

เอกสารอ้างอิง

- ธิดิวัฒน์ สิริพันธุ์กุล. 2550. ความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักรวมอบแห้งกิ่งสำเร็จรูปในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. รายงานการค้นคว้าอิสระ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 85 หน้า.
- การคร หนูทอง, กอดขวัญ นามสงวน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ อริย์ อัจฉริยวิริยะ. 2552. จลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของลำไยโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ไม่มีเลขหน้า.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2005. อาหารกิ่งสำเร็จรูป: แนวโน้มขยายตัว....สอได้รับพฤติกรรมผู้บริโภค รัศมีมชัด, (11 สิงหาคม 2005). ระบบออนไลน์, <http://www.kasikomresearch.com/>, สืบค้นเมื่อ (20 มีนาคม 2554).
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2007. แนวโน้มอาหารสุขภาพปี'51: ปรับพฤติกรรมรับค่าครองชีพ(มองเศรษฐกิจฉบับที่ 2065), (8 พฤศจิกายน 2007). ระบบออนไลน์, <http://www.kasikomresearch.com/>, สืบค้นเมื่อ (20 มีนาคม 2554).
- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 338น.
- สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ. นครปฐม. 123 น.
- Brennan, J.G., J.R. Butters, N.D. Cowell and A.E.V. Lilley. 1990. Food Engineering Operations. Elsevier Science Publishing, New York. 700p.
- Brooker, Donald B., Fred W. Bakker-Arkema, Carl W. Hall. 1992. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York. 450p.
- Honeywell. 1998. Damper Selection and Sizing, section of engineering manual of automatic control 77-1100. Retrieved March 24, 20012 from Metropac HVAC Master distributor website <http://www.metropac.com/pneu/PDFs/77-1142.pdf>
- Perera, O., Conrad and M.Shafiur Rahman. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food. Tends in Food Science & Technology, 8: 75-79.

- Prasertsan, S., P. Sean-saby, P. Ngamsritrakul and G. Prateepchaikul. 1996. Heat pump dryer Part1: Simulation of the model. *Int.J. Energy Res.* 20: 1067-1079.
- Prasertsan, S., P. Sean-saby, P. Ngamsritrakul and G. Prateepchaikul. 1996. Heat pump dryer Part2: Results of Simulation. *Int.J. Energy Res.* 21: 1-20.
- Stoecker, W.F. and J. W. Jones. 1982. *Refrigeration and air conditioning*. McGrew-Hill, Singapore, 443p.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chimaksom. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. *Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology*, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

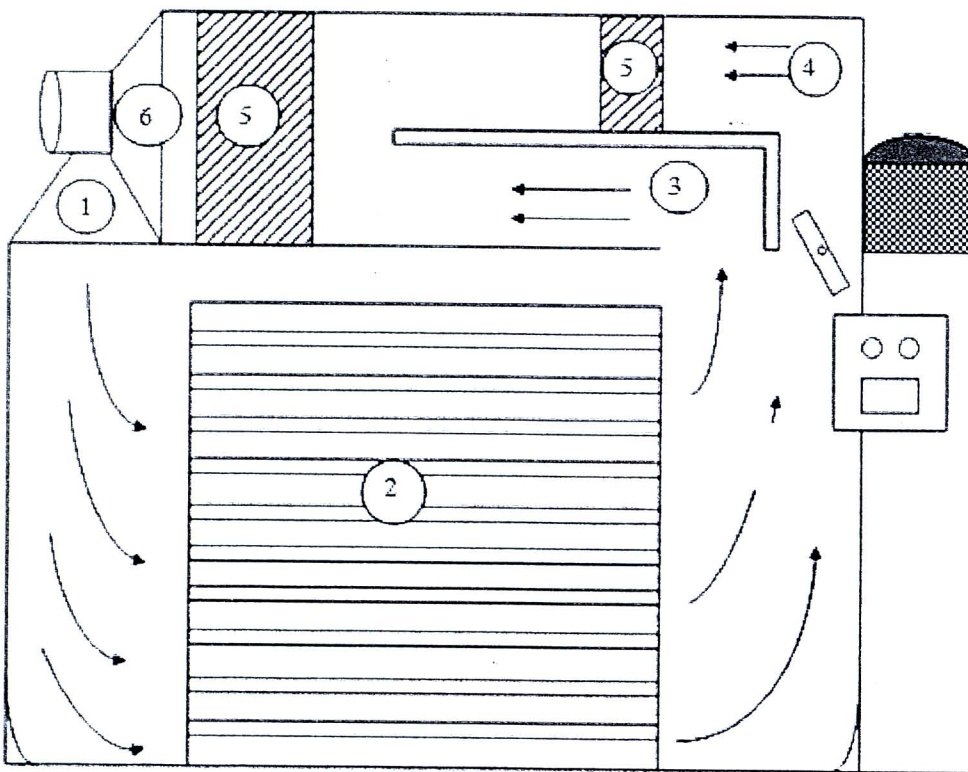
ภาคผนวก ก

การคำนวณความดันตกในเครื่องอบแห้งระบบปั่นความร้อน

การคำนวณความดันสถิตในเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

การออกแบบระบบอากาศ จะเริ่มจากการคำนวณความดันสูญเสียในเครื่องอบแห้งซึ่งเกิดจากการไหลของอากาศในระบบผ่านท่อลม (ASHRAE, 1992) ซึ่งจะพิจารณาจากภาพผนวกที่ 1 ตามหมายเลขของอุปกรณ์และส่วนของห้องอบแห้งซึ่งมีรายละเอียดสภาวะของอากาศในการอบแห้งดังนี้

- อากาศอบแห้งอุณหภูมิ 50 °C มีค่าความหนาแน่น 1.0915 kg/m³
- อัตราการไหลอากาศรวม 0.51 m³/s
- อัตราการไหลอากาศ bypass 0.408 m³/s
- อัตราการไหลอากาศผ่านเครื่องทำระเหย 0.102 m³/s



ภาพผนวกที่ ก1 แสดงตำแหน่งท่อลมในตำแหน่งที่นำมาคิดความดันสถิต

1. ท่อขยายจากพัดลมสู่ห้องอบแห้ง

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \text{พื้นที่หน้าตัดทางเข้า} &= 0.204 \text{ m} \times 0.100 \text{ m} &= 0.0204 \text{ m}^2 \\
 A_0 &= \text{พื้นที่หน้าตัดทางออก} &= 0.250 \text{ m} \times 0.750 \text{ m} &= 0.1875 \text{ m}^2 \\
 V_0 &= \text{ความเร็วของอากาศขาออก} &= (0.51 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.1875 \text{ m}^2) &= 2.72 \text{ m/s} \\
 \theta &= \text{มุมเอียงของท่อขยาย} &= 117.66^\circ \\
 A_0/A_1 &= 9.19 \text{ ดังนั้น } C_0 = 81.93 \\
 \Delta P &= C_0 \left(\frac{V_0^2}{1.29} \right) = 81.94 \left(\frac{2.72^2}{1.29} \right) = 469.94 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

2. ภายในห้องอบแห้ง

การคำนวณหาค่าความดันลดของอากาศที่ไหลผ่านชั้นถาดภายในห้องอบแห้ง ทำได้โดยการสมมติให้การไหลของอากาศผ่านชั้นถาดอบแห้งมีพฤติกรรมเหมือนกับการไหลของอากาศผ่านใบปรับลมแบบขนาน (parallel damper) ที่มีมุม 90° หรือเปิดสุดซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ (Honeywell, 1998)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Free area ratio} &= (0.00005149 \times 658.75 \text{ in}^2)^{0.1007} \times \frac{658.75 \text{ in}^2}{922.25 \text{ in}^2} = 0.508 \\
 - \text{ Pressure drop at 1000 fpm} &= -0.01254 \times (1 - 0.508)^{-4.274} = 0.214 \text{ in. wc} \\
 - \text{ Approach velocity} &= 179.13 \text{ fpm} \\
 - \text{ Correction factor} &= \frac{10^6}{179.13^2} = 31.16 \\
 - \text{ Pressure drop across damper} &= \frac{0.214 \text{ in. wc}}{31.16} = 0.0069 \text{ in. wc} = 67.69 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

