เอกสารอ้างอิง

"การปลูกฟักทอง" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doae.go.th/library/html/detail/ /pumpkin2.htm (14 พฤศจิกายน 2553)

คำพัน บัวละพัน, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และวารุณี เตีย. (2550). การพองของกล้วยโดยเทคนิคร่วมระหว่างอากาศร้อนและไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1, 1-8.

ทวีชัย วงศ์ศักดิ์ไพโรจน์. (2543). การอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

"ผักและผลไม้เพื่อสุขภาพ" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.adirek.com/stwork/fruitvet/ tong.htm . (14 พฤศจิกายน 2553)

พลสันต์ วงษ์ศรี. (2548). การอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

"ฟักทอง". (2554). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://th.wikipedia.org/wiki/. (4 กุมภาพันธ์ 2554)

"ฟักทอง". (2553). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.vegetweb.com/. (22 กุมภาพันธ์ 2553)

วันดี กฤษณพันธุ์. (2538). สมุนไพรสารพัดประโยชน์. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

อิศเรศ ธุชกัลยา. (2543). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 86 หน้า

Aghbashlo, M., Kianmehr, M. and Arabhosseini, A. (2008). Performance Analysis of Drying of Carrot Slices in a Semi-Industrial Continuous Band Dryer, Journal of Food Engineering, 91, pp. 99 - 108.

Alibas, I., (2006). Microwave, Air and Combined Microwave–air-drying Parameters of Pumpkin Slices. Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture. , Uludag University 16059 Bursa, Turkey

Arun S. (2000). Department of Chemical engineering McGill University Montreal, Quebee, Canada, Handbook of Industrial drying S.EDI reviser and expanded V.2

Brown, Z.K. Fryer, P.J. Norton, I.T. Bakalis ,S. and Bridson ,R.H.. (2007). Drying of Foods using Supercritical Carbon Dioxide - Investigations with Carrot, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 9, pp. 280 - 289.

Caixeta, A.T., Moreira, R. and Castell-perez, M.E. (2001). Impingement Drying of Potato Chips, Journal of Food Process Engineering, 25, pp. 63-90.

Carrot, http://www.orst.edu/Dept/NWREC/carrot.html/ Commercial Vegetable Guides, College of Agriculture Sciences, Oregon State University.

Castilho, C.G., Mauro, M.A., Kimura,M. (2007). Kinetics of Osmotic Dehydration and Air-Drying of Pumpkins (Cucurbita moschata).Department of Food Engineering and Technology, Institute of Biosciences, Language and Physical Sciences (IBILCE), UNESP – Sao Paulo StateUniversity, SP, Brazil

Doymaz, I. (2006). The Kinetics of Forced Convective Air-Drying of Pumpkin Slices. Department of Chemical Engineering, Yildiz Technical University, 34210 Esenler, Istanbul, Turkey.

Elustondo,D. M., Mujumdar, A. S. and Urbicain, M. J. (2002). Optimum Operating Condition in Drying Foodstuffs with Superheated Steam, Drying Technology, 20(2), pp. 381-402.

Iyota, H., Nishimura, N., Yoshida, M. and Nomura, T. (2001). Simulation of Superheated Steam Drying Considering Initial Steam Condensation, Drying Technology, Vol. 19, No. 7, pp. 1425-1440.

Jamradloedluk, J., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S., and Prachayawarakorn, S. (2003). Drying of Durian Slices in Superheated Steam and Hot Air. Proceedings of the 3rd Asia-Pacific Drying Conference. Thailand. pp. 667.

Kocabiyik, H. and Tezer, D. (2008). Drying of Carrot Slices using Infrared Radiation, International Journal of Food Science and Technology, pp. 953–959.

Lavelli V., Zanoni B. and Zaniboni A. (2007). Effect of Water Activity on Carotenoid Degradation in Dehydrated Carrots, Food Chemistry, pp. 1705-1711.

Li, Y.B., Seyed-Yagoobi, Y.B., Moreira, G.R. and Yamasaengsung, R. (1999). Superheated steam Impingement Drying of Tortilla Chips, Drying Technology, 17(1&2), pp. 191-213.

Lorenz, A.O., and D.N. Maynard. (1980). Composition of The Edible Portions of Fresh, Raw Vegetables, Knott's Handbook for Vegetable Growers. 2nd. Edition, Wiley Interscience Publication. NewYork. pp 22-29

Mayer-Miebach, E. Behsnilian, D. Regier, M. and Schuchmann,H.P. (2005). Thermal Processing of Carrots: Lycopene Stability and Isomerisation with Regard to Antioxidant Potential, Food Research International, pp. 1103-1108

Nawirska , A., Figiel, A., Kucharska, A., Z, Towska, A.and Biesiada, A. (2009). Drying Kinetics and Quality Parameters of Pumpkins Slices Dehydrated using Different Methods, a Department of Fruit, Vegetables and Grain Technology, Polandb Institute of Agricultural Engineering, Wrocaw University of Environmental and Life Sciences, ul. C.K. Norwida 25, 50-375.

Schwartze, J.P. and Brocker, S. (2000). The Evaporation of Water into Air of Different Humidities and The Inversion Temperature Phenomenon, International Journal of Heat & Mass Transfer, Vol. 43, No. 10, pp. 1971-1800

Sheikholeslami, R. and Watkinson, A.P. (1992). On the Rate of Evaporation of Water Into a Stream of Dry Air, Humidified Air and Superheated Steam, and The Inversion Temperature, International Journal of Heat & Mass Transfer, Vol. 35, No. 7, pp. 1743-1751.

Srikiatden, J. and John S. Roberts. (2005). Measuring Moisture Diffusivity of Potato and Carrot (Core and Cortex) during Convective Hot Air and Isothermal Drying, Journal of Food Engineering, 74, pp. 143-152.

Stephane, A., Flavia, M. and Theodore, P. (1998). Preservation of - Carotene from Carrots, Reviews in Food Science and Nutrition, pp. 381 - 396.

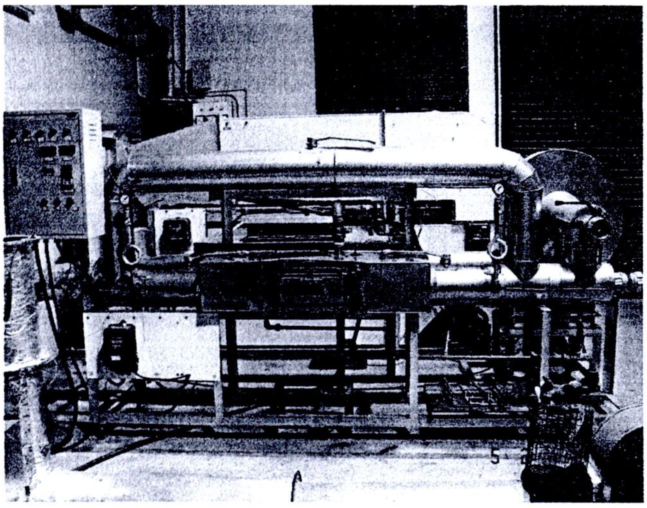
Tarnawaki, W.Z., Mitera, J., Borowski, P. and Klepaczka, A. (1996). Energy Analysis on Use of Air and Superheated Steam as Drying Media, Drying Technology, Vol. 14, No. 7&8, pp. 1733-1749.

