

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแป้งบุกด้วยวิธีการออกแบบ การทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองและการออกแบบส่วนผสมกลาง

The Study of Optimum Condition for Dehydration of Konjac Flour by the Response Surface Experimental Design and Central Composite Design

วุฒินันท์ โนนลำดวน^{*1} ณัฐพล ภูมิสะอาด¹ ละมุล วิเศษ¹ ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

² ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Wuttinan Noanlumduan^{*1} Nattapol Poomsa-ad¹ Lamul Wiset¹ Chaleeda Borompichaichartkul²

¹ Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Khamriang, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150

² Department of Food Technology, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

Tel: 0-4375-4316 E-mail: tiger-muyong@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดด้วยการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางในการพัฒนากระบวนการผลิตแป้งบุก โดยการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไรซ์เบด ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศร้อน (x_1) 100 - 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง (x_2) 2 - 4 นาที และความเร็วอากาศร้อน (x_3) 2.5 - 3.5 เมตร/วินาที ผลการทดลองพบว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง อุณหภูมิอากาศร้อน ระยะเวลาในการทำแห้ง และความเร็วอากาศร้อนต่อคุณภาพของแป้งบุก และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตแป้งบุกคือ อุณหภูมิอากาศร้อน 128.7 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้ง 2.12 นาที ความเร็วอากาศร้อน 3 เมตร/วินาที ที่สภาวะนี้ให้ค่าปัจจัยตอบสนองดังนี้ ความชื้นแป้งบูกร้อยละ 6.29 มาตรฐาน เบี่ยงด้านคุณภาพของแป้งบุกพบว่า ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีค่า 61.67 5.12 และ 18.96 ตามลำดับ สำหรับค่าความหนืด 1920 เซนติพอยส์

คำหลัก แป้งบุก กลูโคแมนแนน การอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด พื้นผิวตอบสนอง การออกแบบส่วนประสมกลาง

Abstract

This research aims to study the optimal condition using the response surface design with a central composite design for development the process of konjac production. The fluidized bed dryer was used in the experiment. The study factors were drying temperatures (x_1) of 100 - 140 °C, drying times (x_2) of 2 - 4 minutes and hot air velocities (x_3) of 2.5 - 3.5 m/s. The experimental results showed that an interaction of drying temperature, drying time and hot air velocity affected on the quality of konjac flour. The optimal condition was at drying temperature of 128.7 °C for 2.12 minutes at hot air velocity of 3 m/s. This condition provided the response parameter of 6.29 % wet basis moisture content of konjac flour. The quality of konjac flour was found that lightness value (L^*), red value (a^*) and yellow value (b^*) were 61.67, 5.12 and 18.96, respectively. Moreover, the viscosity was 1920 cP.

Keyword: Konjac flour, glucomannan, fluidized bed drying, response surface, central composite design

1. บทนำ

หัวบุกเป็นหัวใต้ดินของต้นบุกซึ่งเป็นพืชเกษตรที่สามารถนำมาผลิตแป้งบุก ซึ่งในแป้งบุกมีสารกลูโคแมนแนน (glucomannan) อยู่ในปริมาณมากมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายทั้งในด้านการแพทย์และอุตสาหกรรมอาหาร สารกลูโคแมนแนนเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่มีประโยชน์ทางการแพทย์ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ระดับไขมันในเส้นเลือด บำบัดอาการท้องผูก ใช้เป็นอาหารควบคุมน้ำหนัก โดยไม่มีผลข้างเคียงต่ออวัยวะอื่นๆ ในร่างกาย [1] ในด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ ใช้เป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทนมข้น ใช้เพื่อทดแทนไขมันและเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ [2] กระบวนการผลิตแป้งบุกถือว่ามี ความสำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของสารกลูโคแมนแนนที่ได้ โดยเฉพาะขั้นตอนการทำแห้งด้วยความร้อนและเวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะมีผลต่อคุณภาพของสารกลูโคแมนแนน คือ ความชื้น สี ความหนืด การพัฒนากระบวนการทำแห้งที่รวดเร็วเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการผลิตแป้งบุกจะช่วยให้สามารถผลิตสารกลูโคแมนแนนที่มีคุณภาพดี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตแป้งบุกให้ได้แป้งบุกที่มีคุณภาพ โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ร่วมกับการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design) [3] เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแป้งบุก ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ [4] โดยนำสมการทางคณิตศาสตร์และการคำนวณทางสถิติมาใช้งานบนพื้นฐานของสมการพหุนาม (polynomial) [5] ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถศึกษาอันตรกิริยาของตัวแปรต้นหลายตัวแปรส่งผลต่อตัวแปรตามได้ในเวลาเดียวกันจึงช่วยลดความผิดพลาดจากการศึกษาที่ละปัจจัยและสามารถหาสภาวะที่มีความเหมาะสมในการกระบวนการผลิตแป้งบุกให้มีคุณภาพ

