดงว่ากระบวนการก่อนการอบแห้งไม่มีผลต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืน ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3

Drying ratio ของหอมหัวใหญ่แห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Treatment	50° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	10.08	10.37	9.81	10.32	11.31	11.31 ^{ns}
Soaking in KMS	10.98	10.27	10.20	11.56	11.56	11.55 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	11.56	10.56	10.24	11.42	10.80	10.92 ^{ns}
Treatment	60° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	9.76	10.81	11.12	11.51	11.90	11.02 ^{ns}
Soaking in KMS	11.83	11.83	11.71	12.27	12.84	12.10 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	12.12	10.93	11.39	12.53	12.84	11.96 ^{ns}
Treatment	70° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	9.90	9.71	9.81	11.92	12.34	10.74 ^{ns}
Soaking in KMS	11.36	10.45	9.91	11.92	12.66	11.26 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	10.99	11.00	10.58	11.93	12.34	11.37 ^{ns}
Avg.						11.18

Note : ns = not different at 95% significance level

ตารางที่ 4
Rehydration ratio ของหอมหัวใหญ่แห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Treatment	50° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	6.86	7.51	6.50	6.16	6.86	6.78 ^{ns}
Soaking in KMS	6.74	7.13	6.77	7.04	7.74	7.08 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	6.72	7.03	6.70	6.63	6.32	6.68 ^{ns}
Treatment	60° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	5.95	6.31	6.85	7.38	7.36	6.77 ^{ns}
Soaking in KMS	6.37	7.03	6.89	7.06	7.77	7.02 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	6.24	6.35	6.97	7.54	7.47	6.91 ^{ns}
Treatment	70° C					Avg.
	1	2	3	4	5	
No Pretreatment	6.67	7.29	7.56	7.26	7.64	7.28 ^{ns}
Soaking in KMS	7.79	5.87	5.86	7.56	8.05	7.03 ^{ns}
Soaking in ascorbic acid	6.23	8.00	6.42	7.19	7.56	7.08 ^{ns}
Avg.						6.96

Note : ns = not different at 95% significance level

สรุปผลการทดลอง

1. ผลการอบแห้ง เป็นไปตามสมการเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Equation)

$$\ln MR = -kt$$

โดยที่ค่า k (ค่าคงที่ในการอบแห้ง) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\ln k = 9.52133 - \frac{5513.70044}{T_a}$$

เมื่อ T_a คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ใช้ออบแห้ง (องศาโรเมอร์)

2. การอบแห้งหอมหัวใหญ่ในตู้อบไฟฟ้าโดยใช้อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 6 5 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ
3. หอมหัวใหญ่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ แล้วทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด ในกรณีที่ไม่ต้องการให้มีสารเคมีหลงเหลือ ควรแปรรูปหอมหัวใหญ่ออบแห้ง โดยไม่ผ่านกระบวนการใดๆ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. กระบวนการก่อนการอบแห้ง และอุณหภูมิไม่มีผลต่ออัตราส่วนการอบแห้ง โดยมีค่าเฉลี่ย 11.18
5. กระบวนการก่อนการอบแห้งและอุณหภูมิ ไม่มีผลต่ออัตราส่วนการดูดน้ำกลับคืนของหอมหัวใหญ่ หลังการคั้นรูป โดยมีค่าเฉลี่ย 6.96

คำขอบคุณ

การศึกษากกรรมวิธีและแบบจำลองในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ ซึ่งเป็นโครงการที่ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้ ผู้ทำการวิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

บรรณานุกรม

- [1] Charm, S.E., 1987. **Fundamental of Food Engineering**. 3rd ed., AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.
- [2] Henderson, S.M. and Pabis, S. 1961. **Grain Drying Theory I. Temperature Effect on Drying Coefficient**. J. of Agri. Eng. Res. 6(3) : 169-174.
- [3] Henderson, S.M. and Perry, R.L., 1976. **Agricultural Process Engineering**. 3rd ed., AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.
- [4] Overhults, D.G., White, G.M., Hamilton, H.E. and Ross, I.J., 1973. **Drying Soybeans with Heated Air**. Trans. of ASAE 16(1):112-113.
- [5] Page, G., 1949. Ascited by Wang, C.Y. and Sing, R.P., 1978. **Single Layer Drying Equation for Rough Rice**. ASAE Paper, No.78-3001.
- [6] Tompson, T.L., Peart, R.M. and Foster, G.H., 1968. **Mathematical Simulation of Corn Drying-A New Model**. Trans. of ASAE, 11(4) : 582-586.