" Texture Technologies " http://www.texturetechnologies.com/texture_profile_analysis.html. (22 Jan 2006)

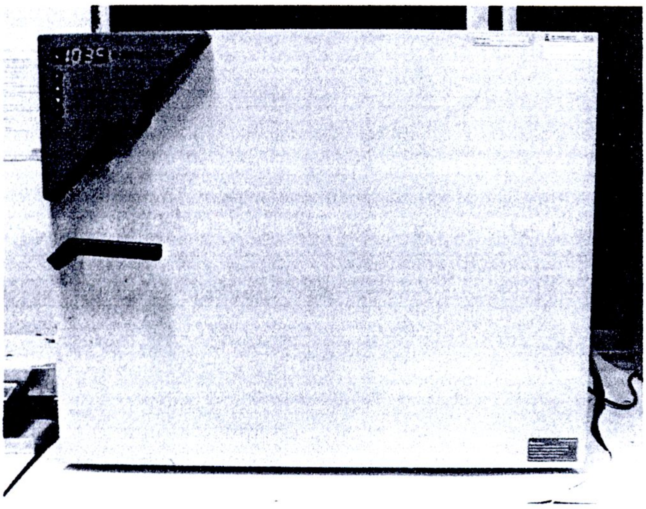
Yoshida, T. and Hyodo, T. (1970). Evaporation of Water in Air, Humid Air and Superheated Steam, Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., Vol. 9, No. 2, pp. 207-214.

ภาคผนวก

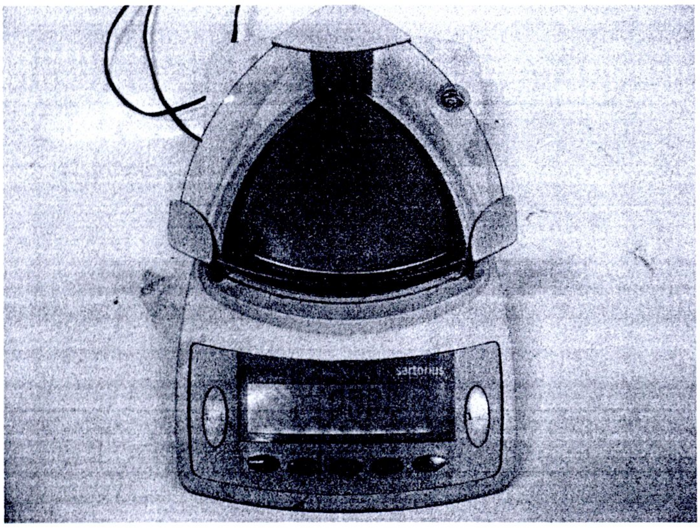
ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



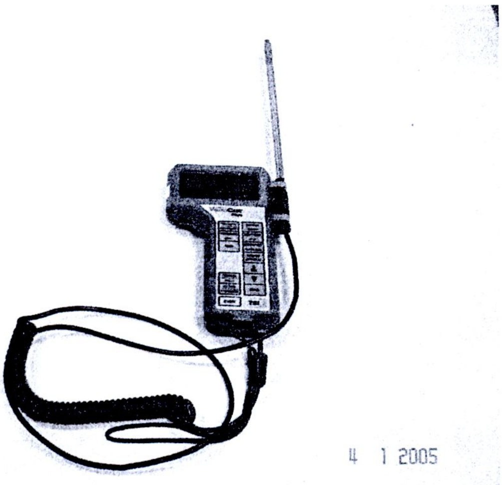
รูป ก.1 เครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่ง



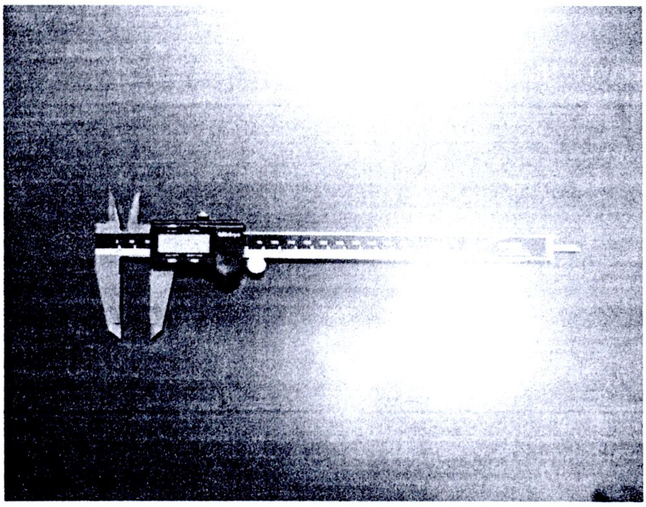
รูป ก.2 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ WBT Binder
รุ่น BD/ED/FD with R3-Controller



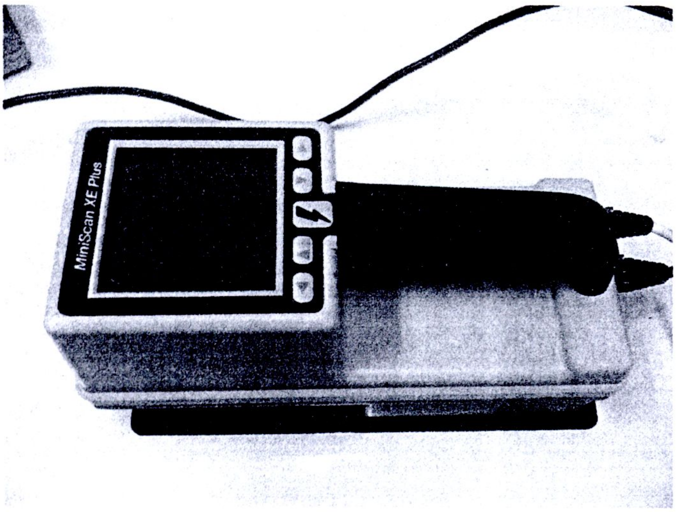
รูป ก.3 เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.001 กรัม ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CR323S