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

2.1.1 หัวบุกแห้งพันธุ์เนื้อทรายบดละเอียดขนาด 80 - 120 mesh (0.125 มิลลิเมตร) สามารถแบ่งองค์ประกอบได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ส่วนที่มีอนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่ารูตะแกรง 120 mesh มีองค์ประกอบหลักเป็นสารกลูโคแมนแนนร้อยละ 60 - 80 ส่วนที่มีอนุภาคขนาดเล็กกว่ารูตะแกรง 120 มีประมาณร้อยละ 20 - 40 ประกอบด้วยแป้ง (starch) และสารพิษ เช่น แคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) และสารอัลคาลอยด์ (alkaloid) [6] ซึ่งอนุภาคเหล่านี้จัดเป็นสารเจือปน (impurity) ที่ต้องกำจัดออกไป

2.1.2 เครื่องเหวี่ยงด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ ถังเหวี่ยงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สามารถสร้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 300 - 1000 เท่าของแรงโน้มถ่วงโลก (g)

2.1.3 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ พัดลมเป่าอากาศสามารถปรับความเร็วอากาศร้อนช่วง 0 - 10 เมตร/วินาที และขดลวดให้ความร้อนขนาด 8 กิโลวัตต์

2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

2.2.1 การสกัดแป้งบุกด้วยวิธีการสกัดแบบเปียก [7] โดยการเติมสารละลายบอแรกซ์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ในอัตราส่วน สารละลายต่อแป้งบุก 10:1 และกวนให้แป้งบุกกระจายตัวในสารละลายนาน 5 นาที กรองผ่านตะแกรงขนาด 120 mesh เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรง เช่น แป้งแคลเซียมออกซาเลต และสารอัลคาลอยด์ออกไปกับสารละลายที่ใช้สกัด จากนั้นสกัดซ้ำด้วยสารละลายชนิดเดิมในปริมาณเท่าเดิมและกรองผ่านตะแกรงอีก 3 - 4 ครั้ง จะได้แป้งบุกที่มีสารเจือปนอยู่น้อย มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน [8] ค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 72.27 มาตรฐานเปียก

2.2.2 การทำแห้งแป้งบุกมีสองขั้นตอน ขั้นตอน ที่ 1 ใช้เทคนิคการเหวี่ยงโดยนำแป้งบุกที่ผ่านการสกัดมาเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อแยกสารละลายออกจากแป้งบุก ใช้ระยะเวลา 7 - 8 นาที และขั้นตอนที่ 2 ทำแห้งแป้งบุกด้วยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด

ขนาดห้องอบแห้ง เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ขดลวดความร้อนขนาด 8 กิโลวัตต์

2.3 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ร่วมกับการออกแบบส่วนผสมกลาง