3. ช่องอากาศเข้าท่อ Bypass

$$\begin{aligned}
 H &= 0.750 \text{ m} \\
 W &= 0.242 \text{ m} \\
 H/W &= 3.1 \\
 C_0 &= 0.974
 \end{aligned}$$

$$V_0 = \frac{0.408 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.1815 \text{ m}^2} = 2.25 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = 0.974 \left(\frac{2.25^2}{1.29} \right) = 3.82 \text{ Pa}$$

4. ข้อมูลนำเข้าต่อเครื่องทำระเหย

$$H = 0.750 \text{ m}$$

$$W = 0.125 \text{ m}$$

$$H/W = 6$$

$$C_0 = 0.85$$

$$V_0 = \frac{0.102 \text{ m}^3 / \text{s}}{(0.75 \times 0.125) \text{ m}^2} = 1.09 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = 0.85 \left(\frac{1.09^2}{1.29} \right) = 0.78 \text{ Pa}$$

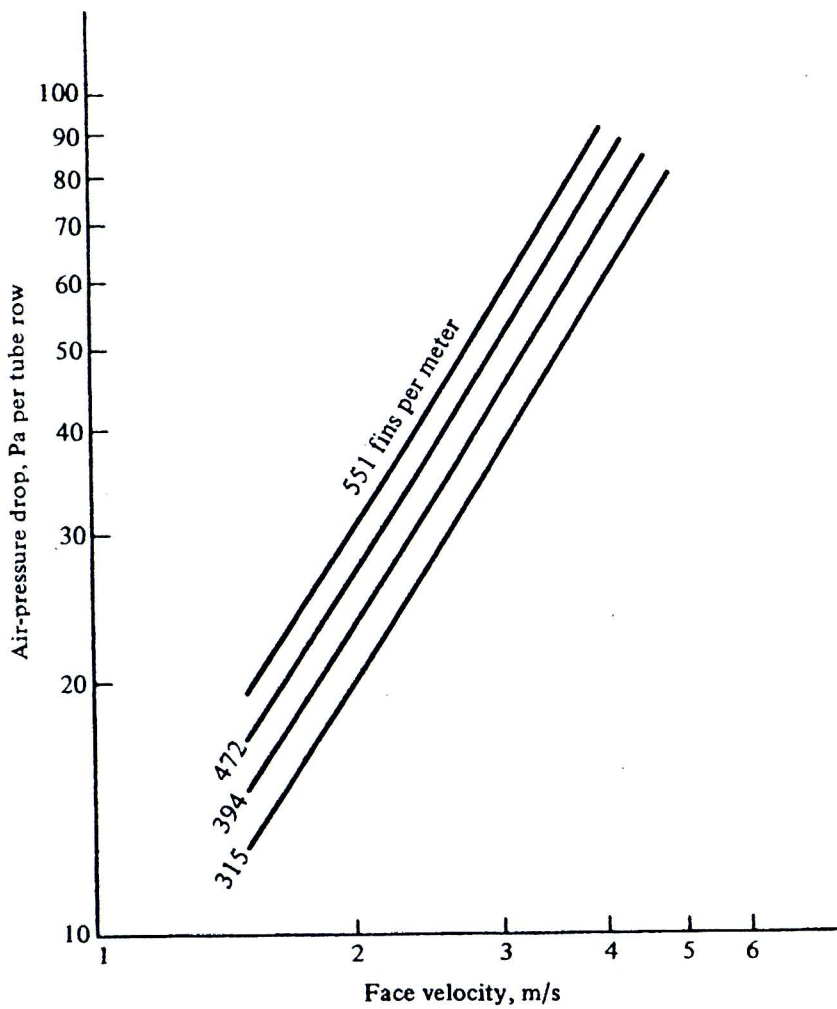
5. ความดันลดผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

การหาความดันลดของอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งในระบบทำความร้อนเป็นแบบครีปและท่อ (Fin and tube) จะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความดันลดต่อแถวของ Stoecker and Jones (1982) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2 ซึ่งจะได้ค่าความดันลดที่อุปกรณ์ดังนี้

เครื่องทำระเหย

เครื่องทำระเหยมีความเร็วของอากาศไหลผ่านคือ 1.09 m/s ที่จำนวนครีป 551 ครีปต่อเมตรจะได้ความดันสูญเสียประมาณ 15 Pa/แถว เครื่องทำระเหยที่ใช้เป็นแบบ 3 แถวดังนั้น

$$\Delta P = 15 \times 3 = 45 \text{ Pa}$$



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟความดันสูญเสียของอากาศไหลผ่าน fin-coil
ที่มา: Stoecker and Jones (1982)

เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นมีความเร็วของอากาศไหลผ่านคือ 2.25 m/s ที่จำนวนครีป 551 ครีปต่อเมตรจะได้ความดันสูญเสียประมาณ 38 Pa/แถว เครื่องทำระเหยที่ใช้เป็นแบบ 2 แถวดังนั้น

$$\Delta P = 38 \times 2 = 76 \text{ Pa}$$

6. ท่อลอดที่ทางเข้าพัดลม

A_1	= พื้นที่หน้าตัดทางเข้า	= 0.750 m x 0.575 m	= 0.4313 m ²
A_0	= พื้นที่หน้าตัดทางออก	= 0.250 m x 0.450 m	= 0.1125 m ²

$$V_0 = \text{ความเร็วของอากาศขาออก} = (0.51 \text{ m}^3/\text{s}) / (0.1125 \text{ m}^2) = 4.53 \text{ m/s}$$

$$\theta = \text{มุมเอียงของท่อขยาย} = 76.48^\circ$$

$$A_0/A_1 = 2.06 \text{ ดังนั้น } C_0 = 0.14$$

$$\Delta P = C_0 \left(\frac{V_0^2}{1.29} \right) = 0.14 \left(\frac{4.53^2}{1.29} \right) = 2.23 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณได้ความดันสูญเสียรวมทั้งสิ้น 665.46 Pa ซึ่งค่าความดันลดที่คำนวณได้นี้
นำไปใช้เพื่อหาพิกัดขนาดมอเตอร์สำหรับขับพัดลม

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการอบแห้งเครื่องทอหนูภูมิอากาศอบแห้ง 45 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)
0	245.14	89.20	-	255.20	87.60	-	242.4	89.30	-			
1	173.17	84.71	1.27	206.98	84.71	1.24	169.52	84.70	1.22			
2	136.57	80.61	1.13	163.24	80.61	1.20	133.10	80.51	1.31			
3	81.13	67.37	1.41	96.98	67.37	1.18	75.49	66.96	1.14			
4	49.90	46.95	1.12	59.65	46.95	1.21	48.50	46.52	1.12			
5	36.18	26.83	1.13	43.25	26.83	1.15	35.17	26.25	1.13			
6	30.96	14.69	1.12	37.01	14.49	1.12	30.21	14.14	1.15			
7	30.06	11.92	1.12	35.93	11.92	1.10	29.12	10.93	1.14			
8	29.46	11.13	1.11	35.16	10.00	1.13	28.51	9.03	1.13			

