

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

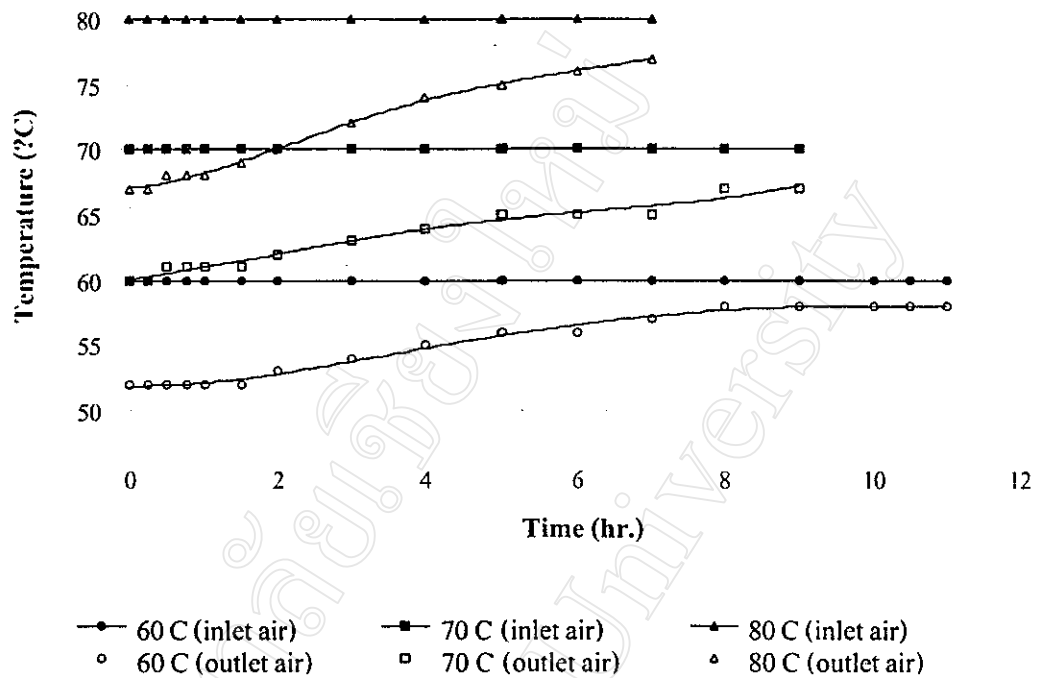
4.1 การลดความชื้นหอมหัวใหญ่แห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาด (Electrical Tray dryer)

ตัวอย่างที่ใช้คือหอมหัวใหญ่แห้งขนาด 0.3*0.3 cm. โดยประมาณ บรรจุลงในถาดด้วยชั้นความหนา 1 cm. อบแห้งด้วยลมร้อนที่มีความเร็วลมคงที่ 0.3 m/s. ใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง ลมร้อนที่ใช้มี 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 60 °C 70 °C และ 80 °C

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขาออก

กระบวนการอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยลมร้อนสภาวะอุณหภูมิและความชื้นคงที่ ปรากฏการณ์ที่พบคล้ายๆกันทั้ง 3 อุณหภูมิคือเมื่อเกิดการสัมผัสครั้งแรกระหว่างลมร้อนและตัวอย่างซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นสูง การระเหยของน้ำหรือความชื้นเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างอย่างรวดเร็ว ทำให้อากาศชื้นและเย็นขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรกนี้จึงพบว่าอุณหภูมิอากาศขาออกที่วัดได้จะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิขาเข้ามาก ในการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที การทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนขาเข้า 60°C ขาออกมาพบว่าอุณหภูมิลดลงเหลือ 52°C ส่วนการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนขาเข้า 70°C และ 80°C มีอุณหภูมิอากาศขาออกลดลงเหลือ 60°C และ 67°C ตามลำดับ ช่วงแรกนี้ลมร้อนขาออกจะมีอุณหภูมิต่ำคงที่ซึ่งจะใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง จากรูปที่ 4-1 การอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C อุณหภูมิขาออกคงที่อยู่ที่ 52°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 80°C ใช้เวลาสั้นกว่าทั้งนี้เนื่องจากอากาศร้อนอุณหภูมิสูงมีความสามารถในการระเหยความชื้นได้มากกว่าอากาศร้อนอุณหภูมิต่ำทำให้อุณหภูมิลดต่ำมากกว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพบว่าเกิดขึ้น 2 ครั้ง โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C ใน 15 นาทีแรกลมร้อนรักษาระดับอุณหภูมิไว้ที่ 60°C และในช่วงระหว่าง 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง 30 นาที อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและคงที่อยู่ที่ 61°C ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C ใน 0.25 ชั่วโมงแรกลมร้อนรักษาระดับอุณหภูมิไว้ที่ 67°C และระหว่างเวลา 15 นาที ถึงชั่วโมงที่ 1 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและคงที่อยู่ที่ 68°C (ตารางภาคผนวกที่ 1-1)