การออกแบบการทดลองโดยปัจจัยในการศึกษา การทำแห้งแป้งบุกประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศร้อน (x_1) มีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง (x_2) อยู่ระหว่าง 2 - 4 นาที และความเร็วอากาศร้อน (x_3) อยู่ระหว่าง 2.5 - 3.5 เมตร/วินาที ค่าของตัวแปรเหล่านี้ได้จากการศึกษาเบื้องต้น และตัวแปรตามที่ต้องการศึกษาประกอบด้วย ความชื้น สี และความหนืด กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 รายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรอิสระและระดับของตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปร	ระดับ				
	-1.6818	-1	0	+1	+1.6818
x_1	86.3640	100	120	140	153.6400
x_2	1.3182	2	3	4	4.6818
x_3	2.1591	2.5	3	3.5	3.8409

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพของแป้งบุก

2.4.1 การวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Spectrocolorimeter) รุ่น: ColorFlex ในระบบ Hunter Lab บริษัท Hunter Lab, Reston, USA ค่าสี L^* เป็นค่าความสว่าง ค่าสี a^* เป็นบวกแสดงสีแดงและเป็นลบแสดงสีเขียว และค่าสี b^* เป็นบวกแสดงสีเหลืองและเป็นลบแสดงสีน้ำเงิน โดยวัด 3 ซ้ำ

2.4.2 การวิเคราะห์ความหนืด โดยการเตรียมตัวอย่างแป้งบุกตัวอย่างละ 1 กรัม นำแป้งบุกนี้ละลายลงในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่ตั้งอยู่บนเตาไฟฟ้าที่ปรับอุณหภูมิได้ ทำการกวนสารละลายที่อุณหภูมิ 80 - 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้เครื่องวัดความหนืด Brookfield Programmable Viscometer รุ่น DV-II +Pro ใช้หัววัดเบอร์ S06 ความเร็วรอบในการหมุน 25 RPM ทำการวัด 3 ซ้ำ โดยควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างที่วัดให้อยู่ในช่วง 25 ± 1 องศาเซลเซียส

2.4.3 การวิเคราะห์ความชื้นของแป้งบุก (Moisture Content, MC) ได้จากสมการที่ 1 [9]

$$MC = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100 \% \quad (1)$$

เมื่อ MC = ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานเปียก)

W_w = มวลของวัสดุเปียก (กรัม)

W_d = มวลของวัสดุแห้ง (กรัม)

3. ผลการวิจัย

การศึกษาการทำแห้งแป้งบุกด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนองร่วมกับการออกแบบส่วนผสมกลาง โดยการศึกษาอุณหภูมิอากาศร้อนในการทำแห้งแป้งบุก 100 - 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้ง 2 - 4 นาที และความเร็วอากาศร้อน 2.5 - 3.5 เมตร/วินาที เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้ง แป้งบุกได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัย และการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย พิจารณาที่ $p\text{-value} \leq 0.05$ [10-13] การวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยเป็นสมการการถดถอย (regression equation) ดังสมการที่ 2 - 6 แสดงในตารางที่ 3

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยระหว่าง อุณหภูมิของอากาศร้อน ระยะเวลาในการทำแห้ง แป้งบุก และความเร็วอากาศร้อน ต่อความชื้นของแป้งบุก พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศร้อนกับระยะเวลาในการทำแห้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อการลดลงของค่าความชื้นของแป้งบุก

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพหุคูณตอบสนองร่วมกับการออกแบบส่วนผสมกลาง

