

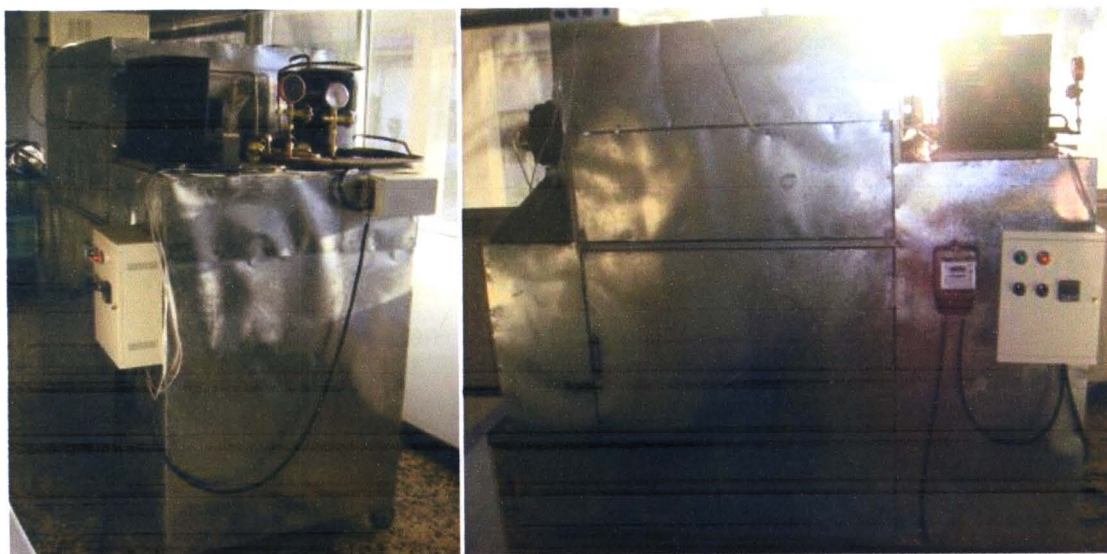
บทที่ 4

ผลการดำเนินการ



4.1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ดำเนินการพัฒนาขึ้นมีลักษณะดังภาพที่ 4.1 โดยตัวเครื่องมีขนาด กว้าง x ลึก x สูง คือ 1.7 m x 0.8 m x 1.5 m โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้



ภาพที่ 4.1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนและส่วนประกอบ

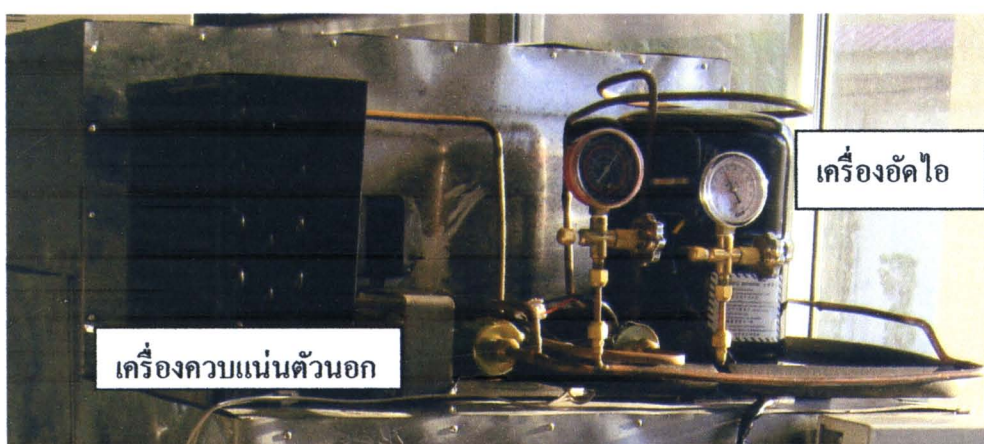
ห้องอบแห้ง

ห้องอบแห้งมีปริมาตรภายในเท่ากับ ก×ล×ส = $70 \times 70 \times 85 \text{ cm}^3$ วัสดุฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 3 นิ้ว ภายในประกอบด้วยถาดใส่วัสดุขนาด $50 \times 60 \text{ cm}^2$ จำนวน 10 ถาด ตัวถาดทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรู ชุดโครงสร้างรับถาดเหล็กกล้าไร้สนิมมีความแข็งแรงทนทาน

ชุดปั๊มความร้อน

ชุดปั๊มความร้อนประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องอัดไอน้ำแบบลูกสูบขนาด $1 \frac{1}{4} \text{ hp}$ ใช้สารทำความเย็น R-22 เครื่องทำระเหย (evaporator) แบบ 3 แฉกขนาด 3.75 kW ทำจากท่อทองแดงขนาด 9.5 mm. ประกอบด้วยครีบอลูมิเนียมแบบลอนคลื่นจำนวน 13 ครีบอกันน้ำ พร้อมวาล์วลดความดันชนิดท่อรูเข็ม เครื่องควบแน่นตัวใน แบบ 2 แฉก ขนาด 4.5 kW ทำจากท่อทองแดง

ขนาด 9.5 mm. ประกอบด้วยครีบอลูมิเนียมแบบลอนคลื่นจำนวน 13 ครีบนีว และเครื่องควบแน่นตัวนอก ขนาด 2.5 kW พร้อมชุดพัฒนาระบายความร้อนขนาด 40 W เนื่องจากในระบบการทำงานจริงจะมีความร้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเสียดทานภายใน การใช้เครื่องควบแน่นตัวนอกมากกว่าที่ออกแบบไว้จะช่วยทำให้การควบคุมอุณหภูมิภายในทำได้ดีขึ้น เครื่องควบแน่นตัวในและเครื่องทำระเหยจะทำการติดตั้งอยู่ในท่อส่งอากาศ ภายในเครื่องอบแห้ง ส่วนเครื่องอัดไอและเครื่องควบแน่นตัวนอกจะทำการติดตั้งอยู่ภายนอกเพื่อประโยชน์ในการระบายความร้อนส่วนเกินดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการติดตั้งเครื่องควบแน่นตัวนอกและเครื่องอัดไอ

พัดลม

พัดลมที่ใช้เป็นพัดลมโถ่งหน้า จำนวน 2 ตัว ต่อขนาน ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 350 W