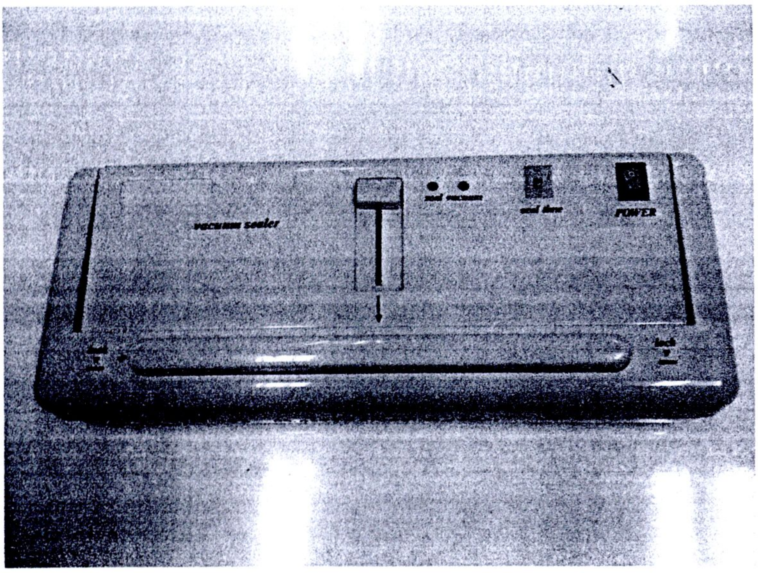
รูป ก.4 อุปกรณ์วัดความเร็วลมและความดัน ยี่ห้อ TSI รุ่น 8385-M-GB



รูป ก.5 เวอร์เนียร์



รูป ก.6 เครื่องวัดสี Miniscan XE plus

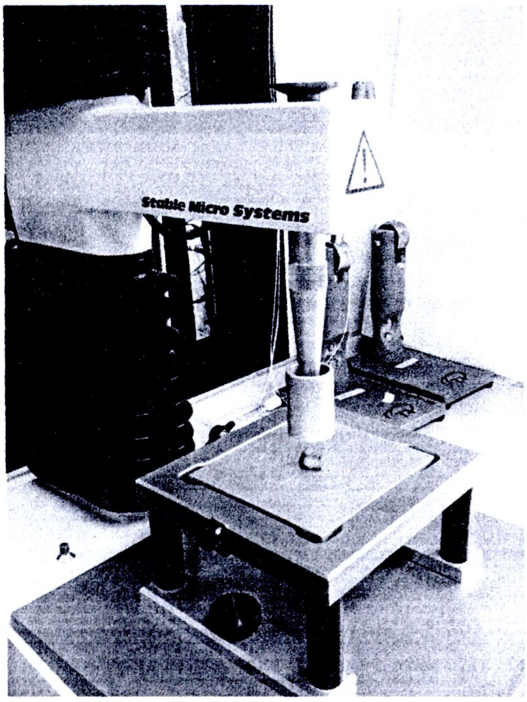


รูป ก.7 เครื่องดูดอากาศและเครื่องผนึกถุง

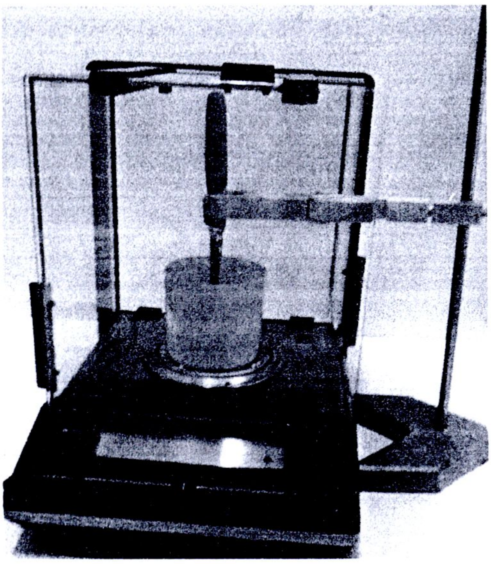
รูป ก.8 เครื่องวัด Water activity รุ่น Testo 650

4 1 2005

รูป ก.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Kane-May รุ่น KM330 (Type K)



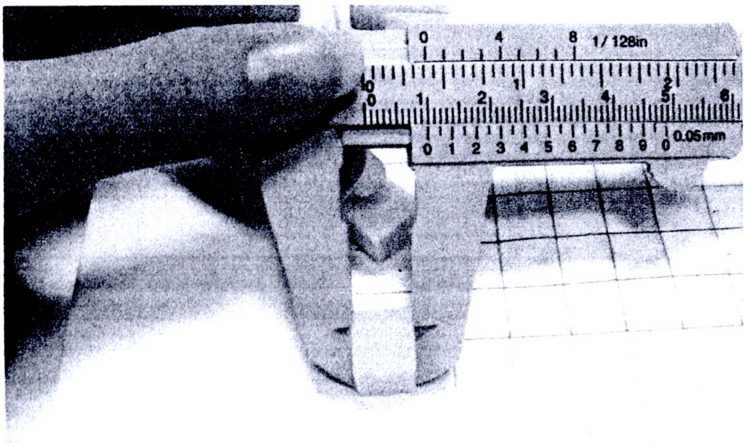
รูป ก. 10 เครื่อง Texture Analyzer (TA.XT2*i*/50 Texture Technologies, US)



รูป ก. 11 การจัดอุปกรณ์วัดปริมาตรของวัสดุ

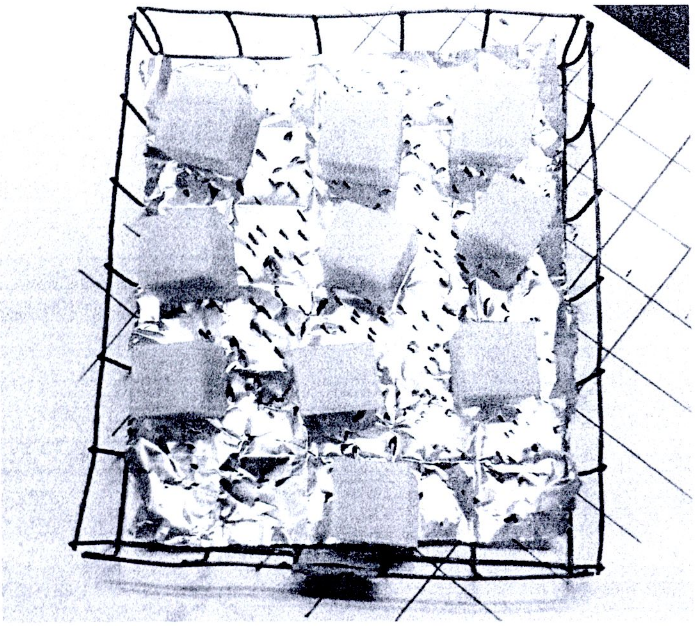
รูป ก. 12 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ภาคผนวก ข
ภาพผลการทดลองฟักทองอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง



รูป ข.1 หั่นฟักทองเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 mm^3

รูป ข.2 ฟักทองรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 mm^3 ก่อนทำการอบแห้ง



รูป ข.3 เตรียมฟักทองสดก่อนทำการอบแห้ง

รูป ข.4 ลักษณะการหดตัวฟักทองหลังทำการอบแห้ง
(จากสภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s)

รูป ข.5 ลักษณะการคืนตัวฟักทองหลังทำการอบแห้ง
(จากสภาวะที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองการอบแห้ง

ตาราง ค.1 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	14.37	14.33	14.29	6.809	6.83	6.766	0.829	0.831	0.824	0.828
10	10.537	10.51	10.63	4.488	4.445	4.479	0.546	0.541	0.545	0.626
20	5.31	5.18	5.34	1.737	1.683	1.724	0.211	0.204	0.209	0.208
30	3.35	3.16	3.44	0.744	0.654	0.773	0.090	0.079	0.094	0.088
40	2.85	2.86	2.84	0.507	0.529	0.51	0.061	0.064	0.0621	0.062
50	2.76	2.64	2.75	0.437	0.383	0.424	0.053	0.046	0.0516	0.050
60	2.68	2.53	2.55	0.41	0.338	0.335	0.049	0.041	0.0408	0.0439
70	2.29	2.13	2.28	0.198	0.121	0.219	0.024	0.014	0.0266	0.0218

ตาราง ค.2 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 140°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	13.37	13.32	13.42	6.215	6.026	6.161	0.739	0.745	0.733	0.739
10	11.09	11.012	11.22	4.629	4.547	4.589	0.563	0.553	0.558	0.558
20	5.09	5.02	5.01	1.189	1.153	1.19	0.199	0.191	0.189	0.193
30	3.07	3.21	3.15	0.365	0.441	0.403	0.071	0.078	0.073	0.074
40	2.8	2.81	2.87	0.236	0.313	0.196	0.054	0.054	0.059	0.056
50	2.42	2.35	2.37	0.103	0.163	0.193	0.031	0.026	0.026	0.028

ตาราง ค.3 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	13.71	13.42	13.75	6.215	6.026	6.161	0.757	0.733	0.750	0.747
10	10.97	10.92	10.975	4.596	4.628	4.686	0.559	0.563	0.570	0.564
20	4.27	4.22	4.25	1.189	1.153	1.19	0.144	0.140	0.144	0.143
30	2.65	2.35	2.75	0.365	0.441	0.403	0.044	0.053	0.049	0.049
40	2.81	2.521	2.31	0.236	0.313	0.196	0.028	0.038	0.023	0.030
50	2.13	2.21	2.28	0.103	0.163	0.193	0.012	0.019	0.023	0.018

ตาราง ค.4 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	13.751	13.932	13.974	5.903	5.931	5.917	0.719	0.722	0.720	0.720
10	12.95	12.92	12.94	4.18	4.209	4.155	0.509	0.512	0.506	0.509
20	2.74	2.73	2.46	0.419	0.429	0.394	0.051	0.052	0.047	0.050
30	2.23	2.18	2.15	0.143	0.112	0.108	0.017	0.013	0.013	0.014

ตาราง ค.5 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	14.377	14.339	14.382	6.527	6.468	6.413	0.795	0.787	0.781	0.787
10	13.81	13.99	13.86	6.192	6.211	6.107	0.754	0.756	0.743	0.751
20	8.47	8.51	8.32	3.384	3.319	3.288	0.412	0.404	0.400	0.405
30	3.47	3.12	3.22	0.788	0.583	0.659	0.095	0.071	0.080	0.082
40	2.87	2.93	2.91	0.502	0.505	0.507	0.061	0.061	0.061	0.061
50	2.27	2.23	2.25	0.176	0.149	0.171	0.021	0.018	0.020	0.020

ตาราง ค.6 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 140°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	14.05	14.04	14.14	6.553	6.589	6.561	0.798	0.802	0.799	0.799
10	12.87	12.71	12.84	5.703	5.654	5.793	0.694	0.688	0.705	0.696
20	7.13	7.03	7.11	2.601	2.605	2.609	0.316	0.317	0.318	0.317
30	2.71	2.49	2.75	0.382	0.283	0.395	0.046	0.034	0.048	0.043
40	2.521	2.39	2.275	0.299	0.238	0.184	0.036	0.028	0.022	0.029
50	2.17	2.24	2.15	0.179	0.185	0.149	0.021	0.022	0.018	0.020

ตาราง ค.7 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	10.981	10.532	10.974	4.526	4.346	4.514	0.551	0.529	0.549	0.543
10	3.06	3.037	3.01	0.54	0.534	0.512	0.065	0.065	0.062	0.064
20	2.56	2.61	2.89	0.326	0.338	0.464	0.039	0.041	0.056	0.0458
30	2.34	2.33	2.19	0.225	0.194	0.128	0.027	0.023	0.015	0.0227

ตาราง ค.8 ข้อมูลการทดลองและผลการหาอัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

Drying time (min)	น้ำหนักตัวอย่าง			ความชื้น (db.)			อัตราส่วนความชื้น			อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0	14.89	14.86	14.62	8.21	8.21	8.21	1	1	1	1
5	9.151	9.532	9.974	3.692	3.838	4.012	0.449	0.467	0.488	0.468
10	3.051	3.002	3.074	0.548	0.547	0.552	0.066	0.066	0.067	0.066
20	2.17	2.23	2.15	0.112	0.137	0.125	0.013	0.016	0.0155	0.015
30	2.19	2.26	2.34	0.134	0.164	0.238	0.016	0.019	0.028	0.021

ภาคผนวก ง
ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม และค่าคงที่การอบแห้ง

ตาราง ง.1 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของการอบแห้งฟักทองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 และ 4 m/s

Drying condition (°C, m/s)	D (m^2/min)				
	ครั้งที่ 1*	ครั้งที่ 2*	ครั้งที่ 3*	Model (1)	Model (2)
120, 2 m/s	1.25E-07	1.26E-07	1.25E-07	8.95E-08	5.35E-08
120, 4 m/s	8.54E-08	8.80E-08	8.84E-08	8.95E-08	1.01E-07
140, 2 m/s	1.25E-07	1.26E-07	1.25E-07	1.46E-07	9.43E-08
140, 4 m/s	1.02E-07	1.03E-07	1.01E-07	1.46E-07	1.78E-07
160, 2 m/s	1.25E-07	1.25E-07	1.32E-07	2.10E-07	1.41E-07
160, 4 m/s	3.14E-07	3.25E-07	3.13E-07	2.10E-07	2.66E-07
180, 2 m/s	1.47E-07	1.47E-07	1.49E-07	2.81E-07	1.93E-07
180, 4 m/s	3.82E-07	3.69E-07	3.54E-07	2.81E-07	3.65E-07