ลำดับ การทดลองที่	ตัวแปรอิสระ			ความชื้น (ร้อยละ มาตรฐานเปียก)	ความชื้น หนืด (เซนติพอยส์)	ค่าสี		
	อุณหภูมิ อากาศร้อน	ระยะเวลา การทำแห้ง	ความเร็ว อากาศร้อน			L*	a*	b*
	x_1	x_2	x_3					
	(องศาเซลเซียส)	(นาที)	(เมตร/วินาที)					
1	100	2	2.5	18.91	599	62.84	4.87	18.58
2	140	2	2.5	5.43	1734	61.89	4.98	18.6
3	100	4	2.5	6.89	1125	61.45	4.72	17.96
4	140	4	2.5	1.87	2899	61.21	5.12	18.78
5	100	2	3.5	20.11	753	62.01	5.11	18.44
6	140	2	3.5	5.21	2598	61.11	5.27	18.92
7	100	4	3.5	7.32	1201	61.46	4.62	17.86
8	140	4	3.5	1.84	3756	61.01	5.31	18.89
9	86.36	3	3	14.89	610	57.87	4.81	17.64
10	153.64	3	3	1.46	1595	61.02	5.65	18.98
11	120	1.32	3	11.93	1321	61.66	4.43	17.95
12	120	4.68	3	2.60	2176	61.97	4.62	18.49
13	120	3	2.16	6.14	1437	61.67	4.44	16.73
14	120	3	3.84	4.19	1245	61.16	4.62	18.01
15	120	3	3	5.93	1582	61.23	4.28	17.39
16	120	3	3	5.10	1439	61.11	4.47	17.62
17	120	3	3	5.47	1598	61.45	4.54	17.55
18	120	3	3	5.98	1496	61.05	4.36	17.53
19	120	3	3	5.11	1501	61.13	4.44	17.45
20	120	3	3	5.26	1547	61.22	4.38	17.67

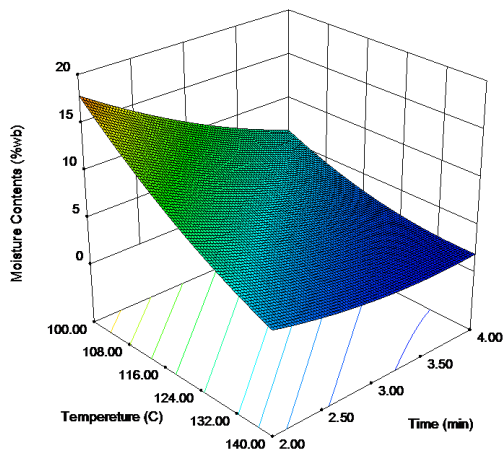
ตารางที่ 3 สมการการถดถอย (regression equation)

ตัวแปร	รูปแบบสมการ	สัมประสิทธิ์	
		การถดถอย (R ²)	สมการที่
Moisture content	$= 5.48 - 3.99x_1 - 2.77x_2 - 0.58x_3 + 2.24x_1x_2$ $- 0.23x_1x_3 - 0.072x_2x_3 + 0.95x_1^2 + 0.63x_2^2 - 0.11x_3^2$ $+ 0.12x_1x_2x_3 - 1.19x_1^2x_2 + 0.75x_1^2x_3 - 0.87x_1x_2^2 + 1.49x_1^2x_3^2$	0.9389	(2)
Viscosity	$= 1527.53 + 292.77x_1 + 254.01x_2 - 57.15x_3 + 168.50x_1x_2$ $+ 186.35x_1x_3 - 10.52x_2x_3 - 150.20x_1^2 + 78.27x_2^2 - 65.83x_3^2$ $+ 8.91x_1x_2x_3 + 158.26x_1^2x_2 + 301.03x_1^2x_3 + 620.75x_1x_2^2 + 443.66x_1^2x_3^2$	0.9939	(3)
L*	$= 61.20 + 0.94x_1 + 0.092x_2 - 0.15x_3 + 0.15x_1x_2$ $- 0.020x_1x_3 + 0.18x_2x_3 - 0.62x_1^2 + 0.22x_2^2 + 0.077x_3^2$ $- 0.033x_1x_2x_3 - 0.43x_1^2x_2 - 0.073x_1^2x_3 - 1.25x_1x_2^2 + 0.75x_1^2x_3^2$	0.9766	(4)

ตารางที่ 3 (ต่อ) สมการการถดถอย (regression equation)