ตารางผนวกที่ ข2 ผลการอบแห้งเครื่องพ่นหมอกอากาศอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง	
	(g)	(%wb)	(%wb)	(kW.h)	(g)	(%wb)	(g)	(%wb)	(kW.h)	(%wb)	(g)	(%wb)
0	238.5	89.50	-	-	275.3	98.70	273.15	89.30	-	-	-	-
1	117.15	85.86	1.34	1.34	204.3	86.12	202.85	85.59	1.32	1.32	202.85	85.59
2	92.55	72.94	1.41	1.41	102.05	72.21	109.8	73.38	1.34	1.34	109.8	73.38
3	43.60	42.56	1.40	1.40	46.65	39.22	45.95	36.39	1.40	1.40	45.95	36.39
4	31.20	19.74	1.40	1.40	34.20	17.09	35.70	18.30	1.44	1.44	35.70	18.30
5	28.10	10.88	1.35	1.35	31.60	10.27	332.60	10.35	1.42	1.42	332.60	10.35
6	27.40	8.60	1.40	1.40	30.95	8.38	31.6	7.51	1.38	1.38	31.6	7.51

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการอบแห้งเครื่องทอผ้าภูมิอากาศอบแห้ง 55 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักรีดตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน	
	(g)		(%wb)		(kWh)		(g)		(%wb)		(kWh)	
0	242.25		89.25		-		212.95		88.75		-	
1	123.50		78.91		1.68		154.30		84.47		1.69	
2	60.60		57.03		1.69		94.60		74.68		1.68	
3	33.55		22.38		1.70		43.05		44.35		1.67	
4	29.05		10.35		1.66		27.56		13.07		1.67	
5	28.10		7.32		1.65		26.13		8.32		1.69	

ตารางผนวกที่ ข4 ผลการอบแห้งหอยมัสบุดนหุมิอากาศอบแห้ง 45 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน	
	(g)	(g)	(%wb)	(%wb)	(kWh)	(kWh)	(g)	(g)	(%wb)	(%wb)	(kWh)	(kWh)
0	169.05		89.41		-	-	154.35		89.33		177.35	-
1	146.15		87.76		1.01	1.01	116.80		85.86		146.55	0.98
2	114.60		84.39		0.90	0.90	90.55		81.76		117.60	0.97
3	83.05		78.45		0.98	0.98	64.45		74.37		92.90	0.98
4	62.05		71.16		0.95	0.95	46.25		64.29		67.75	1.00
5	44.55		59.83		0.97	0.97	31.20		47.07		44.25	1.02
6	33.05		45.86		0.98	0.98	23.45		29.57		31.65	1.01
7	26.55		32.60		1.00	1.00	21.75		24.07		24.95	0.98
8	24.15		25.90		0.96	0.96	20.65		20.02		23.75	0.97
9	22.05		18.85		0.97	0.97	19.60		15.74		22.60	0.97
10	20.90		14.38		0.99	0.99	18.95		12.85		21.80	0.98
11	20.55		12.92		1.00	1.00	18.50		10.73		21.05	0.96
12	20.15		11.19		0.97	0.97	18.20		9.26		20.75	1.00
13	20.05		10.75		1.01	1.01	18.08		8.65		20.65	0.98

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการอบแห้งหอมสับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน	
	(g)	(%wb)	(g)	(%wb)	(kWh)	(g)	(g)	(%wb)	(g)	(%wb)	(kWh)	(kWh)
0	120.90	96.25	-	103.6	96.10	-	101.45	96.20	-	-	-	-
1	61.60	92.63	1.21	65.65	93.85	1.20	67.60	94.30	1.22	1.22	1.22	1.22
2	30.40	85.08	1.23	31.25	87.07	1.22	35.55	89.16	1.24	1.24	1.24	1.24
3	13.30	65.89	1.21	17.15	76.44	1.23	22.55	82.91	1.23	1.23	1.23	1.23
4	8.60	47.24	1.23	11.30	64.24	1.23	11.80	67.34	1.23	1.23	1.23	1.23
5	6.75	32.78	1.24	7.05	42.69	1.21	8.05	52.12	1.20	1.20	1.20	1.20
6	5.90	23.10	1.21	6.00	32.66	1.23	6.45	40.25	1.22	1.22	1.22	1.22
7	5.45	16.75	1.22	5.40	25.18	1.22	5.30	27.28	1.21	1.21	1.21	1.21
8	5.25	13.58	1.24	4.85	16.69	1.24	4.85	20.53	1.21	1.21	1.21	1.21
9	5.20	12.75	1.22	4.65	13.11	1.21	4.45	13.39	1.23	1.23	1.23	1.23
10	5.15	11.90	1.23	4.55	12.20	1.22	4.35	11.40	1.22	1.22	1.22	1.22



ตารางผนวกที่ ๖6 ผลการอบแห้งหอมสับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน	
	(g)	(g)	(%wb)	(%wb)	(kWh)	(kWh)	(g)	(g)	(%wb)	(%wb)	(kWh)	(kWh)
0	170.90		95.64		-	-	153.60		95.69		151.45	-
1	87.90		91.93		1.57	1.58	103.55		93.61		88.45	1.60
2	48.85		84.76		1.54	1.53	50.45		86.88		43.90	1.54
3	22.00		66.16		1.53	1.54	24.50		72.98		17.70	1.57
4	13.60		45.27		1.54	1.56	13.55		51.14		12.45	1.52
5	9.65		22.86		1.54	1.55	9.80		32.44		8.60	1.53
6	8.35		10.85		1.56	1.55	7.90		16.19		7.80	1.54
7	8.15		8.66		1.57	1.56	7.40		10.53		7.20	1.55
8	8.10		8.10		1.57	1.57	7.30		9.30		7.10	1.53

ตารางผนวกที่ ๗ ผลการอบแห้งข้าวโพดหวานนึ่งสุกอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง		ความชื้น		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง		พลังงาน		น้ำหนักตัวอย่าง	
	(g)	(%wb)	(%wb)	(kWh)	(g)	(%wb)	(g)	(%wb)	(kWh)	(g)	(%wb)	(kWh)
0	295.80	78.90	-	317.00	79.45	-	313.45	78.47	-	-	-	-
1	223.70	72.10	1.30	245.65	73.49	1.34	270.75	75.08	1.33	270.75	75.08	1.33
2	178.15	64.97	1.32	192.15	66.10	1.33	240.00	71.88	1.34	240.00	71.88	1.34
3	138.70	55.00	1.34	152.35	57.25	1.32	205.15	67.11	1.34	205.15	67.11	1.34
4	101.40	38.45	1.32	112.90	42.31	1.35	161.30	58.16	1.32	161.30	58.16	1.32
5	78.95	20.94	1.35	86.50	24.70	1.31	119.55	43.55	1.32	119.55	43.55	1.32
6	17.05	12.15	1.33	76.95	15.36	1.33	92.30	26.89	1.35	92.30	26.89	1.35
7	68.30	8.62	1.32	71.95	9.48	1.33	78.60	14.15	1.33	78.60	14.15	1.33
8	67.28	7.23	1.33	71.90	9.41	1.33	75.60	10.74	1.33	75.60	10.74	1.33
9	67.25	7.19	1.33	71.85	9.35	1.33	74.00	8.81	1.33	74.00	8.81	1.33

ตารางผนวกที่ ๗8 ผลการรอบแห้งข้าวโพดหวานดิบอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C

เวลา (ชั่วโมง)	การทดลองที่ 1				การทดลองที่ 2				การทดลองที่ 3			
	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)	น้ำหนักตัวอย่าง (g)	ความชื้น (%wb)	พลังงาน (kWh)
0	240.10	77.70	-	231.35	77.70	-	234.32	77.75	-			
1	211.35	74.67	1.45	205.65	74.92	1.43	212.31	75.44	1.47			1.47
2	181.00	70.42	1.45	170.50	69.75	1.46	188.33	72.32	1.46			1.46
3	155.55	65.58	1.46	155.75	66.89	1.47	167.58	68.89	1.46			1.46
4	132.35	59.54	1.47	135.60	61.97	1.47	147.38	64.62	1.45			1.45
5	114.45	53.22	1.46	118.50	56.48	1.47	129.51	59.74	1.45			1.45
6	97.70	45.20	1.45	101.70	49.29	1.48	110.93	53.00	1.46			1.46
7	84.85	36.90	1.45	88.45	41.69	1.45	95.22	45.25	1.46			1.46
8	75.70	29.27	1.46	78.55	34.35	1.45	83.18	37.32	1.47			1.47
9	68.95	22.35	1.46	71.15	27.52	1.40	74.43	29.96	1.46			1.46
10	64.10	16.47	1.47	65.60	21.39	1.47	67.95	23.28	1.45			1.45
11	60.30	11.21	1.47	60.65	14.97	1.46	62.24	16.23	1.47			1.47
12	59.30	9.71	1.48	59.25	12.96	1.46	59.04	11.70	1.47			1.47
13	59.00	9.25	1.45	57.25	9.92	1.47	58.10	10.26	1.46			1.46