หลังจากนั้นเมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปปริมาณความชื้นที่จะระเหยลดน้อยลง ทำให้ความชื้นในอากาศร้อนมีน้อยลง อุณหภูมิลมร้อนขาออกจึงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด แต่จะไม่เท่ากับอุณหภูมิขาเข้า โดยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 60°C มีอุณหภูมิอากาศขาออกสุดท้าย 58°C ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 70°C และ 80°C มีอุณหภูมิอากาศขาออกสุดท้าย 67°C และ 77°C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Sigh (1994) พบว่าอุณหภูมิอากาศขาออกจะเพิ่มขึ้นตามเวลาการลดความชื้น



รูปที่ 4-1 กราฟอุณหภูมิอากาศเข้า และอุณหภูมิอากาศออกในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของหอมหัวใหญ่

ความชื้นเริ่มต้นของหอมหัวใหญ่ก่อนอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 92.36%-93.0% (w.b.) เมื่อเริ่มอบหอมหัวใหญ่ได้รับความร้อนจากลมร้อนมีผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นขึ้น ดังรูปที่ 4-2 จะเห็นว่าทั้ง 3 การทดลองคือการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C 70°C และ 80°C มีการลดลงของปริมาณความชื้นอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง แต่การอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C สามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C ตามลำดับ ดังจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C มีความชันมากกว่าเส้นกราฟความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอากาศอุณหภูมิสูงมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าอากาศอุณหภูมิต่ำ การอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C จึงใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 7 ชั่วโมง 15 นาที ในการลดความชื้นให้เหลือประมาณ 12.0% (w.b.) การอบด้วยลมร้อน 70°C จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง 15 นาที ส่วนการอบด้วยลมร้อน 60°C จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นที่สุดคือ 11 ชั่วโมง 15 นาที

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้งเป็นไปตามสมการดังนี้
ที่อุณหภูมิ 60°C

$$y = -0.7301x^2 + 0.0518x + 92.26 \quad (R^2 = 0.9923)$$

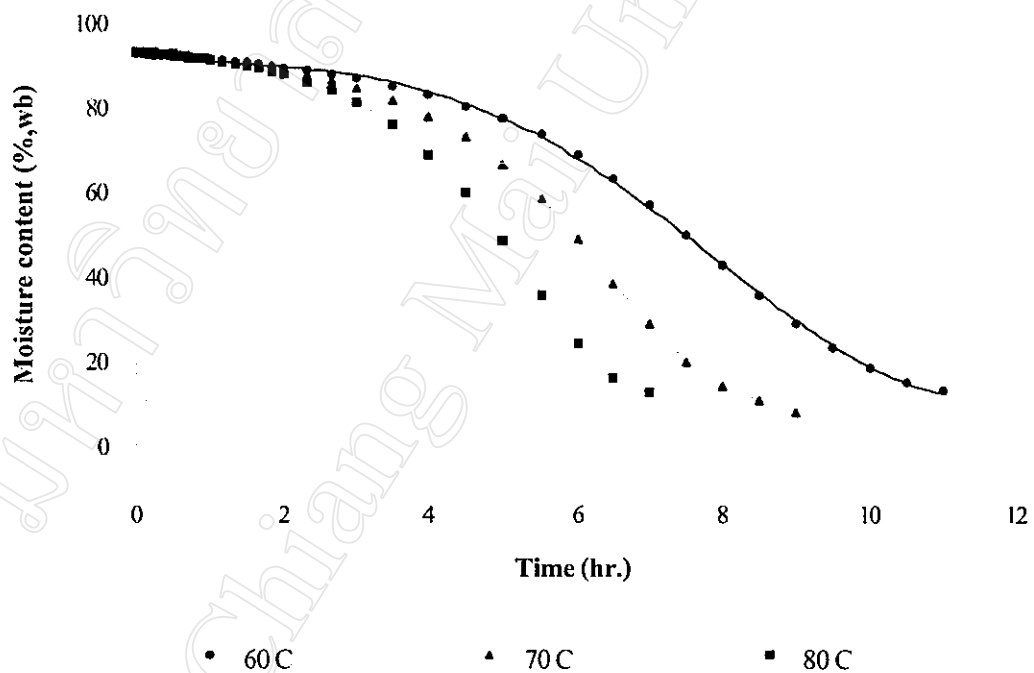
ที่อุณหภูมิ 70°C

$$y = -1.1842x^2 + 0.0879x + 92.804 \quad (R^2 = 0.9880)$$

ที่อุณหภูมิ 80°C

$$y = -1.9787x^2 + 1.4053x + 92.282 \quad (R^2 = 0.9919)$$

โดยค่า x คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)
y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)