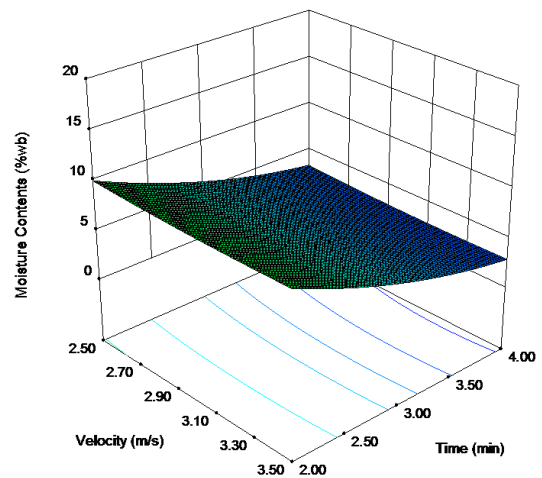
ตัวแปร	รูปแบบสมการ	สัมประสิทธิ์การถดถอย (R^2)	สมการที่
a *	$= 4.410 + 0.250x_1 + 0.056x_2 + 0.054x_3 + 0.065x_1x_2$ $+ 5.000 \times 10^{-3} x_1x_3 - 0.092x_2x_3 + 0.290x_1^2 + 0.040x_2^2 + 0.042x_3^2$ $+ 0.067x_1x_2x_3 - 0.076x_1^2x_2 + 0.061x_1^2x_3 - 0.042x_1x_2^2 + 0.180x_1^2x_2^2$	0.9419	(5)
b *	$= 17.54 + 0.40x_1 + 0.16x_2 + 0.38x_3 + 0.17x_1x_2$ $+ 0.084x_1x_3 - 0.021x_2x_3 + 0.27x_1^2 + 0.24x_2^2 - 0.058x_3^2$ $- 0.031x_1x_2x_3 - 0.29x_1^2x_2 - 0.36x_1^2x_3 - 0.10x_1x_2^2 + 0.51x_1^2x_2^2$	0.9723	(6)

การใช้อุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณสูง ส่งผลให้ความชื้นแฉ่งบุกมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางและผงแฉ่งบุกมีค่ามากขึ้น อัตราการถ่ายโอนความร้อนจึงเพิ่มขึ้น [14] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อความชื้นแฉ่งบุก

เมื่อพิจารณาความเร็วอากาศร้อนในการทำแห้งแฉ่งบุกพบว่า ไม่มีผลต่อการลดลงของความชื้นของแฉ่งบุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \geq 0.05$) เนื่องจากขนาดของผงแฉ่งบุกที่มีขนาดอนุภาคเล็กทำให้ฟิล์มอากาศเน็กรอบอนุภาคผงแฉ่งบุกมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน จึงทำให้ความต้านทานการถ่ายโอนความร้อนไม่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 2

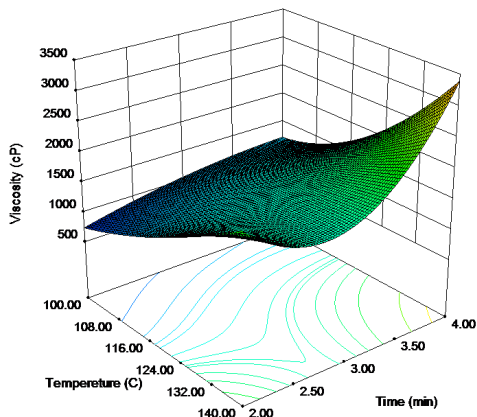


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศร้อนกับระยะเวลาทำแห้งต่อความชื้นแฉ่งบุก

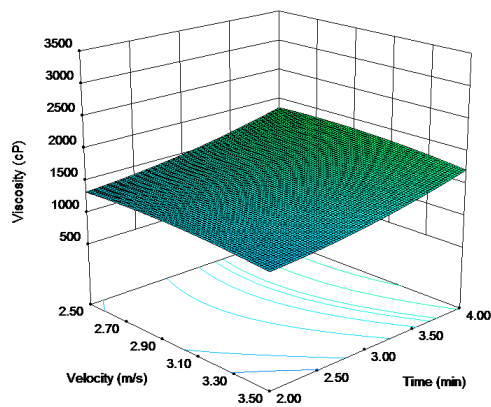
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อค่าความหนืดแฉ่งบุกพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศร้อนและระยะเวลาในการทำแห้งมีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความหนืดของแฉ่งบุก