หมายเหตุ * เป็นการทดลองซ้ำในเงื่อนไขการทดลองที่เหมือนกัน

ตาราง ง.2 ผลการคำนวณค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งฟักทองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 และ 4 m/s

Drying condition (°C, m/s)	k (min^{-1})				
	ครั้งที่ 1*	ครั้งที่ 2*	ครั้งที่ 3*	Model (3)	Model (4)
120, 2 m/s	0.0650	0.0661	0.0652	0.0527	0.0358
120, 4 m/s	0.0509	0.0520	0.0523	0.0527	0.0600
140, 2 m/s	0.0697	0.0702	0.0764	0.0779	0.0573
140, 4 m/s	0.0583	0.0589	0.0582	0.0779	0.0962
160, 2 m/s	0.0743	0.0745	0.0732	0.1070	0.0819
160, 4 m/s	0.1638	0.1687	0.1638	0.1070	0.1374
180, 2 m/s	0.0860	0.0856	0.0865	0.1398	0.1095
180, 4 m/s	0.1906	0.1855	0.1798	0.1398	0.1837

หมายเหตุ * เป็นการทดลองซ้ำในเงื่อนไขการทดลองที่เหมือนกัน

ภาคผนวก จ
ผลการคำนวณอัตราส่วนความชื้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตาราง จ.1 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (*min*)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.828	0.597	0.665	0.77	0.829
10.00	0.626	0.481	0.570	0.59	0.546
20.00	0.208	0.338	0.446	0.35	0.211
30.00	0.088	0.249	0.362	0.21	0.09
40.00	0.062	0.188	0.299	0.12	0.061
50.00	0.050	0.143	0.250	0.07	0.053
60.00	0.0439	0.109	0.211	0.04	0.049
70.00	0.0218	0.083	0.178	0.02	0.024

ตาราง จ.2 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (*min*)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.787	0.597	0.579	0.77	0.795
10.00	0.751	0.481	0.457	0.59	0.754
20.00	0.405	0.338	0.312	0.35	0.412
30.00	0.082	0.249	0.223	0.21	0.095
40.00	0.061	0.188	0.163	0.12	0.061
50.00	0.020	0.143	0.120	0.07	0.021

ตาราง จ.3 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 140°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (min)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.739	0.518	0.595	0.68	0.739
10.00	0.558	0.383	0.476	0.46	0.563
20.00	0.193	0.231	0.327	0.21	0.199
30.00	0.074	0.147	0.243	0.10	0.071
40.00	0.056	0.095	0.182	0.04	0.054
50.00	0.028	0.067	0.138	0.02	0.031

ตาราง จ.4 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 140°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (min)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.799	0.518	0.487	0.68	0.798
10.00	0.696	0.383	0.345	0.46	0.694
20.00	0.317	0.231	0.194	0.21	0.316
30.00	0.043	0.147	0.115	0.10	0.046
40.00	0.029	0.095	0.070	0.04	0.036
50.00	0.020	0.067	0.044	0.02	0.021

ตาราง จ.5 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (*min*)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.747	0.450	0.524	0.59	0.757
10.00	0.564	0.304	0.390	0.34	0.559
20.00	0.143	0.155	0.239	0.12	0.144
30.00	0.049	0.083	0.154	0.04	0.044
40.00	0.030	0.044	0.100	0.01	0.028
50.00	0.018	0.024	0.066	0.00	0.012

ตาราง จ.6 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (min)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.543	0.450	0.402	0.59	0.551
10.00	0.064	0.304	0.252	0.34	0.065
20.00	0.045	0.155	0.111	0.12	0.039
30.00	0.022	0.083	0.050	0.04	0.027

ตาราง จ.7 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (*min*)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.720	0.390	0.466	0.50	0.719
10.00	0.509	0.240	0.322	0.25	0.509
20.00	0.050	0.101	0.172	0.06	0.051
30.00	0.014	0.044	0.096	0.02	0.017

ตาราง จ.8 อัตราส่วนความชื้นของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s (จากผลการทดลองและแบบจำลอง)

Drying time (*min*)	อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า D)			อัตราส่วนความชื้น (คำนวณจากค่า k)	
	Experiment	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
0.00	1	0.882	0.882	1.00	1
5.00	0.468	0.390	0.334	0.50	0.449
10.00	0.066	0.240	0.184	0.25	0.066
20.00	0.045	0.101	0.061	0.06	0.013
30.00	0.021	0.044	0.021	0.02	0.016

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลการทดลองการหาปริมาตรของวัสดุหลังอบแห้ง

ตาราง ฉ.1 ข้อมูลการทดลองการหาปริมาตรของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็ว 2 m/s

ผลต่างมวลที่วัดได้ก่อนอบแห้ง $(m_s-m_n)_0$ = 1.030± 0.093 กรัม

ครั้งที่วัด	ผลต่างมวลที่วัดได้หลังอบแห้ง $(m_s-m_n)_f$, g				% Shrinkage			
	180°C	160°C	140°C	120°C	180°C	160°C	140°C	120°C
1	0.468	0.377	0.453	0.566	54.51	63.319	55.734	45.066
2	0.428	0.408	0.343	0.584	58.747	60.324	66.666	43.269
3	0.488	0.306	0.365	0.959	52.642	70.26	64.517	42.388
4	0.419	0.452	0.435	0.250	59.302	56.131	57.751	44.996
5	0.408	0.314	0.388	0.588	60.394	69.45	62.332	42.882
6	0.531	0.267	0.314	0.631	48.425	74.03	69.52	38.724
7	0.511	0.336	0.408	0.494	52.677	67.371	60.394	51.973
8	0.487	0.344	0.391	0.474	56.558	66.56	62.05	53.946
9	0.525	0.403	0.371	0.566	49.013	60.852	63.988	45.512
10	0.490	0.376	0.356	0.593	52.396	63.495	65.398	45.402
	Mean				54.466	65.179	62.835	45.405
	SD				4.193	5.370	4.125	5.085

ตาราง ฉ.2 ข้อมูลการทดลองการหาปริมาตรของฟักทองที่ทำการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็ว 4 m/s