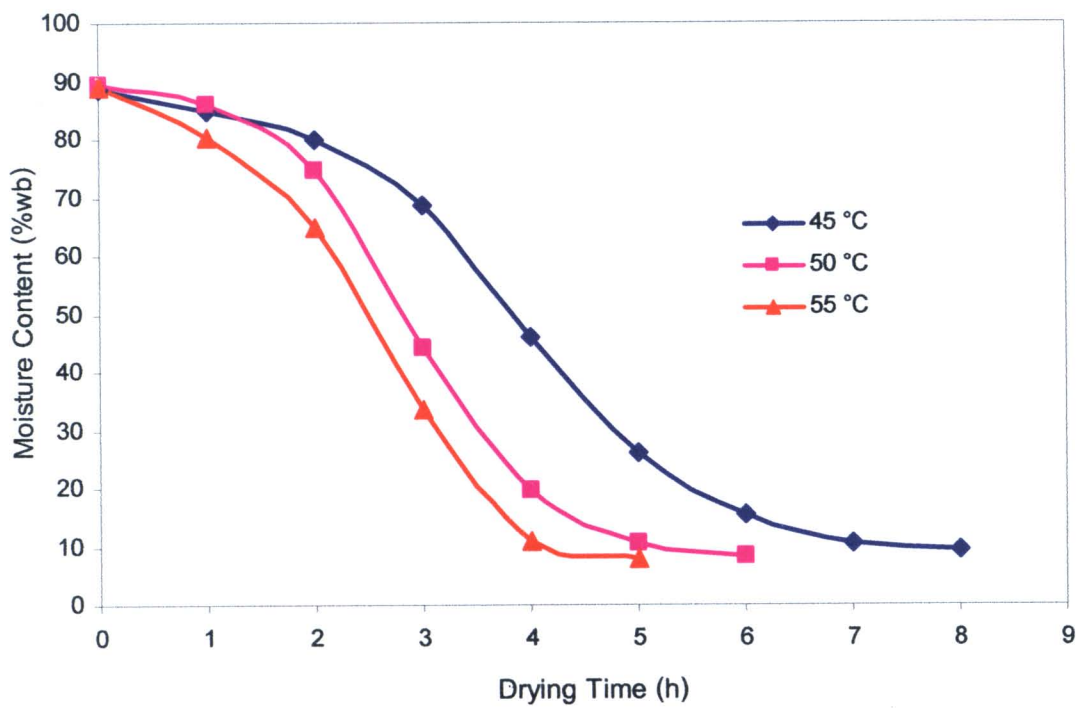
ชุดควบคุม

ทำการควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และชุดควบคุมการไหลของสารทำความเย็นในวงจรระบบปั๊มความร้อนที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิการอบแห้งที่ต้องการ

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

4.2.1 ผลการอบแห้งแครอท

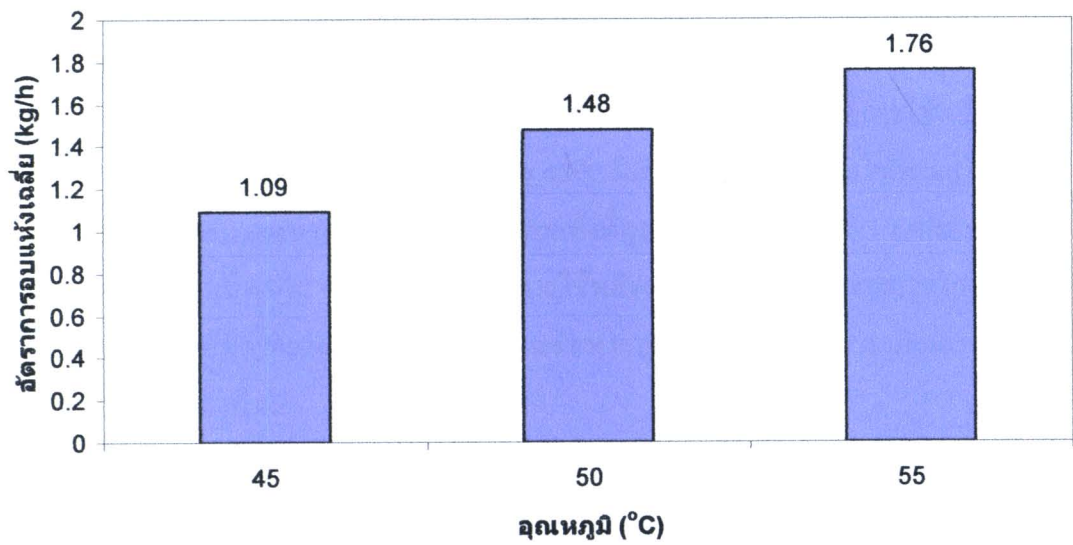
การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน พบว่ามีพฤติกรรมการอบแห้งดังแสดงในนำภาพที่ 4.3 ซึ่งจากภาพจะเห็นว่า การอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนมีพฤติกรรมการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการอบแห้งลดลง โดยอุณหภูมิของการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการอบแห้งแครอท โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 55 °C การลดลงของความชื้นของแครอทจะเกิดขึ้นเร็วที่สุดทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าลดต่ำลงทำให้มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะทำให้อากาศมีความสามารถในการรับความชื้นจากวัสดุไปน้อยกว่า การอบแห้งจึงเกิดขึ้นได้ช้ากว่า



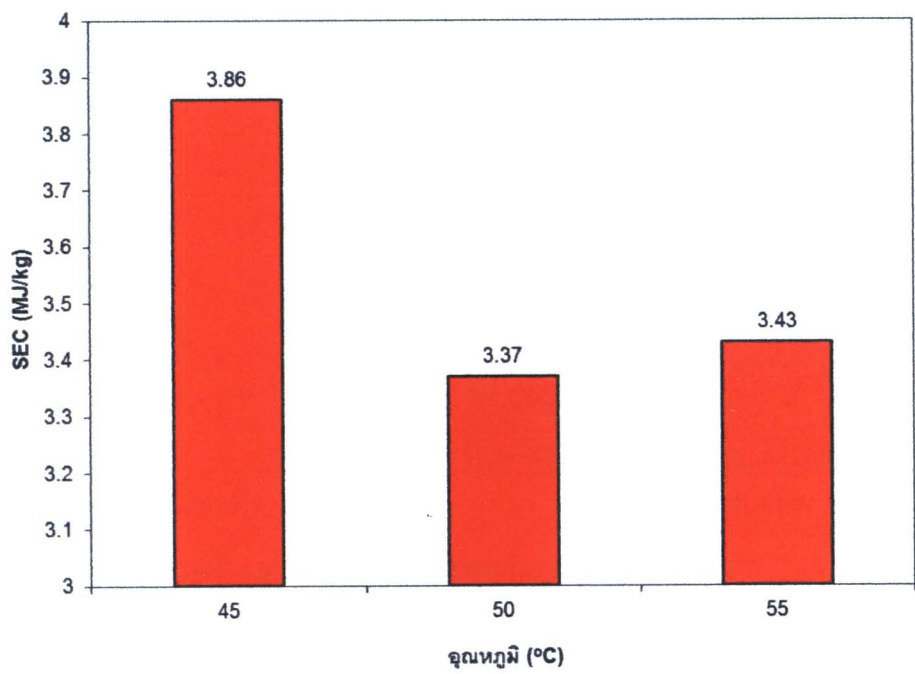
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

เมื่อทำการคำนวณหาอัตราการอบแห้งของแครอทในรูปของอัตราการระเหยน้ำต่อชั่วโมงพบว่า อัตราการอบแห้งของแครอทที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C โดยเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.4

ซึ่งจะเห็นว่ามีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับพฤติกรรมการอบแห้งนั่นคือที่อุณหภูมิสูงกว่า (55 °C) มีอัตราการอบแห้งสูงสุด และที่อุณหภูมิต่ำกว่าคือ 45 °C จะมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยต่ำที่สุด