ตารางผนวกที่ ๗9 ผลการทดลองการคืนตัวของแครอท

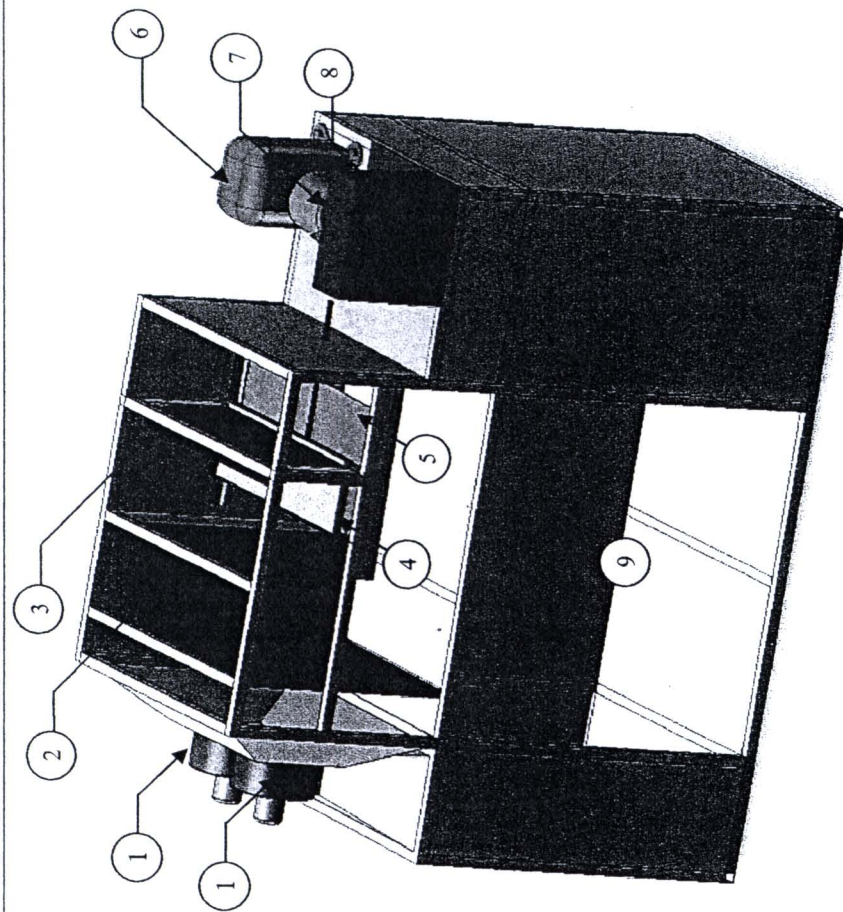
เวลา (นาที)	อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C				อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C				อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C			
	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)				น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)				น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
0	2.0125	2.0528	1.9787	2.0146	2.0315	1.9264	2.1026	2.0202	2.0179	2.0783	1.9126	2.0029
2	5.1499	5.2024	5.0634	5.1386	5.5614	5.4974	5.7560	5.6050	5.3285	5.5151	5.1543	5.3326
4	6.5659	6.6995	6.4595	6.5750	7.0021	6.8132	7.0813	6.9655	7.2318	7.4778	9.9145	7.2080
6	7.3183	7.2115	7.1932	7.2410	7.9535	7.8519	8.2313	8.0124	8.2824	8.5710	7.8546	8.2360
8	7.8322	7.9875	7.7120	7.8439	8.6114	8.4136	8.6975	8.5742	8.9075	9.2193	8.4278	8.8515
10	8.2701	8.4355	8.3353	8.3470	9.1875	9.0815	9.4681	9.2457	9.3024	9.6045	8.7921	9.2330

ตารางผนวกที่ ข10 ผลการทดลองการคืนตัวของหอมดิบ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C						อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C						อุณหภูมิอบแห้ง 55 °C					
	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)						น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)						น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)					
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2
0	0.9896	1.2006	0.8320	1.0074	0.7690	0.8102	0.7500	0.7764	0.8012	0.9803	0.7680	0.8498	0.8012	0.9803	0.7680	0.8498	0.8012	0.9803
2	3.5626	4.4422	2.9952	3.6667	2.7670	2.8762	2.7000	2.7811	2.5703	3.4703	2.8416	2.9607	2.5703	3.4703	2.8416	2.9607	2.5703	3.4703
4	4.2968	5.6638	3.5343	4.4983	3.3631	3.8254	3.4560	3.5482	3.1016	4.4419	3.6088	3.7175	3.1016	4.4419	3.6088	3.7175	3.1016	4.4419
6	4.7136	6.0037	3.8878	4.8683	3.6540	3.9860	3.6979	3.7793	3.5706	4.8195	3.8975	4.0959	3.5706	4.8195	3.8975	4.0959	3.5706	4.8195
8	4.7984	6.0757	4.1988	5.0243	3.8858	4.0578	3.8458	3.9298	3.9200	4.8725	3.9443	4.2456	3.9200	4.8725	3.9443	4.2456	3.9200	4.8725
10	4.8512	6.1310	4.2408	5.0743	4.0039	4.0943	3.8497	3.9826	4.0392	4.9164	3.9775	4.3110	4.0392	4.9164	3.9775	4.3110	4.0392	4.9164

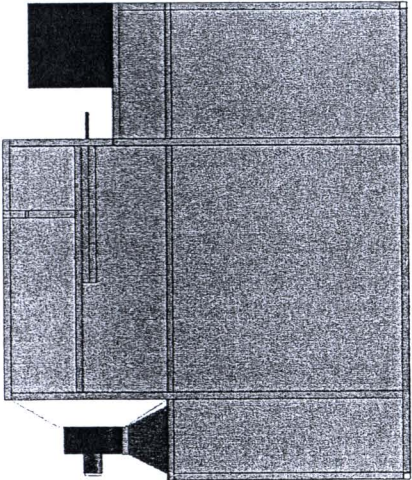
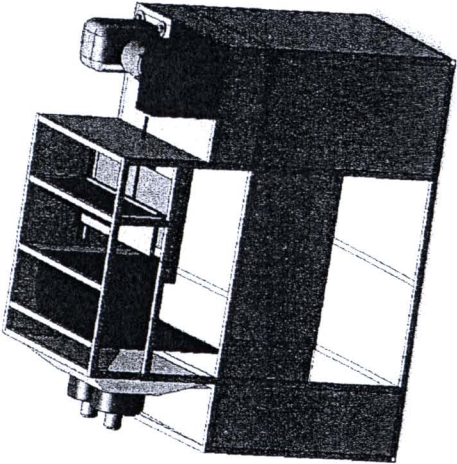
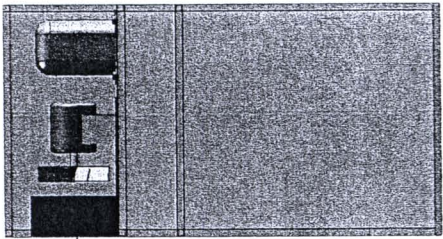
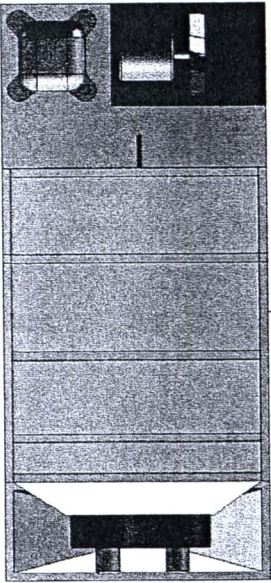
ภาคผนวก ค

แบบเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน



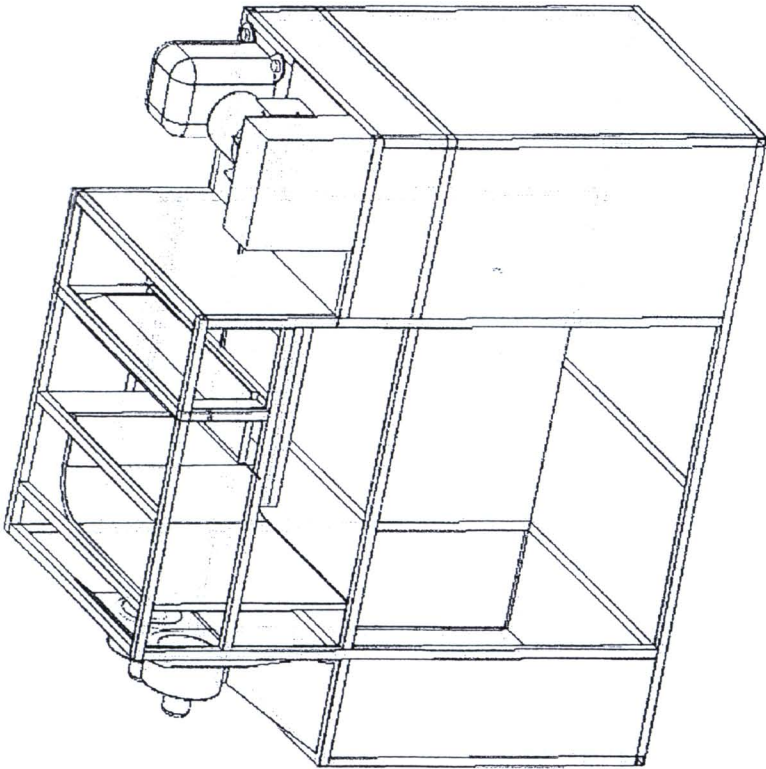
- 1 = ชุดมอเตอร์พัดลม
- 2 = เครื่องควบแน่นตัวใน
- 3 = เครื่องทำระเหย
- 4 = ถาดรับน้ำควบแน่น
- 5 = แผ่นกั้นอากาศข้ามเครื่องทำระเหย
- 6 = เครื่องอัดไอ
- 7 = มอเตอร์พัดลมระบายความร้อนเครื่องควบแน่นตัวนอก
- 8 = เครื่องควบแน่นตัวนอก
- 9 = หีองอบภายในเครื่อง

Title	เครื่องอบแห้ง			สาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Drawn	กระวี ตรีอำนาจ			
Approved	ดร.เทวรัตน์ ทิพย์มิล			
DWG No.	1	UNIT	-	

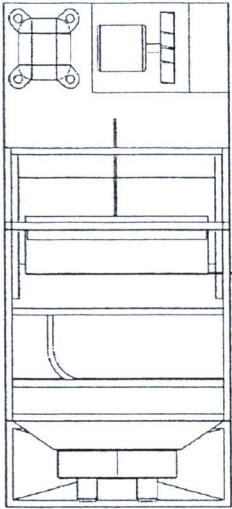
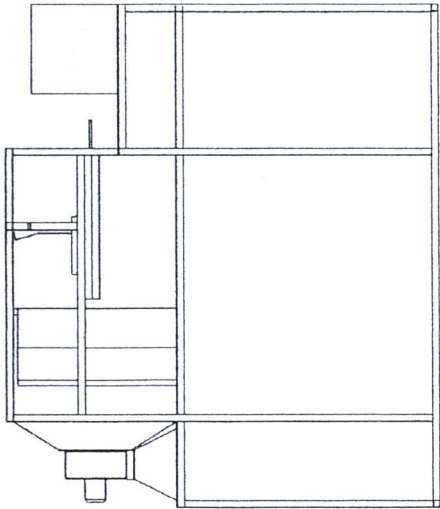
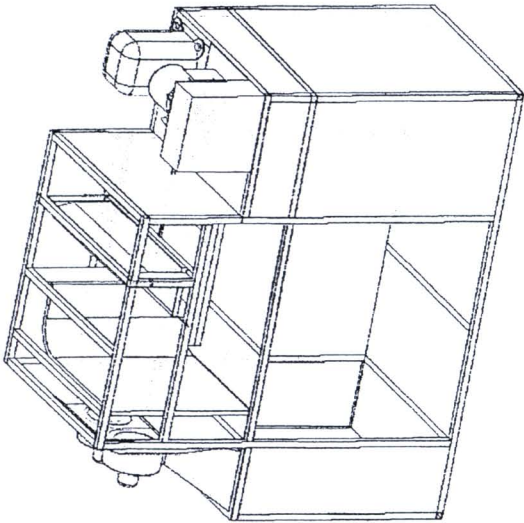
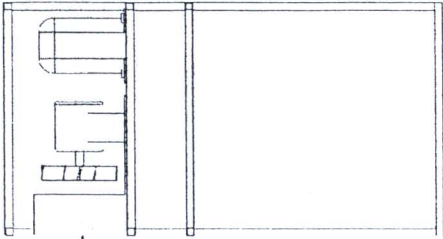


Title	เครื่องอบแห้ง		
Drawn	กระวี ตรีอำนาจ		
Approved	ดร.เทวรัตน์ ทิพย์พิมล		
DWG No.	2	UNIT	-

สาขาวิศวกรรมเกษตร
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Title	เครื่องอบแห้ง			สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
Drawn	กระวี ตีอำนรรค			
Approved	ดร.เพชรรัตน์ ทิพย์วิมล			
DWG No.	3	UNIT	-	

							
Title	เครื่องอบแห้ง			สาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี			
	Drawn	กรวิ ตรีอำนาจ					
	Approved	ดร.เทวรัตน์ ทิพย์พิมล					
	DWG No.	4	UNIT				-



ภาคผนวก ง

เอกสารเผยแพร่งานวิจัย



การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน Carrot Drying by Heat Pump Dryer

เทวรัตน์ ทิพย์วิมล¹ และ วีรชัย อาจนาญ¹
Tawarat Tipyavimol¹ and Weerachai Arjarn¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่พัฒนาขึ้น สภาวะการอบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45, 50 และ 55 °C ความเร็วลมเฉลี่ย 1.3 m/s อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 เปอร์เซ็นต์ แครอทสดที่ใช้ในการทดสอบอบแห้งถูกนำมาปอกเปลือกแล้วหั่นเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง X ยาว X หนา คือ 1 cm X 1 cm X 0.5 cm ปริมาณครั้งละ 10 กิโลกรัม ทำการประเมินสมรรถนะการอบแห้ง จากอัตราการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และคุณภาพของแครอทโดยดูจากอัตราการคืนตัว และการเปลี่ยนแปลงสีของแครอทแห้งเทียบกับแครอทสด ผลจากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งแครอทมีค่า 1.09 1.48 และ 1.76 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมงและสามารถทำการอบแห้งแครอทจากความชื้นเริ่มต้น 88.70 %wb ลงเหลือ 10.98 %wb โดยใช้ เวลาในการอบแห้ง 7, 5 และ 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45, 50 และ 55 °C ตามลำดับ สำหรับด้านการสิ้นเปลือง พลังงานพบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำสุด สำหรับค่าความแตกต่างสีจากผลิตภัณฑ์สดของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนอัตราการคืน ตัวพบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 และ 55 °C