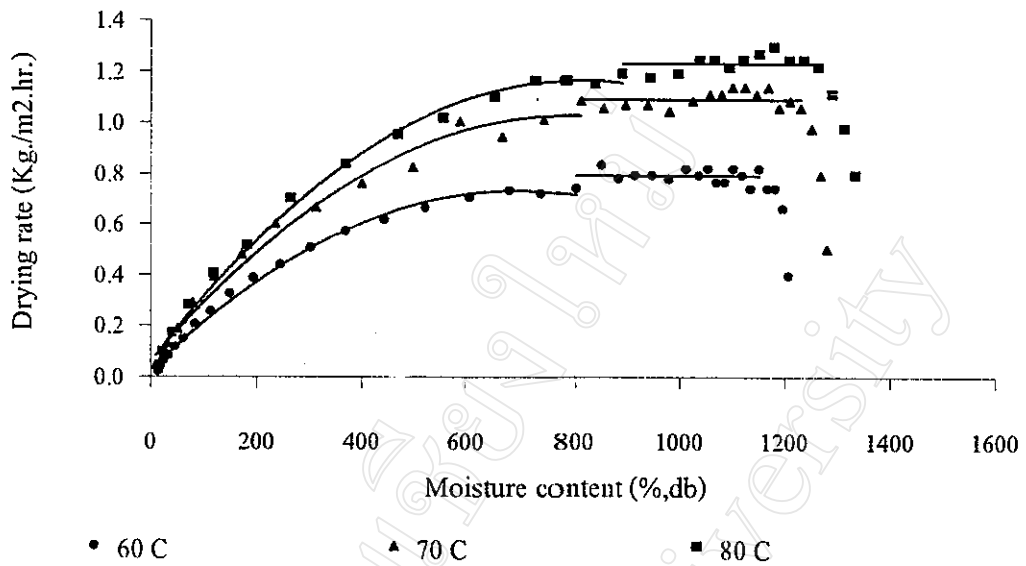
รูปที่ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกของหอมหัวใหญ่ และเวลาอบแห้ง เมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C , 70°C และ 80°C โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาด

4.1.3 อัตราการลดความชื้น

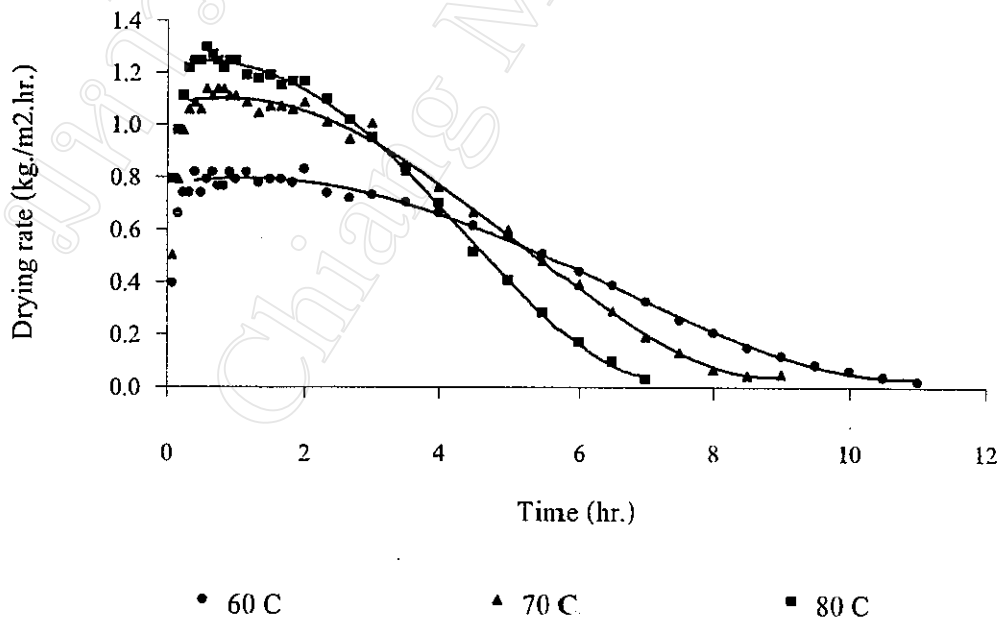
ช่วงแรกของการอบแห้งเป็นช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัตถุดิบ ความร้อนที่ได้รับจากลมร้อนส่วนหนึ่งถูกแบ่งไปใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับตัววัตถุดิบ และความร้อนอีกส่วนหนึ่งไปใช้ในการระเหยความชื้น ทำให้ประสิทธิภาพการระเหยความชื้นทำได้ไม่เต็มที่ปริมาณความชื้นที่ระเหยออกมามีน้อยอัตราการอบแห้งจึงต่ำ จากการทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการลดความชื้นอย่างมากตั้งแต่ชั่วโมงเริ่มต้นของการอบแห้ง โดยอัตราการลดความชื้นจะเพิ่มจาก $0.79 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็น $1.11 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ ภายในเวลา 15 นาที เมื่อใช้อุณหภูมิ 80°C ถ้าใช้อุณหภูมิ 70°C อัตราการลดความชื้นจะเพิ่มจาก $0.50 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็น $0.98 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ ในเวลา 15 นาที และที่อุณหภูมิ 60°C อัตราการลดความชื้นจะเพิ่มจาก $0.40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็น $0.74 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ ในเวลา 30 นาที (ตารางภาคผนวกที่ 1-3)

จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัตถุดิบเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนหอมหัวใหญ่จะมีอัตราการลดความชื้นคงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ช่วงนี้เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ซึ่งช่วงเวลานี้จะขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ กล่าวคือถ้าเป็นที่อุณหภูมิ 80°C จะใช้เวลา 1 ชั่วโมง 15 นาที อัตราการลดความชื้นคงที่ในช่วง $1.23 \pm 0.035 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ การอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C พบว่ามีอัตราการอบแห้งคงที่ในช่วง $11.09 \pm 0.032 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที ส่วนการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ 60°C พบว่าช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ยาวนานที่สุดประมาณ 2 ชั่วโมง มีอัตราการอบแห้งอยู่ในช่วง $0.79 \pm 0.029 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ จากนั้นอัตราการลดความชื้นก็เข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง (รูปที่ 4-3)

ที่ความเร็วลมเท่ากันระดับอุณหภูมิเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการระเหยความชื้นของลมร้อนออกจากหอมหัวใหญ่ ลมร้อนอุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการลดความชื้นได้มากกว่าลมร้อนอุณหภูมิต่ำ ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูงอัตราการลดความชื้นจะสูงมากและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงหลังซึ่งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ทั้งนี้เพราะในการระเหยความชื้นในช่วงแรกเกิดได้เร็วมาก จนทำให้ผิวหน้าของตัวอย่างแห้งก่อนความชื้นที่จะระเหยได้ในช่วงหลังจะต้องระเหยโดยอาศัยกระบวนการแพร่ซึมซึ่งเกิดได้ช้ามากแตกต่างกับการลดความชื้นด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำซึ่งในช่วงแรกการลดความชื้นจะเกิดขึ้นน้อย ทำให้ผิวหน้ายังไม่แห้งมากนัก ส่งผลให้อัตราการลดความชื้นในช่วงหลังยังคงไม่ลดต่ำมาก แต่จะค่อยๆลดลงตามเวลา เมื่อนำค่าอัตราการลดความชื้นมาหาความสัมพันธ์กับเวลาจะเห็นว่าเส้นกราฟการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจะมีความชันของเส้นกราฟมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C และ 60°C ตามลำดับ (รูปที่ 4-4)



รูปที่ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ และความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ และเวลาอบแห้ง เมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาด

จากรูปที่ 4-4 อัตราการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C มีค่าลดลงใกล้เคียงกับอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C ในชั่วโมงที่ 2 และมีค่าลดลงใกล้เคียงกับอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C ในชั่วโมงที่ 4 ผลการทดลองนำไปสู่แนวทางการคิดในการอบแห้งหอมหัวใหญ่แบบลดอุณหภูมิลมร้อน โดยวางแผนการทดลองอบแห้งช่วง 2 ชั่วโมงแรกด้วยอุณหภูมิ 80°C จากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 70°C อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และในชั่วโมงที่ 4 ลดอุณหภูมิเป็น 60°C อบจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