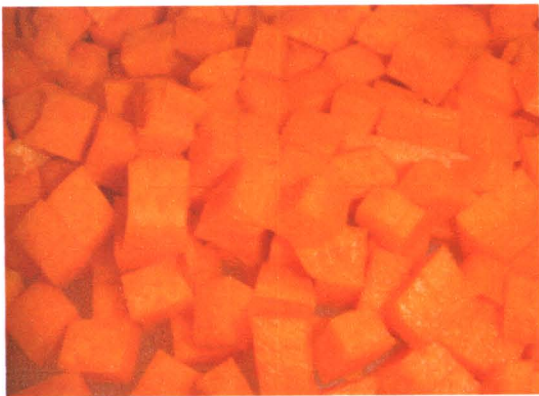
ภาพที่ 4.4 อัตราการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน



ภาพที่ 4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแครอท

เมื่อพิจารณาด้านพลังงานพบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแคโรทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 °C และ 55 °C มีค่า 3.86 3.37 และ 3.43 MJ/kg_{water} ซึ่งจะเห็นว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C มีค่าต่ำที่สุด (ภาพที่ 4.5) ทั้งนี้เนื่องจาก 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 สำหรับพารามิเตอร์อื่นของการอบแห้งแสดงในตารางที่ 4.1

เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์แคโรทอบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนพบว่าสีของแคโรทอบแห้งที่ได้จะเข้มขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากตัววัสดุ แต่ไม่ปรากฏสีดำคล้ำให้เห็น ซึ่งจากภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าแคโรทสดและแคโรทอบแห้งที่ได้ยังคงมีสีส้มที่สวยงามน่ารับประทานโดยที่ทุกๆ อุณหภูมิการอบแห้งจะให้ผลิตภัณฑ์แคโรทอบแห้งที่มีสีสันสวยงามเมื่อมองด้วยตาเปล่า



(ก) ก่อนอบแห้ง



(ข) หลังอบแห้ง

ภาพที่ 4.6 ลักษณะของแคโรทก่อนและหลังอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการรอบแห้งแครอท

รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
	45 °C	50 °C	55 °C
น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	10	10	10
ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	88.70	89.10	89.00
ความชื้นสุดท้าย (%wb)	9.52	8.16	7.81
เวลาในการอบแห้ง (h)	8	6	5
ปริมาณน้ำระเหยจากวัสดุ (kg)	8.75	8.86	8.81
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)	9.39	8.30	8.4
ปริมาณน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหย (kg)	6.10	4.03	4.42
อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)	0.51	0.51	0.51
อัตราการไหลอากาศ bypass (m ³ /s)	0.408	0.408	0.408
อัตราส่วนอากาศ bypass (%)	80	80	80
อัตราการอบแห้ง (kg _{water} /h)	1.09	1.48	1.76
MER (kg _{water} /h)	0.76	0.67	0.88
SMER (kg _{water} /kWh)	0.93	1.07	1.05
SEC (MJ/kg _{water})	3.86	3.37	3.43
COP _{hp(used)}	3.12	3.04	2.64

จากการตรวจสอบคุณภาพสีด้วยเครื่องวัดสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ค่าเฉลี่ยสีของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C แสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่า ค่าความแตกต่างด้านสีมีค่าที่ใกล้เคียงกันทั้งสามอุณหภูมิอากาศอบแห้ง เมื่อทำการตรวจสอบทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยใช้วิธีการทดสอบของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วพบว่าความแตกต่างของสีทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ L* และ a* จะมีเพียงค่า b* ของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55 °C ที่แตกต่างจากอีกสองระดับอุณหภูมิ

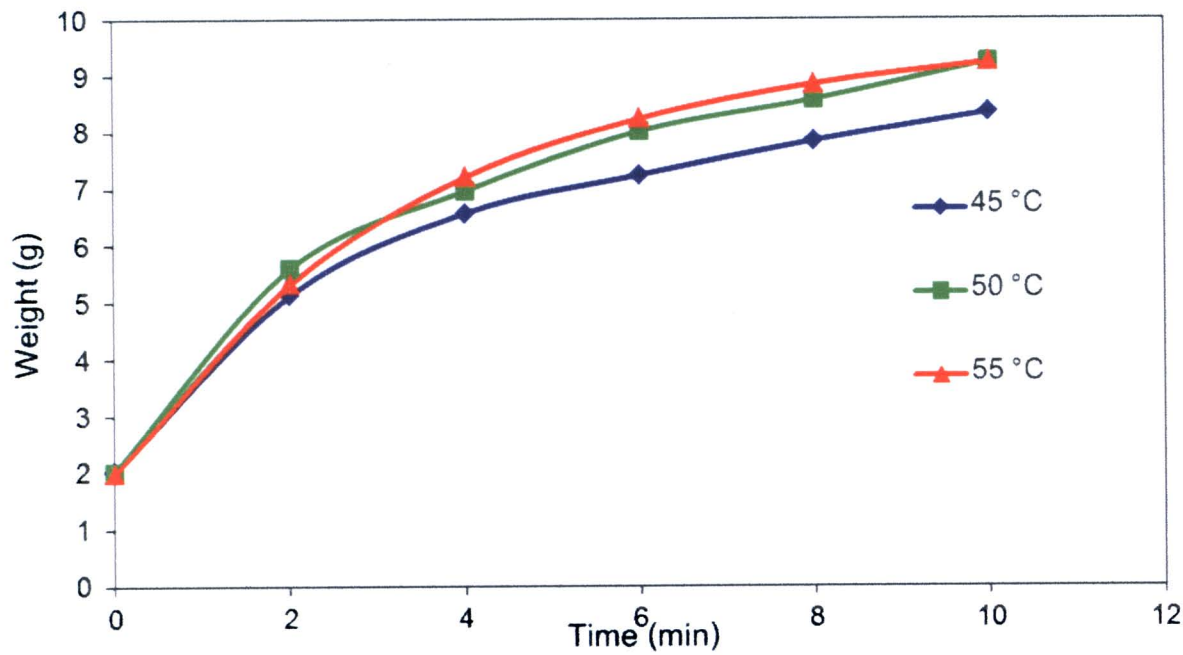
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์สีของแครอท

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 อักษรที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อนำตัวอย่างแครอทอบแห้งมาทำการหาค่าอัตราส่วนการคิ่นตัว พฤติกรรมการคิ่นตัวของแครอทอบแห้งแสดงในภาพที่ 4.7 ซึ่งจะพบว่าในช่วงเริ่มต้นอัตราการดูดคิ่นน้ำมีค่าสูงแล้วค่อยๆ ลดลง ซึ่งมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น และที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีอัตราส่วนการคิ่นตัวที่สูงกว่า สำหรับค่าอัตราส่วนการคิ่นตัวเฉลี่ยของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C ค่าอัตราส่วนการคิ่นตัวมีค่า 4.14 4.58 และ 4.61 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยใช้วิธีการทดสอบของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วพบว่าอัตราส่วนการคิ่นตัวที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 และ 55 °C ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ และเมื่อสังเกตด้วยตาจะเห็นว่าแครอทที่ได้จากการคิ่นตัวมีลักษณะใกล้เคียงกับแครอทสดก่อนการอบแห้งดังแสดงในภาพที่ 4.8