คำสำคัญ: แครอท, อบแห้ง, ปั๊มความร้อน

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the performance of a heat pump dryer and the qualities of dried carrot. Carrot roots were peeled and then cut to dimension width x length x thick of 1 cm x 1cm x 0.5 cm. The 10 kilograms of carrot sample were dried in the dryer under the condition of: Drying air temperature of 45, 50 and 55 °C, drying air velocity of 1.3 m/s and 80 percent of evaporation bypass air. Drying rate, specific energy consumption (SEC), color and rehydration rate of dried carrot were evaluated. It was found that the drying rates were 1.09, 1.48 and 1.76 kilograms of moisture evaporated per hour at drying temperature of 45, 50 and 55 °C respectively. The carrot samples were dried from the initial moisture content of 88.70 percent wet basis to 10.98 percent wet basis within 7, 5 and 4 hours at drying temperature of 45, 50 and 55 °C respectively. The lowest specific energy consumption was at drying air temperature of 50 °C. Color quality of dried carrot, at the confidential level of 95 percents there were not differences in the total color difference between all drying air temperatures and there were not differences in rehydration rate between drying air temperature of 50 and 55 °C

Keywords: Carrot, Drying, Heat pump

บทนำ

แครอทเป็นพืชกินหัวชนิดหนึ่ง มีหลากหลายสี แต่สีที่แครอทสีส้มจะเป็นที่นิยมในการบริโภคเป็นอาหาร

มากที่สุดนอกจากนี้แครอทยังเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมไปด้วยวิตามินเอ และเกลือแร่ และสารเบต้าแคโรทีน ที่ช่วยยับยั้งเซลล์ของมะเร็งและต่อต้านสาร

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhonratchasima, 30000

*Corresponding author. Tel: 044-224583; Fax: 044-224610; E-mail: tawarat@sut.ac.th

อนุมูลอิสระซึ่งเป็นต้นกำเนิดของเซลล์มะเร็ง (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2554 ออนไลน์) เนื่องจากประโยชน์ของ แครอทที่มีมาก จึงได้มีผู้ผลิตอาหารกึ่งสำเร็จรูปประเภท บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปและข้าวต้มกึ่งสำเร็จรูป บางยี่ห้อนำมาเป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมคุณค่าทางอาหาร แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปอีกหลายยี่ห้อและหลายชนิดที่ไม่ได้เสริม ผลิตภัณฑ์ผักอบแห้งเข้าไป อีกทั้งในภาวะที่เร่งรีบในปัจจุบัน ความต้องการในการบริโภคอาหารกึ่งสำเร็จรูปจึงมีเพิ่มมากขึ้น (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2548 ก.ช ออนไลน์) ผักอบแห้งจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และสีสันให้น่ารับประทานมากขึ้น จากรายงานของ ธิติวัฒน์ (2550) พบว่าปัจจัยด้านคุณภาพที่มีอิทธิพลต่อ ผู้บริโภคในการเลือกซื้อผักอบแห้งคือ สีสันสดใส สดขาน น่ารับประทาน ความปลอดภัยต่อการบริโภค และสามารถผสมลงในอาหารได้อย่างสะดวกและลงตัว ดังนั้นแครอทอบแห้งจึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากตัวแครอทเองเป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารและมี สีสันที่สามารถเพิ่มความน่ารับประทานของอาหารได้ จึง ได้มีนักวิจัยได้ให้ความสนใจทำการศึกษารอบแห้งแครอท ซึ่งจากรายงานของ อดิวิณ (2546) พบว่าการทำแห้ง แครอทด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 °C นั้นใช้เวลาในการอบแห้งนานถึง 19 17 และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ พร้อมทั้งได้เสนอแนะว่า ที่อุณหภูมิ การอบแห้ง 70 °C มีความเหมาะสมต่อการอบแห้งมากที่สุด แต่ก็ยังพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนปกติจะใช้เวลา ในการอบแห้งช่วงสุดท้ายนาน และผลิตภัณฑ์ที่ได้มี ลักษณะเป็นสีน้ำตาล

เป็นที่ทราบกันดีว่าการนำเทคโนโลยีปั๊มความร้อนมา ใช้กับการอบแห้งจะช่วยในเรื่องของการคงคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้ง เนื่องจากเทคโนโลยีปั๊ม ความร้อนที่นำมาใช้ในการอบแห้งจะช่วยให้สามารถทำ การอบแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เนื่องจากแทนที่จะใช้ อุณหภูมิเป็นตัวเร่งอัตราการอบแห้งแต่เพียงอย่างเดียว ยัง เป็นการใช้ความแตกต่างของความชื้นระหว่างตัววัสดุกับ อากาศอบแห้งจึงทำให้การอบแห้งวิธีนี้เป็นทางเลือกหนึ่ง และมีนักวิจัยหลายท่านได้นำมาใช้ในการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น เห็ดฟาง (สุทธิศักดิ์, 2543) มะละกอแช่อิ่ม (ฐานิตย์, 2541) และ ไหล (Tawarat and Somyot, 2007) เป็นต้น

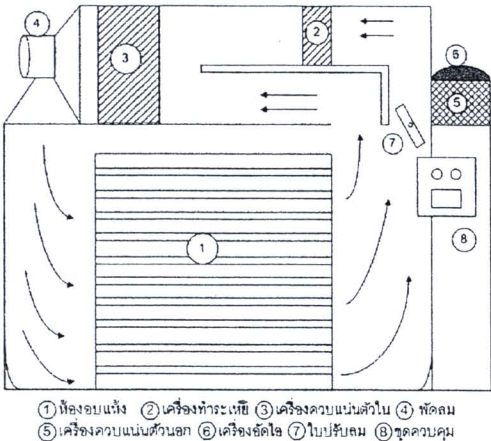
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบ อบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ได้ ทำการออกแบบและสร้างขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้นมี ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 1) ห้อง อบแห้งที่มีชั้นถาดอบแห้งจำนวน 10 ถาด สามารถบรรจุ แครอทสดได้ 10 กิโลกรัม 2) ระบบปั๊มความร้อน ประกอบด้วยเครื่องอัดไอขนาด 1-1/4 แรงม้า เครื่องทำ ระเหย เครื่องควบแน่นตัวใน เครื่องควบแน่นตัวนอกพร้อม พัดลมระบายความร้อน ลดความดันสารทำความเย็นด้วย ท่อแคปพิลารี 3) พัดลมหลักสำหรับส่งลมเข้าสู่ห้อง อบแห้ง และ 4) ระบบควบคุมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ ภายในห้องอบแห้งให้ได้ตามที่ต้องการ

การทดสอบการอบแห้งจะทำการอบแห้งแบบระบบ ปิด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่เพิ่มเข้ามาจากอากาศและ เป็นการรักษาสีแวดล้อมโดยไม่ปล่อยอากาศร้อนขึ้นออก สูบรรยากาศ ซึ่งหลักการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบ ปั๊มความร้อนมีดังนี้ อากาศอบแห้งไหลผ่านห้องอบแห้ง เพื่อนำความชื้นออกจากวัสดุอบแห้ง จากนั้นอากาศจะถูก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งจะถูกลดความชื้นที่เครื่องทำ ระเหย หลังจากนั้นจะผสมกับอากาศอีกส่วนหนึ่งที่ข้าม เครื่องทำระเหย (bypass air) แล้วรับความร้อนคืนที่ เครื่องควบแน่นแล้วส่งกลับเข้าสู่ห้องอบแห้ง โดยอากาศ ข้ามเครื่องทำระเหย ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ตั้งไว้ที่ 80% (สมยศและเทวรัตน์, 2546)



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

แครอท

การทดสอบการอบแห้งจะใช้แครอทที่ซื้อมาจาก ตลาดขายส่งในจังหวัดนครราชสีมา จากนั้นจะนำมาปอก เปลือก ล้างทำความสะอาด แล้วหั่นเป็นเป็นชิ้นขนาด กว้าง x ยาว x หนา เฉลี่ยคือ 1cm x1cm x 0.5cm ก่อน ทำการทดสอบการอบแห้ง จะแบ่งตัวอย่างแครอทสด จำนวนหนึ่งไปหาความชื้นเริ่มต้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่

อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งได้ค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 88.70 %wb

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองอบแห้งแครอทมีขั้นตอนดังนี้

1) นำแครอทที่เตรียมไว้จำนวน 10 กิโลกรัม บรรจุลงบนถาดทั้ง 10 ถาด เกลี่ยให้สม่ำเสมอ เป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง

2) ทำการชั่งตวงตัวอย่าง บันทึกน้ำหนัก จากนั้นตัวอย่างนำแครอทที่เตรียมไว้อีกส่วนหนึ่งลงบรรจุ ชั่งน้ำหนัก แล้ววางไว้บนถาดซึ่งบรรจุแครอทไว้แล้วในข้อ 1

3) นำถาดเข้าไว้ในห้องอบแห้ง ซึ่งกำหนดอุณหภูมิการอบแห้งไว้ที่ 45 50 และ 55 °C ความเร็วลมร้อน 1.3 m/s โดยทุกๆ 1 ชั่วโมงจะนำตวงตัวอย่างซึ่งบรรจุตัวอย่างแครอทออกมาชั่งเพื่อการลดลงของความชื้น โดยการทดลองจะสิ้นสุด เมื่อน้ำหนักของตัวอย่างแครอทในถาดตัวอย่างเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1 กรัม

การประเมินประสิทธิภาพ

ทำการประเมินประสิทธิภาพการอบแห้งจากเส้นคุณลักษณะการอบแห้ง (Drying curve) อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR) โดยคำนวณจากสมการ (1) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งมีหน่วยเป็น MJ/kg_{water} หาได้จากสมการ (2)

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \quad (1)$$

$$SEC = \frac{3.6Pe}{W_i - W_f} \quad (2)$$

เมื่อ W คือมวลของวัสดุ (kg), t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h), Pe คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh)

ตัวห้อย i และ f แทนก่อนและหลังการอบแห้ง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งทำการตรวจสอบคุณภาพการเปลี่ยนแปลงสีและอัตราการคืนตัว

1) การวัดคุณภาพด้านการเปลี่ยนแปลงสี

จากการวัดสีเปรียบเทียบความแตกต่างของสีที่ได้หลังการอบแห้งกับสีของผลิตภัณฑ์สด การวัดสีทำการวัดในเทอม L^* (degree of lightness), a^* (degree of redness), b^* (degree of yellowness) โดยตัวอย่างของ

ผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งจะถูกส่งไปตรวจสอบค่าสี ณ ห้องปฏิบัติการ ศูนย์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ค่าความแตกต่างสุทธิ (ΔE) จากแครอทคำนวณจากสมการ (3) เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีจากการอบแห้ง

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2} \quad (3)$$

เมื่อตัวห้อย "0" คือค่าสีของแครอทสด

2) อัตราการคืนตัว

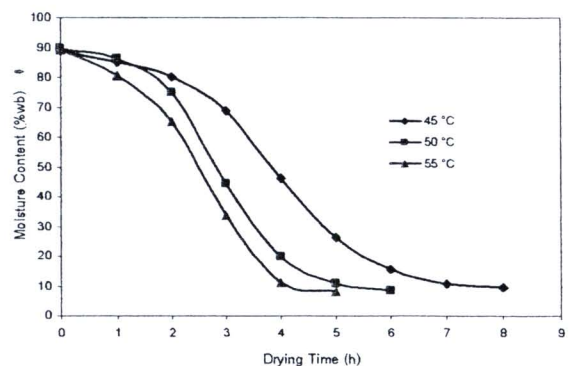
การหาอัตราการคืนตัว (Rehydration Ratio, RR) ของแครอทอบแห้ง กระทำโดยการนำตัวอย่างแครอทอบแห้งมาชั่งน้ำหนักและแช่น้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C ซึ่งควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (hot plate) ตัวอย่างแครอทจะถูกนำขึ้นจากน้ำร้อน ชั่งน้ำหนักให้แห้ง และชั่งน้ำหนักทุกๆ 2 นาทีเพื่ออัตราการดูดน้ำเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นทำการคำนวณค่าอัตราการคืนตัวจากสมการ (4) (ภารดรและคณะ, 2552)

$$RR = \frac{m_f}{m_i} \quad (4)$$

เมื่อ m_i คือน้ำหนักแครอทหลังการคืนตัว (g), m_f คือน้ำหนักแครอทแห้งก่อนการคืนตัว (g)

ผลการทดลองและวิจารณ์

พฤติกรรมของการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าที่อุณหภูมิการอบแห้งสูงกว่าจะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่า คือ 55 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด

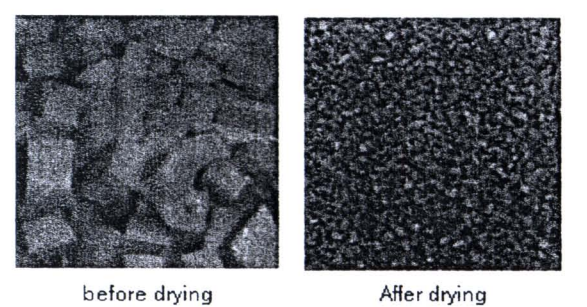


ภาพที่ 2 เส้นคุณลักษณะการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาที่อัตราการอบแห้งเฉลี่ยตลอดช่วงการอบแห้งพบว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C มีอัตราการอบแห้ง หรืออัตราการระเหยน้ำออกจากแครอท คือ 1.09 1.48 และ 1.76 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

สำหรับค่าความประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานพบว่าอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C มีค่า 3.86 3.37 และ 3.43 MJ/kg_{water} ซึ่งจะเห็นว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C มีค่าต่ำที่สุดทั้งนี้เนื่องจาก ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในการอบแห้งที่แต่ละอุณหภูมิการอบแห้งมีค่าแตกต่างกันโดยที่อุณหภูมิสูงกว่าจะใช้พลังงานมากกว่า โดยที่อุณหภูมิการอบแห้ง 55 °C มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.68 kWh/h ในขณะที่อุณหภูมิ 50 และ 45 °C มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 1.38 และ 1.17 kWh/h ตามลำดับ แต่ช่วงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C แตกต่างกันเพียง 1 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิ 45 °C ถึงแม้จะมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำแต่ระยะเวลาการอบแห้งที่นานมากกว่าจึงทำให้มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งที่ได้จากการอบแห้ง ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของแครอทก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนซึ่งจะเห็นว่าแครอทหลังการอบแห้งจะมีลักษณะสีแดงเข้มขึ้น



ภาพที่ 3 ลักษณะของแครอทก่อนและหลังอบแห้ง

สำหรับผลของค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าสีของแครอทที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C แสดงอยู่ในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่า ค่าความแตกต่างด้านสีมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้งสามอุณหภูมิอากาศอบแห้ง เมื่อทำการตรวจสอบทางสถิติ ด้วยการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยใช้วิธีการทดสอบของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วพบว่าความแตกต่างของสีทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ L* และ a* จะมีเพียงค่า b* ของอุณหภูมิ

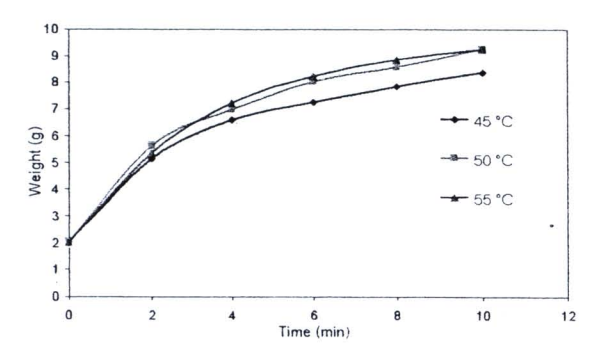
อากาศอบแห้ง 55 °C ที่แตกต่างจากอีกสองระดับอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สีของแครอท