เมื่อนำแฉ่งบุกมาละลายน้ำ อนุภาคของแฉ่งบุกดูดซึมน้ำเข้าไว้แล้วเกิดการพองตัว ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นมีลักษณะโซล (sol) ซึ่งเป็นแบบซูโดพลาสติก (pseudo plastic) อัตราการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและเวลา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มอย่างรวดเร็ว [15] และเมื่อพิจารณาความเร็วอากาศร้อนในการทำแห้งพบว่าไม่มีผลต่อค่าความหนืดของแฉ่งบุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \geq 0.05$) แสดงดังรูปที่ 3 - 4

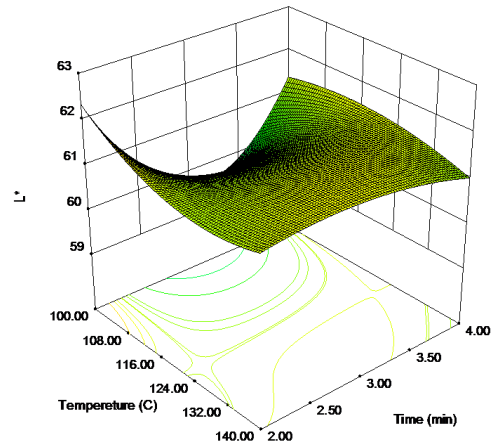
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อค่าสีของเบ๊งกพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศร้อนเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสีของเบ๊งกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} \leq 0.05$) โดยที่อุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้เบ๊งกมีสีเข้มขึ้น (ค่าความสว่างของเบ๊งกลดลงและค่าสีเหลืองสูงขึ้น) ดังรูปที่ 5 – 10 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อ ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้น



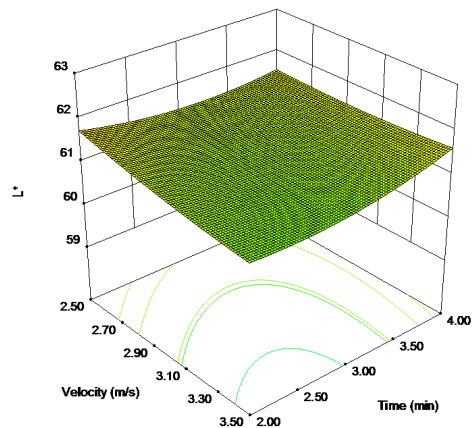
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับระยะเวลาทำแห้งต่อค่าความหนืดเบ๊งก



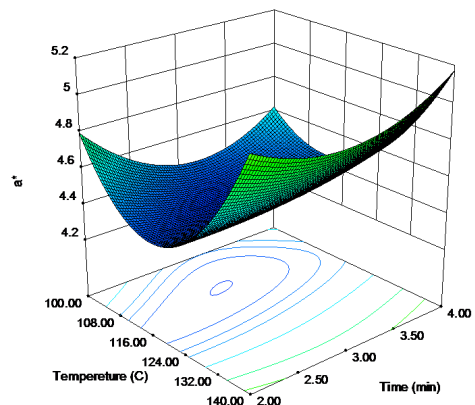
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าความหนืดเบ๊งก



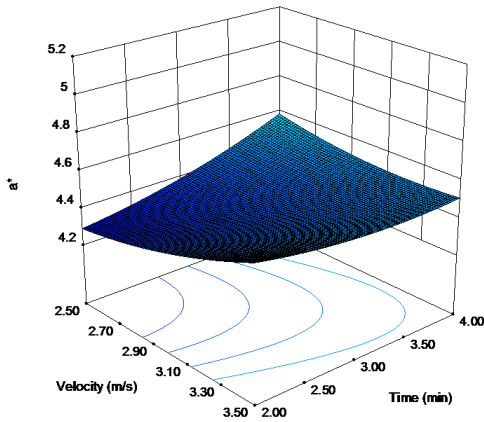
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าความสว่าง (L^*) ของเบ๊งก