ผลต่างมวลที่วัดได้ก่อนอบแห้ง $(m_s-m_n)_0$ = 1.030± 0.093 กรัมกรัม

ครั้งที่วัด	ผลต่างมวลที่วัดได้หลังอบแห้ง $(m_s-m_n)_f$, g				% Shrinkage			
	180°C	160°C	140°C	120°C	180°C	160°C	140°C	120°C
1	0.481	0.554	0.423	0.504	53.241	46.44	58.91	51.017
2	0.414	0.431	0.432	0.386	59.76	58.1	58.06	62.463
3	0.425	0.517	0.405	0.464	58.738	49.753	60.676	54.927
4	0.412	0.419	0.473	0.478	59.936	59.302	54.016	53.612
5	0.415	0.455	0.474	0.656	70.366	55.813	53.911	36.337
6	0.416	0.488	0.464	0.412	59.548	52.607	54.933	59.939
7	0.447	0.488	0.339	0.389	56.553	52.572	67.054	62.214
8	0.444	0.575	0.355	0.533	56.906	44.201	65.468	48.209
9	0.489	0.638	0.022	0.534	52.536	38.055	55.073	48.209
10	0.502	0.407	0.462	0.527	51.268	60.46	51.123	48.849
	Mean				57.8852	51.7303	57.8852	52.5776
	SD				5.41281	7.210009	5.41281	7.95561

ภาคผนวก ช

- การคำนวณความชื้นวัสดุ
- การวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. การคำนวณหาค่าความชื้นของวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมวลวัสดุชื้นหรือวัสดุแห้ง การหาค่าความชื้นของวัสดุโดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุ แล้วนำไปใส่ตู้อบ Oven ที่อุณหภูมิประมาณ 103°C ประมาณ 72 h แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง โดยน้ำหนักของวัสดุที่ผ่านการอบที่อุณหภูมินี้มาแล้วถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นก็สามารถนำไปคำนวณหาค่าความชื้นได้ตามสมการ

ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \qquad (1)$$

หรือความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \qquad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, % d.b.

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, % d.b.

w คือ น้ำหนักของวัสดุ, kg

d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ, kg

2. การวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square)

ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์มีหลายวิธีและวิธีที่นิยมใช้กันมากคือ การวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด และขอยกตัวอย่างโดยการพิจารณาสมการเชิงเส้น ดังนี้

$$y = a + bx \qquad (3)$$

โดยที่จำนวนข้อมูลเท่ากับ m ค่า คือ $(x_1,y_1),(x_2,y_2),\ldots(x_m,y_m)$ ค่าผลรวม S จะอยู่ในรูปดังนี้

$$S = \sum_{i=m}^{m}(yi - a - bxi)^2 \quad \rightarrow \quad \text{Minimum} \tag{4}$$

เมื่อ S คือ ผลรวมของค่ายกกำลังสองของค่าแตกต่าง ซึ่งค่าที่น้อยที่สุดของ s เกิดขึ้น เมื่อทำการอนุพันธ์ย่อย $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ และ $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ ดังนี้

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^{m}(y_i - a - bx_i)^2}{\partial a} = \sum_{i=1}^{m} 2(a + bx_i - y_i) = 0 \tag{5}$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^{m}(y_i - a - bx_i)^2}{\partial b} = \sum_{i=1}^{m} 2(a + bx_i - y_i)x_i = 0 \tag{6}$$

จากการจัดสมการใหม่จะได้

$$ma + b\sum x_i = \sum y_i \tag{7}$$

$$a\sum x_i + b\sum x^2{}_i = \sum x_i y_i \tag{8}$$

ซึ่งเมื่อทำการแทนค่าผลรวมของค่าตัวแปรอิสระ $\sum x_i$, $\sum x^2{}_i$ และค่าตัวแปรจริงที่ต้องการ $\sum x_i$ และ $\sum x^2{}_i$ จะสามารถหาค่าคงที่ a และ b เพื่อแทนลงในสมการ $y = a + bx$ สมการดังกล่าวจะสามารถแทนค่าของข้อมูล ซึ่งให้ค่าความแตกต่างจากข้อมูลจริงน้อยที่สุด ดังนี้

$$S = \sum_{i=1}^{m} R^2 = \sum_{i=m}^{m}(y_1 - y_i)^2 \quad \rightarrow \quad \text{Minimum} \tag{9}$$

โดยที่ R^2 คือ ค่าความแตกต่างของค่าที่ได้จากสมการ y_1 เทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูล y_i

หมายเหตุ : ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Statistica เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

3. *การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis)*

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) เป็นการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะแบ่งตัวแปรออกเป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และในการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น ตัวแปรตามจะมี 1 ตัว ตัวแปรอิสระอาจจะมี 1 ตัว หรือมากกว่าก็ได้ และเรียกการวิเคราะห์นี้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way-ANOVA) แต่ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่า 1 ตัว จะเรียกชื่อตามจำนวนตัวแปรอิสระ เช่น ตัวแปรอิสระ 2 ตัว เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way-ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนมักนำค่าสถิติต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณมาสรุปไว้ในรูปของตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	P
ระหว่างกลุ่ม (B)	k-1	SSB	MSB=SSB/(k-1)	MSB/M	
ภายในกลุ่ม (W)	n-k	SSW	MSW=SSW/(n-k)	SW	
รวม (T)	n-1	SST			

เมื่อ *df* *คือ ระดับขั้นความเสรี*

SS คือ ผลรวมกำลังสอง

MS คือ ค่ากำลังสองเฉลี่ย

F คือ ค่าสถิติ F หรือ $F_{\text{คำนวณ}}$

P คือ ความน่าจะเป็นของค่าสถิติ F

K คือ จำนวนกลุ่ม

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

MSB คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม

SS คือ ผลรวมกำลังสองเฉลี่ยภายในกลุ่ม

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

1) ระดับข้อมูล
2) สมมติฐาน
3) ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ

4) ***ระดับนัยสำคัญ***

5) **การตัดสินใจ**

6) **การแปลผล**

หมายเหตุ : ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ดปรแกรม SPSS เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way-ANOVA)

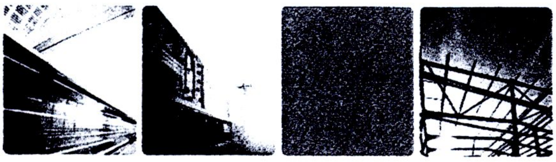
ภาคผนวก ซ

บทความตีพิมพ์

การถ่ายเท
พลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ
(ครั้งที่ 10)

และการร่วมฉลองการก้าวย่างสู่ปีที่ 72
ของศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์

The 10^{th} Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes in Commemoration to the Pace of the 72^{nd} Year of Professor Dr. Prida Wibulswas