ดังนั้นการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อนจะช่วยรักษาคุณภาพด้านสีของแครอทไว้ได้ และมีอัตราส่วนการคิ่นตัวที่เร็วสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหารกึ่งสำเร็จรูปได้



ภาพที่ 4.7 พฤติกรรมการกินตัวของแครอทอบแห้งที่ได้จากอุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ



(ก) ก่อนอบแห้ง

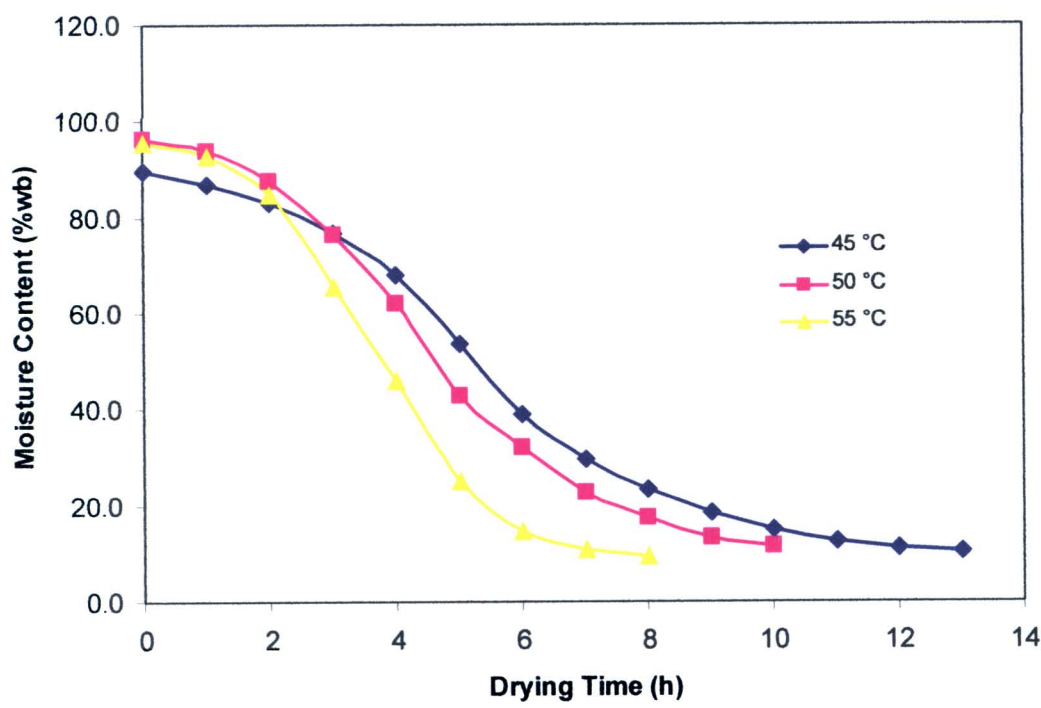
(ข) หลังอบแห้ง

(ค) หลังคั่ว

ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบลักษณะของแครอท

4.2.2 ผลการอบแห้งหอมสับ

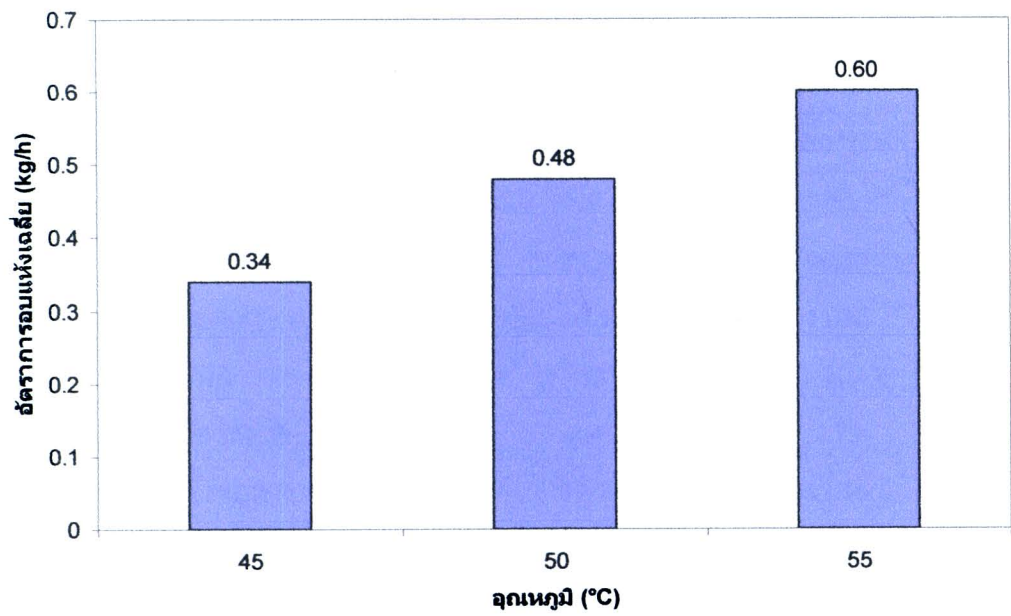
สำหรับผลการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนด้วยอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง 45 50 และ 55 °C มีพฤติกรรมการอบแห้งดังแสดงในภาพที่ 4.9 จะพบว่าพฤติกรรมการอบแห้งหอมสับอยู่ในช่วงการอบแห้งลดลงเช่นเดียวกับการอบแห้งแครอท แต่เป็นที่น่าสนใจกว่าหอมสับใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าแครอท ซึ่งอาจจะขัดกับความรู้สึกที่ว่าหอมสับมีลักษณะเป็นหลอดกลวงน่าจะใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า ทั้งนี้สาเหตุที่การอบแห้งหอมสับใช้เวลานานในการทดลองนี้อาจเป็นผลเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างหอมสับสำหรับการอบแห้งทางผู้วิจัยไม่ได้ทำการอบเฉพาะใบของหอมแต่ได้ทำการอบส่วนที่เป็นหัวหอมด้วย และส่วนของหัวหอมนี้มีลักษณะเป็นชั้นซ้อนกันแบบหนาทำให้ความชื้นจึงลดลงช้ากว่าส่วนที่เป็นใบ



ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

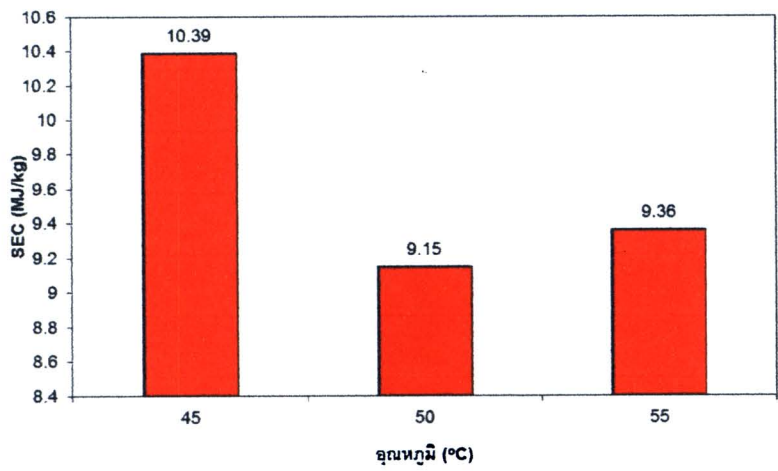
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการอบแห้งก็ยังคงพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าคือ 55 °C ก็สามารถทำการลดความชื้นได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำถึงแม้ว่าจะมีค่าความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าก็ตาม

เมื่อทำการคำนวณค่าอัตราการอบแห้งในรูปของความสามารถในการระเหยน้ำออกจากหอมสับเฉลี่ยต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพบว่าอัตราการอบแห้งเป็นไปตามพฤติกรรมการอบแห้งนั้นคือที่อุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราการอบแห้งสูงกว่าดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 อัตราการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

เมื่อพิจารณาด้านพลังงานพบว่ามีทิศทางเดียวกับการอบแห้งแคโรทนนั่นคือที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 55 °C ทั้งๆ ที่มีอัตราการอบแห้งที่ต่ำกว่า และเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อโหลดภายในห้องอบแห้งต่ำลง (อบแห้งหอมสับใช้ 5 กิโลกรัมขณะที่แคโรทใช้ตัวอย่าง 10 กิโลกรัม) ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานต่อชั่วโมงก็ลดลงด้วยซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C คือ 0.98 1.22 และ 1.55 kWh/h เมื่อคิดเป็นค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยตลอดช่วงของการอบแห้งจึงได้ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ซึ่งผลจากการทดลองอบแห้งหอมสับนี้ก็ยืนยันยืนยันว่าอุณหภูมิอบแห้ง 50 °C ตามที่ออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมต่อการอบแห้งทั้งแคโรทและหอมสับเนื่องจากมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด สำหรับพารามิเตอร์อื่นของการอบแห้งหอมสับแสดงในตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.11 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหอมสับ

ตารางที่ 4.3 ผลการอบแห้งหอมสับ

รายการ	อุณหภูมิอบแห้ง		
	45 °C	50 °C	55 °C
น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	5	5	5
ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	89.50	96.20	95.70
ความชื้นสุดท้าย (%wb)	10.50	11.50	9.27
เวลาในการอบแห้ง (h)	13	10	8
ปริมาณน้ำระเหยจากวัสดุ (kg)	4.41	4.79	4.76
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)	12.74	12.16	12.38
ปริมาณน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหย (kg)	3.41	3.38	4.42
อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)	0.51	0.51	0.51
อัตราการไหลอากาศ bypass (m ³ /s)	0.408	0.408	0.408
อัตราส่วนอากาศ bypass (%)	80	80	80
อัตราการอบแห้ง (kg _{water} /h)	0.34	0.48	0.60
MER (kg _{water} /h)	0.26	0.34	0.55
SMER (kg _{water} /kWh)	0.35	0.39	0.38
SEC (MJ/kg _{water})	10.40	9.14	9.36
COP _{hp(used)}	3.32	3.08	2.83

เมื่อพิจารณาคุณภาพของหอมสับที่ได้หลังการอบแห้งด้วยตาเปล่าพบว่าหอมสับที่ได้มีค่าสีเขียวที่ลดลงไปไปในลักษณะสีเขียวซีดลง เนื่องจากเกิดการสูญเสียสีน้ำออกไปลักษณะของหอมสับก่อนและหลังการอบแห้งแสดงในภาพที่ 4.12



(ก) หอมสับก่อนอบแห้ง



(ข) หอมสับหลังอบแห้ง

ภาพที่ 4.12 ลักษณะของหอมสับก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั่นความร้อน

จากการตรวจสอบสีของหอมสับด้วยเครื่องวัดสีแบบสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ได้ค่าเฉลี่ยของการสีก่อนและหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิการอบแห้ง 45 50 และ 55 °C ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่ง จะเห็นว่าเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์สี จะพบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้ง 55 °C มีค่าความสว่าง ของสี (L*) ใกล้เคียงกับค่าความสว่างของหอมสดที่ยังไม่ได้ทำการอบแห้งมากที่สุดเนื่องจากความ แตกต่างของสีไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนที่ระดับอุณหภูมิ 45 และ 50 °C มี แนวโน้มความแตกต่างไปในทางที่ลดลงนั่นคือ หอมสับที่ได้จากการอบแห้งจะมีสีคล้ำลงจาก ผลิตกัณฑ์สดนั่นเอง

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์สีของหอมสับ

Methods	Parameters			
	L*	a*	b*	ΔE
Fresh	43.18 ^a	-5.98667 ^a	15.79667 ^a	-
45 °C	38.10 ^b	-2.63667 ^c	13.21667 ^{ab}	6.88 ^a
50 °C	37.07 ^b	-3.85333 ^b	12.19333 ^c	7.34 ^a
55 °C	40.11 ^{ab}	-3.45222 ^b	12.34333 ^{bc}	5.58 ^a

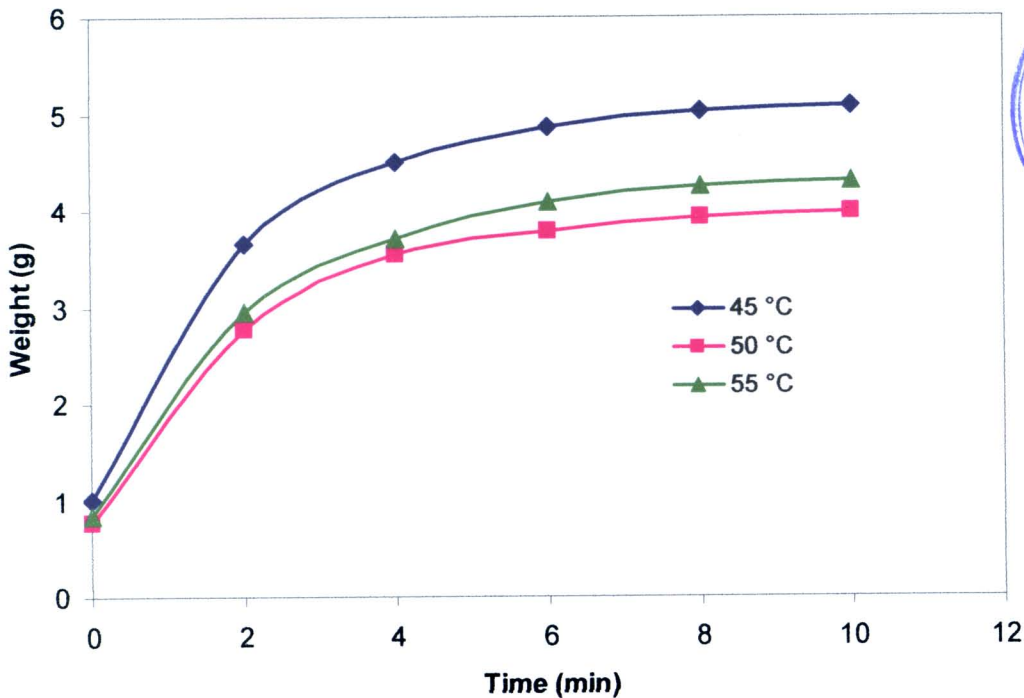
a, b, c อักษรที่เหมือนกันในคอลัมภ์เดียวกันหมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ a* ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากค่า +a สี แดงไปเป็น -a สีเขียว ซึ่งจากค่าที่ได้พบว่าค่า a* มีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทางเพิ่มมากขึ้นจากค่าอ้างอิง ของหอมสดแสดงว่าเมื่อทำการอบแห้งแล้วแนวโน้มความเป็นสีเขียวลดลงโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C มีแนวโน้มของการเปลี่ยนไปเป็นสีแดงมากที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ b* ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสีจากค่า +b สีเหลืองไปเป็น -b สีนํ้าเงิน ซึ่งจากตารางที่ 4.2 จะพบว่าแนวโน้มค่าสีเหลืองจะลดลงในทุกสภาวะ การอบแห้ง