Methods	Parameter			
	L*	a*	b*	ΔE
Fresh	40.70 ^a	33.70 ^a	21.60 ^c	-
45 °C	41.79 ^a	23.49 ^b	15.20 ^b	12.08 ^a
50 °C	41.93 ^a	23.11 ^b	15.28 ^b	12.38 ^a
55 °C	42.66 ^a	23.87 ^b	14.48 ^a	12.28 ^a

a, b, c อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำตัวอย่างแครอทอบแห้งมาทำการหาค่าอัตราการคืบตัว พฤติกรรมการคืบตัวของแครอทอบแห้งแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะพบว่าในช่วงเริ่มต้นอัตราการคืบตัวมีค่าสูงแล้วค่อยๆ ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น และที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราการคืบตัวที่สูงกว่า สำหรับค่าอัตราการคืบตัวเฉลี่ยของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C ค่าอัตราการคืบตัวมีค่า 4.14 4.58 และ 4.61 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบทางสถิติ ด้วยการใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยใช้วิธีการทดสอบของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วพบว่าอัตราการคืบตัวที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 และ 55 °C ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ



ภาพที่ 4 พฤติกรรมการคืบตัวของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่างๆ

จากผลการทดลองอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C พบว่าสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C มีความเหมาะสมต่อการ

อบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนมากที่สุด เนื่องจากสามารถลดความชื้นแครอทให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา ซึ่งใช้เวลา 5 ชั่วโมงในการลดความชื้นจาก 89.50%wb ลงเหลือ 10.55 %wb โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด และมีค่าความแตกต่างของสีและอัตราการคั่วตัวที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิอบแห้ง 55 °C ที่มีค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด

สรุปผลการทดลอง

สภาวะการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C ความเร็วลมร้อน 1.3 m/s อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80% โดยมีค่าอัตราการอบแห้ง 1.48 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3.37 MJ/kg_{water} ค่าความแตกต่างของสีจากแครอทสด 12.38 และค่าอัตราการคั่วตัว 4.58

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย (วช. 53)

เอกสารอ้างอิง

- ฐานิตย์ เมธิยานนท์. 2541. การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนในระดับอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 263 น.
- ธิตติวัฒน์ สิริพันธุ์กุล. 2550. ความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผักรวมอบแห้งสำเร็จรูปในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่. รายงานการค้นคว้าแบบอิสระบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 74 น.
- ภารดร หนูทอง, กอดขวัญ นามสงวน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และอารีย์ อัจฉริยวิริยะ. 2552. จุลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของลำไยโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ไม่มีเลขหน้า.
- วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2554. แครอท. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://th.wikipedia.org/wiki/แครอท> (7 มกราคม 2554).

- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2549ก. "อาหารกิ่งสำเร็จรูป : แนวโน้มขยายตัว...สอดคล้องพฤติกรรมผู้บริโภค รัดเข็มขัด." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kasikornresearch.com>. (16 สิงหาคม 2551).
- ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2549ข. "อาหารเสริมสุขภาพปี'48 : ตลาดขยายตัวร้อยละ 11." [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.kasikornresearch.com> (16 สิงหาคม 2551).
- สมยศ เชิญอักษรและเทวรัตน์ ทิพย์นิล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5. หน้า 367-374.
- สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. 2543. การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ. นครปฐม. 123 น.
- อัศวิน ชินธรรมมิตร. 2546. การพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งแครอทและเนื้อไก่โดยอบแห้งแบบลมร้อนกับการใช้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 154 น.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnakorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.

ประวัตินักวิจัย



1. ชื่อ

(ภาษาไทย) นางสาวเทวรัตน์ ทิพย์วิมล

(ภาษาอังกฤษ) Miss Tawarat Tipyavimol

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 300000

โทร. 044-224583

E-mail: tawarat@su.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

วศ.บ (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542

วศ.ม (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545

วศ.ด (วิศวกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551

5. ผลงานวิชาการ / ผลงานวิจัย

- บัณฑิต จิโรภาส, ชัยพร ทองปัญญา, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, นฤมล บุญกระจ่าง และ มาลัย ไกรทอง. 2543. การศึกษาการยุบตัวของส้มเขียวหวานในบรรจุภัณฑ์ขายส่งระหว่างการขนส่งทางบก. วารสารวิชาการเกษตร, ปีที่ 18 (2), หน้า 137-147.
- สมยศ เชิญอักษร และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2546. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 367-374.
- บัณฑิต จิโรภาส และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2547. ภาชนะสุญญากาศสำหรับการทดสอบรอยรั่วของบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว. 2547. บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 1 จัดโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม วันที่ 7-9 ธันวาคม.

- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2548. การอบแห้งพริกด้วยระบบลมร้อนและไมโครเวฟ. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2548 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 113-114.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2549. การอบสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2549 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 112.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และ สมยศ เชิญอักษร. 2550. การอบแห้งพริกชี้ฟ้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารวิชาการเกษตร. ปีที่ 25 (1), หน้า 46-57.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, สมยศ เชิญอักษร, ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล และเชาว์อินประสิทธิ์. 2550. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. ปีที่ 13 (1), หน้า 23-29.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2251. ความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบแห้งของไพล. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2551 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 86.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2551. การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟ: การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 3 (พิเศษ), หน้า 164-167.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2552. เอกสารประกอบการสอนวิชาการอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 144 น.
- ธนรัช มุขจันทร์, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, พรญา ลิปลับ และวีรชัย อาจหาญ. 2552. การอบแห้งมันเส้นด้วยเครื่องอบแห้งหมุนแบบกะ. รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6., หน้า 582-588.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และสมยศ เชิญอักษร. 2554. ความชื้นสมดุลและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของไพล. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. ปีที่ 42 ฉบับที่ 1 (พิเศษ), หน้า 139-142
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, เกียรติศักดิ์ ใจโต, ธรรมรัตน์ ขาวสำอางค์ และ กระวี ตรีอำรรค. 2554. เครื่องแยกแกลบจากข้าวกล้องซ้อมมือแบบประหยัด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 517-520.
- ปัทมา แก้วธรรม, วันพิทักษ์ คงสนั่น, กระวี ตรีอำรรค และ เทวรัตน์ ทิพย์วิมล. 2554 การอบแห้งสับปะรดแช่แข็งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน-ไมโครเวฟ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 493-496.

- พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, ฐชา วาทกิจ, พรรษา ลิบลับ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อาจหาญ. 2554. การออกแบบและทดสอบเครื่องทำความสะอาคมันสำปะหลัง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 42 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) หน้า 501-504.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัยอาจหาญ. 2554. การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. หน้า 96.
- เทวรัตน์ ทิพย์วิมล, ปริศนา แสงรุ่ง และ ปัตตะนี สุดตะนา. 2555. สมบัติทางกายภาพและความร้อนของข้าวขาวดอกมะลิ 105. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. หน้า 93
- ศักยะ สมบัติไพรวรรณ, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และกระวี ตรีอำนรรค. 2555. การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. หน้า 92.
- วิเชียร ดวงสีเสน, เทวรัตน์ ทิพย์วิมล และวีรชัย อาจหาญ. 2555. การศึกษาการอบแห้งกามันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน. รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. หน้า 114.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2006. Thai aroma herb drying with microwave assisted heat pump dryer. Proceedings of the 13th Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2006, Oct. 29-Nov. 2. Mie University, Japan. Pp. 278-281.
- Tawarat Tipyavimol and Somyot Chirnaksorn. 2007. Performance Study of Heat pump-Microwave Combination Dryer. Proceeding of International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/Production Technology, 21-24 January, Sofitel Raja Orchid Hotel, Khon Kean, Thailand. Page 35.