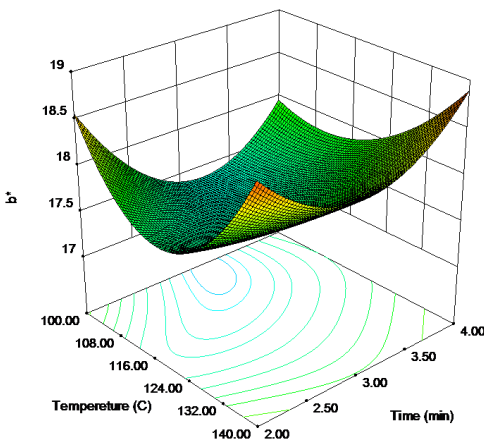
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าความสว่าง (L^*) ของเบ๊งก



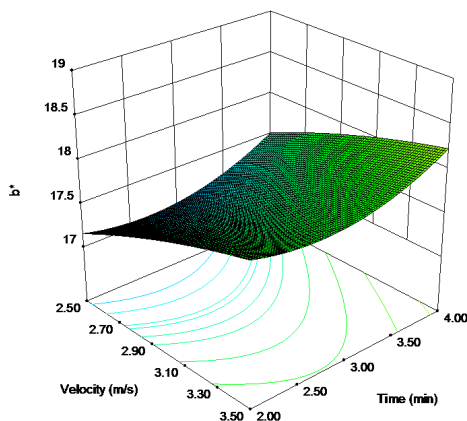
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าสีแดง (a^*) ของเบ๊งก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าสีแดง (a^*) ของแป้งบุก



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าสีเหลือง (b^*) ของแป้งบุก



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศร้อนกับระยะเวลาการทำแห้งต่อค่าสีเหลือง (b^*) ของแป้งบุก

เมื่อนำสมการของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ภายใต้การกำหนดเงื่อนไขแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การกำหนดเกณฑ์ของระดับปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองเพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม

ปัจจัย	ค่าเป้าหมาย	ระดับต่ำ	ระดับสูง
อุณหภูมิอากาศร้อน (องศาเซลเซียส)	อยู่ในเกณฑ์	100	140
ระยะเวลาในการทำแห้ง (นาท)	อยู่ในเกณฑ์	2	4
ความเร็วอากาศร้อน (เมตร/วินาที)	อยู่ในเกณฑ์	2.5	3.5
ความชื้นแป้งบุก (ร้อยละมาตรฐานเปียก)	อยู่ในเกณฑ์	6.0	10.0
ความหนืด	สูงสุด	599	3756
ค่าความสว่าง (L^*)	สูงสุด	57.81	62.84
ค่าความเป็นสีแดง (a^*)	ต่ำสุด	4.28	5.65
ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)	ต่ำสุด	16.73	18.98

การวิเคราะห์สามารถสรุปผลได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำแห้งแป้งบุกด้วยวิธีการอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด คือ อุณหภูมิอากาศร้อนในการทำแห้ง 128.7 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำแห้งแป้งบุก 2.12 นาที ความเร็วอากาศร้อน 3 เมตร/วินาที จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองโดยใช้ค่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดมาทดลองซ้ำและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายผล ผลการทดลองพบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนายโดยพิจารณาจากค่าอคติ (bias) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 5 [16] แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด

ค่าตอบสนองของปัจจัย	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าที่ได้จากการทำนาย	ค่า Bias (ร้อยละ)
ความชื้นแป้งบุก (ร้อยละมาตรฐานเปียก)	6.29	6.00	4.83
ความหนืด (เซนติพอยส์)	1920	2021	4.99
ค่าความสว่าง (L*)	61.67	60.98	1.13
ค่าความเป็นสีแดง (a*)	5.12	4.89	4.70
ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)	18.96	18.41	2.98

*Bias = [(ค่าที่ได้จากการทำนาย - ค่าที่ได้จากการทดลอง) / ค่าที่ได้จากการทำนาย] x 100