เมื่อทำการหาค่าผลต่างของพารามิเตอร์สีรวมกับพบว่าค่าความแตกต่างของพารามิเตอร์สีเมื่อ ทำการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C ไม่มีความ แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นคือในช่วงการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 45-55 °C จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่แตกต่างกันดังนั้นการเลือกใช้

อุณหภูมิการอบแห้งที่เหมาะสมจึงสามารถพิจารณาได้จากอัตราการอบแห้งและค่าพลังงานจำเพาะที่ให้ค่าความคุ้มค่าในการใช้พลังงานมากที่สุดได้



ภาพที่ 4.13 พฤติกรรมการคืนตัวของหอมสับอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งอุณหภูมิต่างๆ

เมื่อนำหอมสับมาทำการคืนตัวด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C พบพฤติกรรมการคืนตัวของหอมสับดังแสดงในภาพที่ 4.13 ซึ่งจากภาพจะเห็นว่าเส้นพฤติกรรมการคืนตัวของหอมสับที่อุณหภูมิการอบแห้ง 45 °C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C เนื่องจากพฤติกรรมการคืนน้ำกลับของหอมสับในภาพที่ 4.13 เป็นการพลอตค่าระหว่างน้ำหนักของหอมสับที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเนื่องจากในการทดสอบการคืนน้ำกลับของหอมสับไม่ได้ควบคุมน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างไว้จึงทำให้กราฟที่ได้ออกมาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 45 °C สามารถดูดน้ำกลับได้มากกว่า ซึ่งในความเป็นจริงเมื่อทำการคำนวณค่าอัตราส่วนการคืนตัวของหอมสับด้วยสมการที่ 3.5 จะได้อัตราส่วนการคืนตัวของหอมสับอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C คือ 5.04 5.13 และ 5.08 ตามลำดับ ซึ่งการตรวจสอบทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว โดยใช้วิธีการทดสอบของ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แล้วพบว่าอัตราส่วนการคืนตัวที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งทั้ง 3 ระดับไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ และเมื่อสังเกตด้วยตาจะเห็นว่าหอมสับที่ได้จากการคืนตัวมีเมื่อได้รับน้ำกลับคืนจะมีลักษณะของสีเขียวที่เข้มกว่าหอมสด ส่วนลักษณะของส่วนหัวยังคงมีลักษณะที่ขาวดังแสดงในภาพที่



(ก) หอมสับก่อนอบแห้ง

(ข) หอมสับหลังอบแห้ง

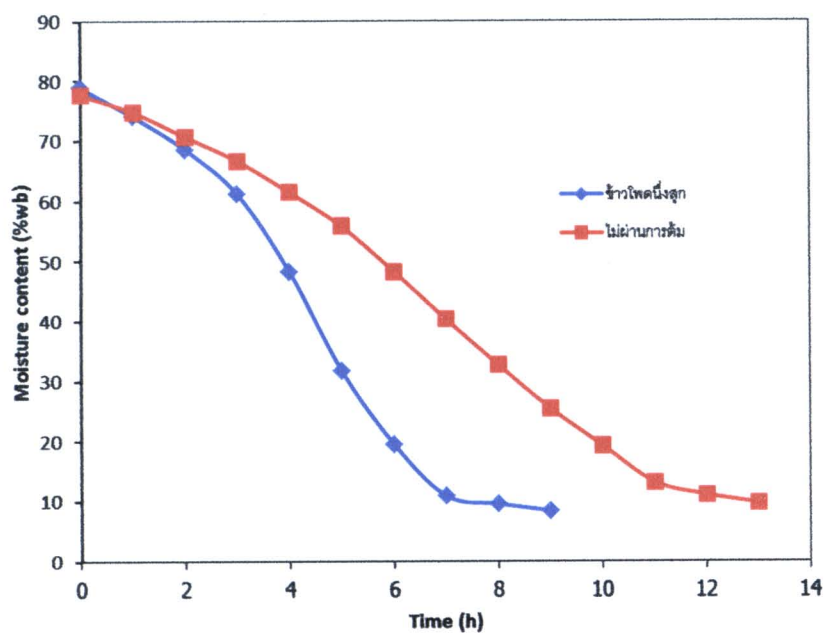
(ค) หอมสับหลังการคั่วตัว

ภาพที่ 4.14 ลักษณะของหอมสับหลังการอบแห้งและหลังการคั่วตัวเทียบกับหอมสับสด

จากการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนจะเห็นได้ว่าลักษณะคุณภาพที่ได้ทั้งในด้านสีและการคั่วตัวเป็นที่น่าสนใจ เพียงแต่หากต้องการทำการอบแห้งให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้นอาจต้องมีการคัดแยกส่วนที่เป็นหัวของหอมออกให้เหลือเพียงใบหอมก็จะทำให้การอบแห้งเสร็จสิ้นได้เร็วขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะวัตถุที่นำมาอบแห้งส่งผลให้สิ้นเปลืองเวลาและพลังงานในการอบแห้งมากเกินไป