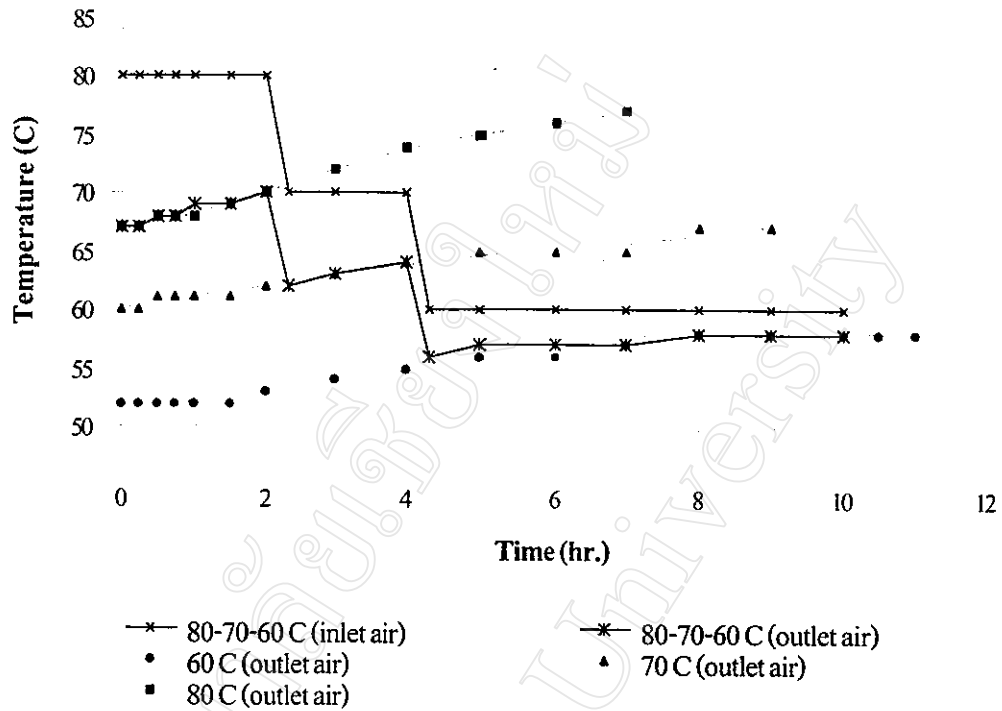
4.1.4 การอบแห้งด้วยวิธีการลดอุณหภูมิลมร้อน

4.1.4.1 อุณหภูมิขาออก

การลดอุณหภูมิลมร้อน เริ่มจากการใช้อุณหภูมิ 80°C ใน 2 ชั่วโมงแรก 70°C ใน 2 ชั่วโมงต่อไป และ 60°C อบต่อจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

ในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยลมร้อนขาเข้า 80°C พบว่าอุณหภูมิขาออกค่อยๆ เพิ่มขึ้นเหมือนกับ 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิกึ่งที่ 80°C (รูปที่ 4-5) คือเพิ่มจาก 67°C เป็น 70°C ในชั่วโมงที่ 2 จากนั้นทำการลดอุณหภูมิขาเข้าลงเหลือ 70°C พบว่าอุณหภูมิขาออกมีค่าลดลงมาเท่ากับระดับอุณหภูมิขาออกของการทดลองที่ใช้อุณหภูมิกึ่งที่ 70°C คือมีอุณหภูมิขาออก 63°C และ 64°C ในชั่วโมงที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ต่อมาหลังชั่วโมงที่ 4 ได้ลดอุณหภูมิขาเข้าลงอีกเป็น 60°C พบว่าอุณหภูมิขาออกก็ลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิขาออกของการทดลองที่ใช้อุณหภูมิกึ่งที่ 60°C โดยหลังจากลดอุณหภูมิขาเข้าลงแล้วพบว่าอุณหภูมิขาออกลดลงเหลือ 56°C และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองมีอุณหภูมิขาออก 58°C (ตารางภาคผนวกที่ 1-4)

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยวิธีการลดอุณหภูมิไม่มีผลให้อุณหภูมิลมร้อนขาออกแตกต่างไปจากการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิกึ่งที่ ระดับอุณหภูมิขาออกยังคงสอดคล้องกับระดับอุณหภูมิขาเข้า ณ เวลาอบแห้งนั้นๆ



รูปที่ 4-5 กราฟอุณหภูมิอากาศขาเข้า และอุณหภูมิอากาศขาออกในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C , 70°C , 80°C และการลดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด

4.1.4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้น

หอมหัวใหญ่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 92.03-92.38% ในการทดลองอบแห้งแบบลดอุณหภูมิต้องใช้เวลา 11 ชั่วโมง 15 นาที เพื่อลดความชื้นให้เหลือประมาณ 12%(w.b.) ซึ่งใช้เวลาไม่แตกต่างกับการทดลองอบด้วยอุณหภูมิกองที่ 60°C กราฟรูปที่ 4-6 เป็นการเปรียบเทียบการลดความชื้นของการทดลองอบแห้งด้วยอุณหภูมิกองที่ 60°C , 70°C , 80°C และการอบแบบลดอุณหภูมิตพบ่าช่วง 2 ชั่วโมงแรกที่อบด้วยอุณหภูมิกองที่ 80°C หอมหัวใหญ่หันมีเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นคล้ายกับการทดลองอบด้วยอุณหภูมิกองที่ 80°C เมื่อลดอุณหภูมิลงเป็น 70°C ในชั่วโมงที่ 3 และ 4 เส้นกราฟความชื้นเริ่มแยกตัวออกจากเส้นกราฟการอบแห้งอุณหภูมิกองที่ 80°C และเข้าใกล้เส้นกราฟการอบแห้งอุณหภูมิกองที่ 70°C แสดงว่าเมื่อลดอุณหภูมิกองอบลงอัตราการลดความชื้นก็จะลดลง แต่อย่างไรก็ตามหอมหัวใหญ่ที่อบแบบลดอุณหภูมิกองก็ยังคงมีความชื้นต่ำกว่าการอบด้วยอุณหภูมิกองที่ 70°C และเมื่อลดอุณหภูมิลงอีกครั้งเป็น 60°C ปรากฏว่าเส้นกราฟความชื้นเริ่มเข้าใกล้เส้นกราฟการอบแห้งอุณหภูมิกองที่ 70°C และตัดกันที่ประมาณชั่วโมงที่ 6 แสดงว่าทั้ง 2 การทดลอง

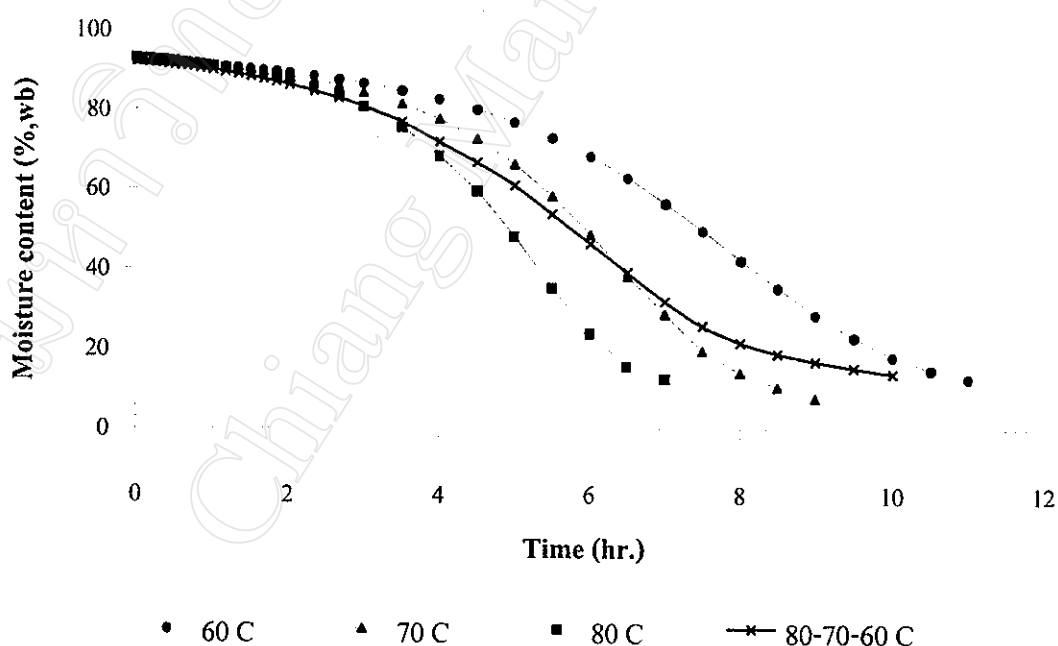
หอมหัวใหญ่มีความชื้นเท่ากัน และจากนั้นหอมหัวใหญ่ที่อบด้วยอุณหภูมิคงที่ 70°C จะมีความชื้นลดลงมากกว่าการอบแบบลวดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีความชื้นต่ำกว่าการอบด้วยอุณหภูมิกคงที่ 60°C จนกระทั่งอบเป็นเวลา 11 ชั่วโมง 15 นาที ความชื้นจะลดลงมาประมาณ 12%(w.b.) ซึ่งจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ไม่ได้แตกต่างกับการทดลองอบด้วยอุณหภูมิกคงที่ 60°C แม้ว่าในช่วงต้นการทดลองการอบแบบลวดอุณหภูมิจะมีความชื้นลดต่ำกว่าการอบด้วยอุณหภูมิกคงที่ 60°C แต่ในช่วงท้ายจะเห็นว่าอัตราการลดความชื้นทำได้ช้าลงเนื่องจากน้ำที่เหลืออยู่เป็นน้ำที่อยู่ภายในชั้นหอมหัวใหญ่จึงต้องใช้เวลานานกว่าที่จะเคลื่อนย้ายออกมาภายนอกได้ และช่วงเวลานี้เองที่หอมหัวใหญ่ที่อบด้วยอุณหภูมิกคงที่ 60°C สามารถลดความชื้นลงมาได้ทันกับการอบแบบลวดอุณหภูมิ