วันที่ 10-11 มีนาคม 2554
ณ โรงแรม เชียงใหม่แกรนด์วิว จังหวัดเชียงใหม่

ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

102
การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวล
ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ
(ครั้งที่ 10)

การอบแห้งฟักทองโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

DRYING OF PUMPKIN USING SUPERHEATED STEAM

ทิพาวรรณ บุญเรือง
กอดขวัญ นามสงวน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทร. 08-9853-7534,
E-mail: thiphawan.b@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของฟักทองโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของฟักทองหลังการอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C, 140 °C, 160 °C และ 180 °C ที่ความเร็ว 2 m/s และ 4 m/s ทำการอบแห้งฟักทองจนถึงความชื้นสุดท้าย 18% d.b. จากนั้นวิเคราะห์คุณภาพสี การหดตัว และเนื้อสัมผัส จากการศึกษา พบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้น ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลของอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีแนวโน้มไม่แน่นอนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงมีผลให้การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง พบว่า ความแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่วนความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีผลต่อคุณภาพทั้งหมด จากการพิจารณาทั้งคุณภาพและระยะเวลาในการอบแห้งพบว่าการอบแห้งฟักทองโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 160°C ความเร็ว 4 m/s เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 0.5 ชั่วโมง (30 นาที) และฟักทองที่ได้หลังการอบแห้งมีสีเหลืองอมส้ม

คำสำคัญ; ฟักทอง, ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง, คุณภาพของผลิตภัณฑ์

Abstract

The purpose of this research is to study the drying kinetics of pumpkin using superheated steam. The experiments were performed at the superheated steam temperatures of 120 °C, 140 °C, 160 °C and 180 °C and steam velocities of 2 m/s and 4 m/s. The products were dried to final moisture content at approximately 18% dry basis. The effects of drying temperature and drying velocity on drying kinetics and quality of dried products were investigated. The quality of pumpkin was evaluated in term of color, shrinkage and texture. The results showed that the drying time decreased with increasing steam temperature and increasing steam velocity. The effects of temperature and velocity of steam were not obvious on color change. Also the results indicated that higher drying temperature seemed to yielded product with higher degree of shrinkage but lower value degree of hardness, while the effect of drying velocity on all properties was not significant. Considering both product quality and drying time, superheated steam at 160°C and 4 m/s is the suitable drying condition for drying pumpkin; the drying time was 0.5 hour (30 minutes) and the best product of orange colour was obtained.

Keywords: Pumpkin, Superheat steam, Product quality

The 10th Conference on Energy, Heat and Mass Transfer in Thermal Equipments and Processes in Commemoration to the Pace of the 72nd Year of Professor Dr. Prida Wibulswas

1. บทนำ

ฟักทองเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีอยู่ตามท้องถิ่นทั่วไปของประเทศไทย มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศทางแถบทวีปอเมริกาคือ สหรัฐอเมริกาและประเทศเม็กซิโก[1] เป็นผลไม้ที่ปลูกง่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี [1] ผลฟักทองออกในฤดูหนาวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ฟักทองที่ใช้บริโภคสดนั้นสามารถเก็บผลไว้รอขายหรือบริโภคไว้นานๆโดยไม่ต้องใส่ตู้เย็น[2] หากเกษตรกรเก็บผลผลิตด้วยความระมัดระวังไม่เกิดการบอบช้ำจะทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานหลายเดือน ในบางฤดูกาลฟักทองให้ผลผลิตมากเกินความต้องการ ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและเกษตรกรผู้จำหน่ายฟักทอง ดังนั้นการแปรรูปฟักทอง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าฟักทอง ปัจจุบัน มีการแปรรูปฟักทองในรูปของขบเคี้ยว เช่น ฟักทองอบ หรือฟักทองทอด การอบแห้งมักจะอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งนาน ส่วนการทอดในน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีปริมาณไขมันสูงและไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะมีกลิ่นหืนและไม่เป็นที่ต้องการผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจากเป็นวิธีการอบแห้งอีกวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพสูงโดยให้อัตราการอบแห้งสูง ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมาก มีการหดตัวน้อย คุณภาพสีดี การถนอมอาหารด้วยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการเก็บรักษาอาหารที่กำลังได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งนำไปใช้อย่างจริงจังในช่วง 20 กว่าปีที่ผ่านมา ไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำที่ความดันหนึ่งๆ มีความสามารถในการดึงความชื้นจากวัสดุ ทำให้วัสดุนั้นมีความชื้นลดลงได้เร็ว และไม่มีออกซิเจนในระบบ จึงทำให้สีและคุณค่าทางอาหารสูญเสียน้อย อีกทั้งกลไกการระเหยน้ำยังทำให้โครงสร้างของวัสดุนั้นเสียรูปน้อยมาก ดังนั้นการอบแห้งฟักทองด้วยกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงเป็นแนวทางที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้งให้มีคุณภาพดี และลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

ทวีชัย [3] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการทดลองอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อนที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C และลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่ 55 และ 70 °C และอัตราการไหลเชิงมวลประมาณ 0.024 kg/s มวลหน่อไม้ประมาณ 0.5 kg ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุประมาณ 19 d.b. อบจนความชื้นสุดท้ายประมาณ 0.17 d.b. และทำการเปรียบเทียบคุณภาพหน่อไม้หลังการอบแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ลมร้อนอุณหภูมิสูง ลมร้อนอุณหภูมิต่ำ และหน่อไม้ตากแห้งที่มีจำหน่ายในตลาดซึ่งผลที่ได้คือ อัตราการอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอยู่ในช่วง 140-160 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ คุณภาพในด้านสีของหน่อไม้หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูงตลอดการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับหน่อไม้แห้งที่มีจำหน่าย ขณะที่สีของหน่อไม้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและน่ารับประทาน

Doymaz [4] ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งชั้นบางฟักทองด้วยลมร้อน ภายใต้อุณหภูมิอากาศ 50, 55 และ 60 °C ที่ความเร็วลมคงที่ 1.0 m/s และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 15% และ 25% และได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง 3 แบบคือ แบบจำลองการแพร่ของ Fick, logarithmic และ Verma จากผลที่ได้พบว่า อัตราการอบแห้งช้าลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง การถ่ายเทความชื้นจากชิ้นฟักทองสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการแพร่ของ Fick ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 3.88×10^{-10} ถึง 9.38×10^{-10} m^2/s และค่าพลังงานกระตุ้น 78.93 กิโลจูล/โมล ความแม่นยำของการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ เช่น coefficient of determination (R^2), reduced chi-square (v^2) และ root means squareerror (RMSE) ซึ่งค่าทั้งสามนี้เป็นค่าในการตัดสินใจว่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับการทำนายมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง logarithmic และแบบจำลอง Verma อธิบายลักษณะการอบแห้งฟักทองที่น่าพอใจใกล้เคียงกับผลการทดลองที่สุด