4.2.3 ผลการอบแห้งข้าวโพดหวาน

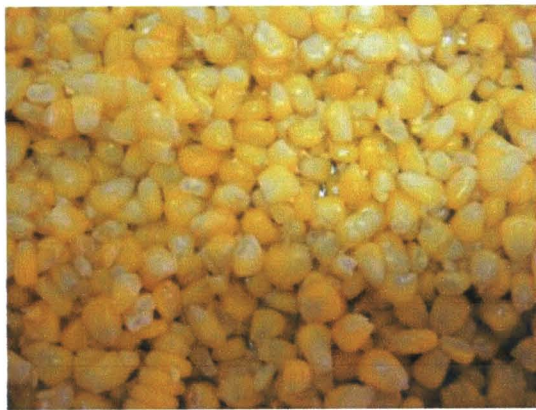
สำหรับการอบแห้งข้าวโพดทางผู้วิจัยได้ทดลองทำการทดสอบโดยอาศัยข้อมูลจากการอบแห้งแครอทและการอบแห้งหอมสับที่พบว่าอุณหภูมิการอบแห้ง 50 °C ให้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมทั้งในด้านการใช้พลังงานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ในการทดลองอบแห้งจึงได้ทำการทดลองโดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวโพดหวานด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน โดยทำการแบ่งเป็นการทดลองออกเป็น 2 ลักษณะคือการอบแห้งข้าวโพดหวานดิบและการอบแห้งข้าวโพดหวานที่ผ่านการนึ่งสุก ซึ่งผลจากการอบแห้งข้าวโพดหวานทั้งสองชนิดพบว่ามีพฤติกรรมการอบแห้งดังแสดงในภาพที่ 4.15 ซึ่งจะเห็นว่าข้าวโพดที่ผ่านการนึ่งสุกแล้วจะสามารถลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 78.90 %wb ให้เหลือ 8.45 %wb ได้ในเวลา 9 ชั่วโมง ส่วนข้าวโพดดิบนั้นลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 77.70 %wb ให้เหลือ 9.81 %wb ใช้เวลาในการอบแห้ง 13 ชั่วโมง ซึ่งเวลาในการอบแห้งแตกต่างกันถึง 4 ชั่วโมงที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการนึ่งข้าวโพดทำให้เซลล์ของข้าวโพดเกิดการเปลี่ยนแปลงและการผ่านเอาเมล็ดข้าวโพดออกจากฝักมีส่วนพื้นที่ผิวเปิดที่ทำให้ความชื้นระเหยออกได้ง่าย ส่วนข้าวโพดดิบนั้นถึงแม้จะมีรอยปาดออกจากฝักเช่นเดียวกันแต่การไม่ผ่านการนึ่งทำให้ชั้นผิวหนังด้านนอกกักน้ำไว้ทำให้การระเหยความชื้นเกิดขึ้นได้ช้ากว่า ลักษณะของข้าวโพดนึ่งสุกและข้าวโพดดิบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4.16 สำหรับผลการประเมินผลการอบแห้งข้าวโพดแสดงในตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.15 พฤติกรรมการอบแห้งข้าวโพดดิบและข้าวโพดข้าวโพดนึ่งสุก



(ก) ข้าวโพดดิบ



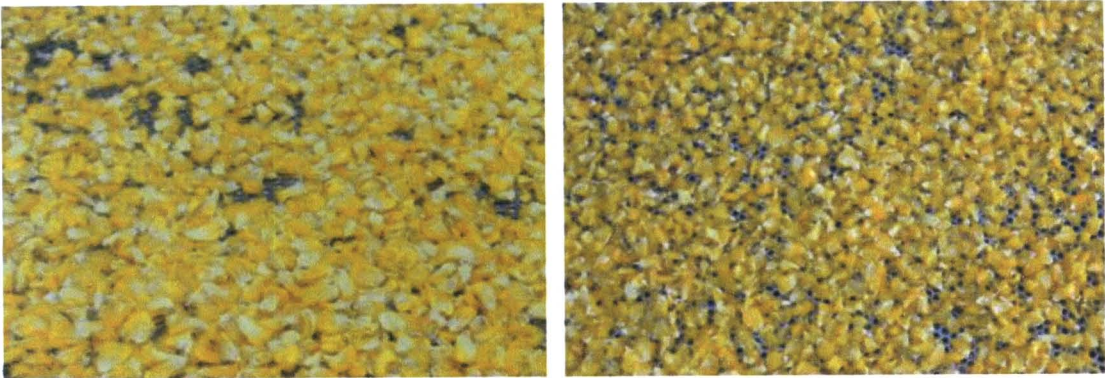
(ข) ข้าวโพดนึ่งสุก

ภาพที่ 4.16 ลักษณะของข้าวโพดดิบและข้าวโพดนึ่งสุกก่อนการอบแห้ง

ตารางที่ 4.5 ผลการอบแห้งข้าวโพดหวาน

รายการ	ชนิดตัวอย่าง	
	ข้าวโพดนึ่งสุก	ข้าวโพดดิบ
น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	10	10
ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	78.90	77.70
ความชื้นสุดท้าย (%wb)	8.45	9.81
เวลาในการอบแห้ง (h)	9	13
ปริมาณน้ำระเหยจากวัสดุ (kg)	7.70	7.53
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)	11.98	16.10
ปริมาณน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหย (kg)	7.30	6.67
อัตราการไหลอากาศ (m ³ /s)	0.51	0.51
อัตราการไหลอากาศ bypass (m ³ /s)	0.408	0.408
อัตราส่วนอากาศ bypass (%)	80	80
อัตราการอบแห้ง (kg _{water} /h)	0.86	0.58
MER (kg _{water} /h)	0.81	0.51
SMER (kg _{water} /kWh)	0.64	0.47
SEC (MJ/kg _{water})	5.60	7.70
COP _{hp(used)}	3.12	3.07

เมื่อพิจารณาลักษณะของข้าวโพดที่ได้หลังการอบแห้งจะพบเมล็ดของข้าวโพดมีลักษณะที่เกิดการหดตัวอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนใหญ่อยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นชั้นบางด้านนอกจะมีความชื้นน้อยกว่า เมื่อเนื้อสูญเสียน้ำไปทำให้เกิดการหดตัวของเนื้อเยื่อชั้นนอกและส่วนเนื้อภายในนั้นเมื่อเกิดการสูญเสียเนื้อก็ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นระหว่างส่วนเนื้อและส่วนเยื่อหุ้มด้านนอก ลักษณะของข้าวโพดหลังการอบแห้งมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4.17 ซึ่งลักษณะของข้าวโพดดิบจะมีลักษณะของการหดตัวที่น้อยกว่า



(ก) ข้าวโพดดิบ

(ข) ข้าวโพดนึ่งสุก

ภาพที่ 4.17 ลักษณะของข้าวโพดหลังการอบแห้ง

ผลการวัดสีของข้าวโพดดิบ ข้าวโพดนึ่งสุก ข้าวโพดดิบผ่านการอบแห้ง และข้าวโพดนึ่งสุกผ่านการอบแห้งพบว่าข้าวโพดที่ผ่านการนึ่งจะมีสีเหลืองที่เข้มขึ้น โดยดูได้จากค่า b^* ที่สูงกว่าค่าที่วัดได้จากข้าวโพดดิบปกติ และพบว่าข้าวโพดที่ผ่านการนึ่งเมื่อทำการอบแห้งจะได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ลักษณะคล้ำขึ้น โดยค่า L^* ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์อื่น โดยค่าพารามิเตอร์สีของตัวอย่างข้าวโพดในแต่ละสถานะแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์สีของข้าวโพดหวาน