4. สรุป

การศึกษาการทำแห้งแป้งบุก ผลของอุณหภูมิอากาศร้อน ระยะเวลาในการทำแห้ง และความเร็วอากาศร้อน มีอิทธิพลร่วมกันต่อคุณภาพของแป้งบุก โดยอุณหภูมิอากาศร้อนเป็นปัจจัยที่มีผลคุณภาพของแป้งบุกมากที่สุด รองลงมาคือ ระยะเวลาในการทำแห้งและความเร็วอากาศร้อน ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตแป้งบุก คือ อุณหภูมิอากาศร้อน 128.7 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำแห้ง 2.12 นาที และความเร็วอากาศร้อน 3 เมตร/วินาที ที่สภาวะนี้ให้ค่าปัจจัยตอบสนองดังนี้ ความชื้นแป้งบุกร้อยละ 6.29 มาตรฐานเปียก ด้านคุณภาพของแป้งบุกพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่า 61.67 5.12 และ 18.96 ตามลำดับ สำหรับค่าความหนืด 1920 เซนติพอยส์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนวิจัยปี 2553 - 2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sugiyama, N. and H. Shimahara. 1974. Method of reducing serum cholesterol level with extract of konjac mannan. US. Patent 3,856,945.
- [2] Tye, R.J. 1991. Konjac flour: Properties and application. Food Technology. 45(3), 86 - 92.
- [3] Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a Multi-Gravity Separator for coal cleaning. Fuel; 769 - 776.
- [4] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- [5] Montgomery, D.C. 2004. Design and analysis of experiments, John Wiley & Sons, The United State of America.
- [6] Shimizu, M. and Shimahara, M. 1973. Method of selective separation of konjac flour from the tubers of amorphophallus konjac. US. Patent. 3, 767, 424.
- [7] Zhao, J., Zhang, D., Srzednicki, G., Kanlayarat, S. and Borompichaichartkul, C. 2010. Development of a low - cost two - stage technique for production of low - sulphur purified konjac flour, International Food Research Journal 17, 1113-1124.
- [8] Konjac flour. NY/T494. 2002. Beijing: Ministry of Agriculture of P.R. of China.
- [9] AOAC. Official methods of analysis. 1995: 15th ed. Association of Official analytical Chemists, Washington, D.C.
- [10] นิรุบล สัพโส และ อนุกุล วัฒนสุข. 2549. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระเทียมเจียวสุญญากาศด้วยเทคนิคผิวสะท้อน. การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, จังหวัดมหาสารคาม. 23 - 24, มกราคม 2549.

- [11] จันทรเพ็ญ อนุรัตน์นันท์, สุชาติ พัฒนวัชรกุล และมานิต สร้อยเพชร. 2554. การหาจุดที่เหมาะสมโดยใช้การออกแบบการทดลอง CCD ในกระบวนการผลิตแล็คเกอร์. การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ, 8 – 9 กันยายน 2554.
- [12] อาทิตย์ นุ่มหันธ์. 2555. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกระบอกเลนส์. วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 29 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2555.
- [13] เยาวลักษณ์ พัฒนารกุล, เสริมเกียรติ จอมจันทร์ และชนม์เจริญ แสงรัตน์. 2554. การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการหมักเอทานอลจากข้าวโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554, 20-21 ตุลาคม 2554.
- [14] Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. J Food Eng, 66(1): 35-42.
- [15] Nishinari, K., Kim, K.Y. and Kohyama, K. 1987. Solution properties of konjac mannan. In Abstracts of 2nd International Workshop on Plant Polysaccharides, Grenoble. 23 p.
- [16] พริกชา วิชยปรีชา, บัญชา ยิ่งงาม และวันดี รังสี วิจิตรประภา. 2555. การหาสภาวะที่เหมาะสมของยาพินาสเตอไรต์ในรูปแบบโปรนีโอโซมด้วยวิธีตอบสนองพื้นผิว. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานระดับชาติ, The 4th Annual Northeast Pharmacy Research Conference of 2012, คณะเภสัชศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.