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศึกษาผลของปัจจัยในการอบแห้งอันได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่มีผลต่อเวลาอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 หลักการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

จากรูปที่ 1 แสดงระบบอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการนำไอน้ำจากเครื่องกำเนิดไอน้ำเข้าสู่ระบบผ่านวาล์วตัวที่ 1 (V.1) เดินพัดลมเพื่อใช้ในการหมุนเวียนไอน้ำร้อนยวดยิ่งในระบบ และทำการเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำให้เป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อน จากนั้นความร้อนจะถ่ายเทจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปสู่วัสดุ เพื่อใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ จนกว่าความชื้นเฉลี่ยของวัสดุมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความชื้นที่ต้องการ ในกรณีที่ระบบมีความดันเพิ่มสูงขึ้นจะทำการปล่อยไอน้ำร้อนยวดยิ่งบางส่วนออกนอกระบบจากวาล์วตัวที่ 6 (V.6) เพื่อรักษาความดันภายในระบบ

2.2 การอบแห้งฟักทอง

หั่นฟักทองที่ปอกเปลือกแล้วด้วยมีดบางบนแม่พิมพ์ให้เป็นรูปทรงขนาด 10×10×10 มิลลิเมตร แล้วทำการทดลองอบแห้งฟักทองโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามขั้นตอนดังนี้ เก็บข้อมูลก่อนการทดลอง คือ น้ำหนัก สี ปริมาตรของตัวอย่าง จากนั้นนำเข้าตู้อบแห้งของเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เดินเครื่องที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 120°C ความเร็ว 2 m/s ขณะทำการทดลองจะทำการเก็บข้อมูล คือ น้ำหนักและอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งในห้องอบตรงทางเข้าทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 18% d.b.จากนั้นนำตัวอย่าง

L= 58.398 ± 2.285

a = 16.576 ± 1.419

b = 69.946 ± 2.826

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของฟักทองหลังการอบแห้งด้วยไอ น้ำร้อนยวดยิ่ง

Condition	Colour parameter		
	L*	a*	b*
Velocity 2 m/s			
SSD 120 °C	30.42 ± 4.81^{a}	21.95 ± 2.19^{d}	50.56 ± 6.25^{c}
SSD 140 °C	35.45 ± 4.96^{b}	14.42 ± 1.06^{a}	25.65 ± 4.42^{a}
SSD 160 °C	43.33 ± 3.23^{d}	16.78 ± 1.89^{b}	39.69 ± 5.66^{b}
SSD 180 °C	31.22 ± 5.40^{a}	22.21 ± 2.10^{d}	$52.25 \pm 8.48^{c,d}$
Velocity 4 m/s			
SSD 120 °C	39.80 ± 3.99^{c}	19.67 ± 2.81^{c}	65.56 ± 6.14^{e}
SSD 140 °C	34.55 ± 5.56^{b}	22.29 ± 3.26^{d}	54.57 ± 7.16^{d}
SSD 160 °C	38.22 ± 5.02^{c}	21.75 ± 1.67^{d}	64.11 ± 8.36^{e}
SSD 180 °C	31.11 ± 5.02^{a}	23.51 ± 1.67^{e}	53.10 ± 8.36^{d}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลการวัดการหดตัวของฟักทองหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Drying process	Shrinkage (%)
Velocity 2 m/s	
SSD 120 °C	45.40 ± 5.08^{a}
SSD 140 °C	$62.83 \pm 4.12^{c,d}$
SSD 160 °C	65.17 ± 5.37^{d}
SSD 180 °C	$54.46 \pm 4.20^{a,b}$
Velocity 4 m/s	
SSD 120 °C	$52.57 \pm 7.95^{a,b}$
SSD 140 °C	$58.67 \pm 4.90^{b,c,d}$
SSD 160 °C	$51.73 \pm 7.21^{a,b}$
SSD 180 °C	$57.88 \pm 5.41^{b,c}$

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 1 แสดงค่าสีของฟักทองหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 และ 4 *m/s* จะเห็นว่าค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองมีแนวโน้มไม่แน่นอนตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งร่วมกัน รวมถึงปัจจัยด้านองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อฟักทองเอง อย่างไรก็ตามพบว่าที่อุณหภูมิ 160 °C ความเร็วไอน้ำร้อนยิ่ง 4 *m/s* มีค่า L, a และ b ใกล้เคียงกับสีของฟักทองสดมากที่สุด (มีสีเหลืองอมส้ม) คือ 38.22 ± 5.02 , 21.75 ± 1.67 และ 64.11 ± 8.36 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงค่าการหดตัวของฟักทองหลังการอบแห้ง จะเห็นได้ว่าค่าการหดตัวของฟักทองอบแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนความเร็วแทบไม่มีผลต่อการหดตัว จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 120 °C และความเร็ว 2 *m/s* เกิดการหดตัวน้อยที่สุด

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าเนื้อสัมผัสของฟักทองหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Condition	Hardness (N)
Velocity 2 m/s	
SSD 120 °C	$1.39 \pm 0.70^{a,b}$
SSD 140 °C	1.34 ± 0.53^{b}
SSD 160 °C	$1.20 \pm 0.72^{a,b}$
SSD 180 °C	$1.16 \pm 0.43^{a,b}$
Velocity 4 m/s	
SSD 120 °C	$1.39 \pm 0.26^{a,b}$
SSD 140 °C	$1.28 \pm 0.21^{a,b}$
SSD 160 °C	$1.20 \pm 0.40^{a,b}$
SSD 180 °C	0.94 ± 0.47^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบค่าความแข็งของฟักทองหลังทำการอบแห้ง ซึ่งแนวโน้มมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ฟักทองเมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความแข็งจะลดลงไป โดยจะกลายเป็นความเปราะเข้ามาแทน ขณะที่ทำการทดสอบจึงแตกหักง่าย ในส่วนของความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งพบว่า การหดตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเร็วสูงขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $p \leq 0.05$

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการอบแห้งฟักทองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120-180 °C และความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งช่วง 2-4 *m/s* พบว่าเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้น ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลของอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีแนวโน้มไม่แน่นอนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงมีผลให้การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง พบว่า ความแข็งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแต่

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวทิพาวรรณ บุญเชื่อม

วัน เดือน ปี เกิด 19 มีนาคม 2526

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษามัธยมตอนต้นและต้นปลายจาก โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัดลำปาง

พ.ศ. 2551 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร จากมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่