Methods	Parameters			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
ข้าวโพดดิบ	74.29 ^c	-2.80 ^b	25.59 ^a	-
ข้าวโพดนึ่งสุก	73.86 ^c	-4.87 ^c	44.08 ^b	18.80 ^a
ข้าวโพดดิบหลังอบแห้ง	64.96 ^b	1.99 ^a	31.26 ^a	14.53 ^a
ข้าวโพดนึ่งสุกหลังอบแห้ง	53.85 ^a	0.94 ^a	46.26 ^b	29.63 ^b

a, b, c อักษรที่เหมือนกันในคอลัมภ์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ซึ่งเมื่อพิจารณาคุณภาพโดยรวมของข้าวโพดที่ได้จากการอบแห้งทั้งสองแบบจะพบว่าการอบแห้งข้าวโพดหวานในลักษณะที่เป็นข้าวโพดดิบจะให้ลักษณะทางคุณภาพเป็นที่น่าสนใจมากกว่าเนื่องจากลักษณะที่ได้ค่อนข้างที่จะคงรูปมากกว่าข้าวโพดที่ผ่านการนึ่งสุกแล้วที่มีลักษณะการหดตัวค่อนข้างมากทำให้มีลักษณะเหี่ยวขุ่น ส่วนคุณภาพด้านสีนั้นยังคงให้ลักษณะสีที่เป็นสีเหลืองไม่แตกต่างจากลักษณะก่อนการอบแห้งมากนัก

4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่แสดงในตารางที่ 4.7 สามารถวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขต่างๆ ของการคำนวณดังนี้

- ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งรวม 70,544 บาท
- สามารถแห้งแครอทได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม
- ผลิตแครอทแห้งได้ครั้งละ 1.11 กิโลกรัม (คิดความชื้นเริ่มต้น 90%wb ลดเหลือ 10% wb)
- ราคาแครอทสดเฉลี่ย 45 บาทต่อกิโลกรัม
- ราคาเครื่องอบแห้ง 500 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง (คิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของราคาขายในท้องตลาด)

- ใช้เวลาในการอบแห้งครั้งละ 8 ชั่วโมง
- ทำการอบแห้งสัปดาห์ละ 6 วัน ดังนั้นทำงานปีละ 312 วัน
- สมมติให้มีการอบแห้งผลผลิตอื่นรวมด้วยตลอดปี ที่เงื่อนไขการทำงานเดียวกัน
- อัตราการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงเท่ากับ 1.70 kWh
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 7.75%
- ตัวเครื่องมีอายุการใช้งาน 10 ปี
- มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของต้นทุน
- ค่าบำรุงรักษารายปีคิดเป็น 5% ของต้นทุน
- ค่าไฟฟ้าราคา 2.5 บาท/kWh
- ค่าจ้างแรงงาน 1 คน ราคา 300 บาท/วัน

ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบรายปีของต้นทุนสร้างเครื่อง

$$\begin{aligned}
 &= 70,544(A/P, 7.75\%, 10) - 70,544(0.1)(A/F, 7.75\%, 10) \\
 &= 70,544 \left(\frac{0.0775(0.0775+1)^{10}}{(0.0775+1)^{10}-1} \right) - 70,544(0.1) \left(\frac{0.0775}{(0.0775+1)^{10}-1} \right) \\
 &= 9,902.12 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี

$$\begin{aligned}
 &= \text{ชั่วโมงการทำงานรวม} \times \text{อัตราการใช้ไฟฟ้า} \times \text{ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย} \\
 &= 312 \times 8 \times 1.70 \times 2.5
 \end{aligned}$$

$$= 10,608 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษารายปี

$$= 70,554 \times 0.05$$

$$= 3,527.20 \text{ บาท}$$

ค่าจ้างแรงงานรายปี

$$= 300 \times 312$$

$$= 93,600 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

$$= 9,902.12 + 10,608 + 3,527.20 + 93,600$$

$$= 117,637.32 \text{ บาท}$$

ค่าใช้จ่ายต่อปริมาณผลผลิตคิดแยกประเภทตามต้นทุน

$$\text{ต้นทุนค่าเครื่อง} = 9,902.12 / (312 \times 1.11)$$

$$= 28.59 \text{ บาทต่อกิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 10,608 / (312 \times 1.11)$$

$$= 30.63 \text{ บาทต่อกิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

$$\text{บำรุงรักษา} = 3,527.20 / (312 \times 1.11)$$

$$= 10.18 \text{ บาทต่อกิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน} = 93,600 / (312 \times 1.11)$$

$$= 270.27 \text{ บาทต่อกิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวม} = 117,637.32 / (312 \times 1.11)$$

$$= 339.68 \text{ บาทต่อกิโลกรัมผลผลิตแห้ง}$$

ผลตอบแทนรายปี

$$= \text{ปริมาณวัสดุ} \times \text{ราคาขาย}$$

$$= 346.32 \times 500$$

$$= 173,160 \text{ บาท}$$

กำไรสุทธิรายปี

$$= \text{ผลตอบแทน} - \text{ต้นทุนการผลิต}$$

$$= 173,160 - 117,637.32$$

$$= 55,522.68 \text{ บาท}$$



ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

= ต้นทุนสร้างเครื่อง/กำไรสุทธิรายปี

= 70,544/55,522.68

= 1.27 ปี

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน (บาท)
1	เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีเบอร์ 28 ขนาด $1.2 \times 2.4 \text{ m}^2$	12 แผ่น	390	4680
2	เหล็กกล่องนิ้วหนา 2 mm	10 เส้น	285	2850
3	ฉนวน	4 ม้วน	320	1280
4	ชุดพัดลมหลักและมอเตอร์	1 ชุด	4050	4050
5	ชุดพัดลมเครื่องควบแน่นตัวนอกและมอเตอร์	1 ชุด	1300	1300
6	โซลีนอยด์วาล์ว	2 ชุด	1250	2500
7	วาล์วกันกลับ	2 ชุด	550	1100
8	ถาดอลูมิเนียม	10 ถาด	780	7800
9	เครื่องอัดไอแบบลูกสูบขนาด 1 ¼ hp	1 ชุด	4250	4250
10	Capacitor start	1 ตัว	756	756
11	ชุดแผงคอยล์เย็นและร้อน	1 ชุด	6000	6000
12	ชุดกลอนประตูแบบมือจับพร้อมบานพับ	1 ชุด	310	310
13	โครงวางชั้นถาด	1 ชั้น	1600	1600
14	ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล	1 ตัว	3500	3500
15	ชุดอุปกรณ์ตู้ควบคุม	1 ชุด	4210	4210
16	ล้อขนาดใหญ่	4 ล้อ	175	700
17	มิเตอร์ และสายไฟหลัก	1 ชุด	658	658
18	วัสดุสิ้นเปลือง (เหมาจ่าย)			5000
19	ค่าจ้างประกอบเครื่อง			15,000
20	ค่าจ้างติดตั้งระบบปั๊มความร้อน			3,000
รวมค่าใช้จ่าย				70,544