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาอบแห้ง เป็นไปตามสมการดังนี้

$$y = 0.007x^2 - 0.2141x + 1.3587 \quad (R^2 = 0.9651)$$

โดยค่า x คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

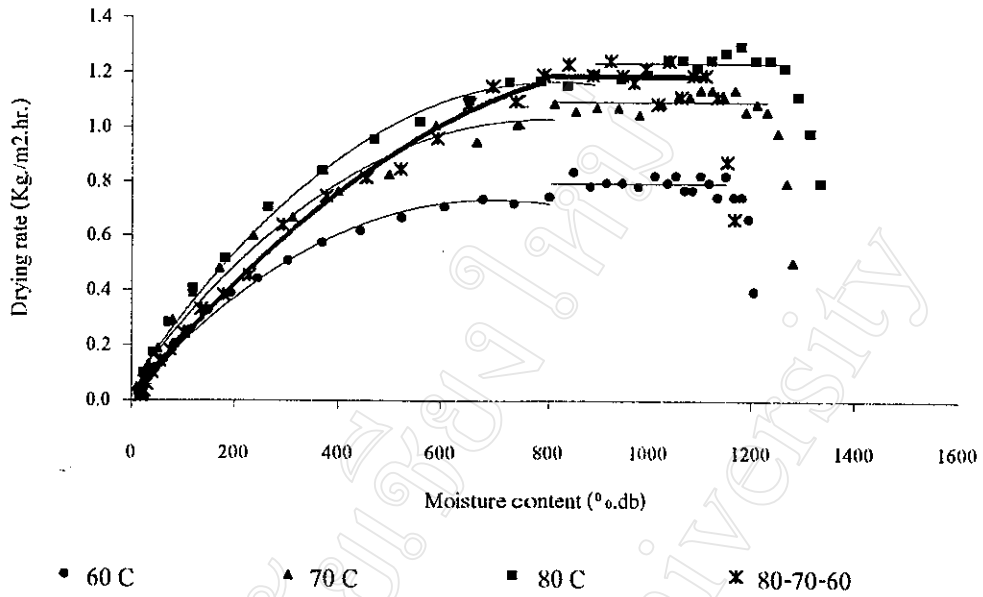
y คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)



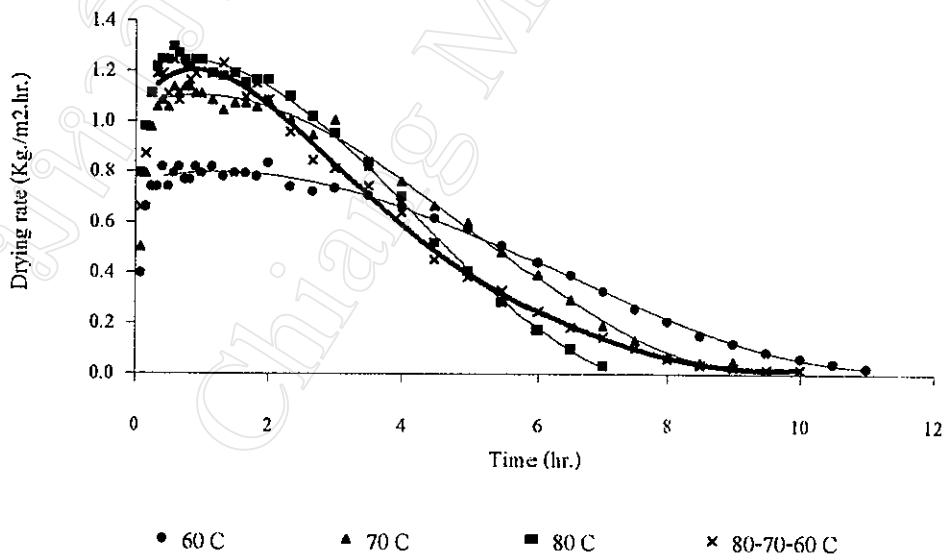
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกของหอมหัวใหญ่ และเวลาอบแห้งเมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 70°C 80°C และการอบแบบลวดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด

4.1.4.3 อัตราการลดความชื้น

การอบแห้งหอมหัวใหญ่แบบลดอุณหภูมิ ใน 2 ชั่วโมงแรกเป็นการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C หอมหัวใหญ่ใช้เวลาในการปรับอุณหภูมิ 15 นาที อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก $0.66 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็น $1.11 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ (ตารางภาคผนวกที่ 1-5) จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (constant rate period) มีอัตราการอบแห้งคงที่ในช่วง $1.19 \pm 0.049 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ เป็นเวลา 11 ชั่วโมง 15 นาที พฤติกรรมเช่นนี้เหมือนกับที่พบในการทดลองอบด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 80°C จากนั้นหอมหัวใหญ่มีอัตราการลดความชื้นเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง อัตราการลดความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ (รูปที่ 4-7) เมื่อลดอุณหภูมิลงเป็น 70°C ในช่วงชั่วโมงที่ 2-4 พบว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่มีค่าลดลงมาใกล้เคียงกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 70°C และลดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที อัตราการลดความชื้นได้ลดลงมาเท่ากับการอบด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 60°C หลังชั่วโมงที่ 4 ลดอุณหภูมิลงเป็น 60°C อัตราการลดความชื้นยังคงลดลงเรื่อยๆ (รูปที่ 4-8) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งแบบลดอุณหภูมิในช่วงแรกอบแห้งด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 80°C หอมหัวใหญ่ได้สูญเสียความชื้นที่อยู่ภายนอกไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ในช่วงหลังหอมหัวใหญ่แห้งมีความชื้นเหลืออยู่น้อยซึ่งเป็นความชื้นที่อยู่ภายในชั้นหอมหัวใหญ่ การดึงความชื้นออกกระทำได้ยาก ต้องใช้เวลานาน ขณะเดียวกันที่การอบด้วยอุณหภูมิกึ่งที่ 60°C ยังคงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่า สามารถลดความชื้นลงมาได้ทัน แต่เมื่อถึงช่วงท้ายของการอบแห้งที่มีปริมาณความชื้นเหลืออยู่น้อย จะเห็นว่าอัตราการลดความชื้นทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการลดความชื้นแบบลดอุณหภูมิจจะมีประโยชน์ในการเร่งเวลาการอบแห้งเฉพาะกรณีการอบแห้งที่ไม่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำมาก แต่สำหรับการอบแห้งที่ต้องการผลิตภัณฑ์ความชื้นต่ำการลดความชื้นแบบลดอุณหภูมิจจะไม่ช่วยเร่งเวลาอบแห้งได้ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Lewicki et al.(1998) ที่ได้ทดลองอบหอมหัวใหญ่แบบแผ่น โดยการลดอุณหภูมิจึงพบที่ใช้เวลาในการอบนานกว่าการอบที่อุณหภูมิกึ่งที่ 60°C



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ และความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C, 70°C, 80°C และการอบแบบลดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาด



รูปที่ 4-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่แห้ง และเวลาอบแห้ง เมื่ออบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C, 70°C, 80°C และการอบแบบลดอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาด

4.1.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาคือ สีของหอมหัวใหญ่หลังการอบแห้งวัดด้วยเครื่องวัดสี แสดงผลเป็นค่า L, a และ b และ ค่า Water activity (A_w)

4.1.5.1 ค่าสีหอมหัวใหญ่หลังอบแห้ง

การอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันมีผลให้สีของหอมหัวใหญ่อบแห้งแตกต่างกัน จากการสังเกตด้วยตาพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงมีผลให้หอมหัวใหญ่มีสีเข้มกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C หอมหัวใหญ่ที่ได้มีค่า L (ค่าความสว่างของสี) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C และ 70°C โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C มีค่า L คือ 62.80 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C และ 70°C ซึ่งมีค่า L คือ 67.00 และ 67.02 ตามลำดับ แสดงว่าผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่ที่อบด้วยอุณหภูมิ 80°C มีความสว่างน้อยกว่าผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่ที่อบด้วยลมร้อน 60°C และ 70°C ส่วนหอมหัวใหญ่ที่อบด้วยวิธีการลดอุณหภูมิพบว่ามีความสว่างมากกว่าการอบที่อุณหภูมิ 80°C แต่มีสีเข้มกว่าการอบที่อุณหภูมิ 70°C และ 60°C โดยมีค่า L คือ 65.30

จากการสังเกตด้วยตาพบว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้ามีสีเข้มใกล้เคียงกับสีของหอมหัวใหญ่ที่ใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 80°C และจากผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ระหว่างหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้าและหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 80°C หอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้ามีค่า L คือ 62.37 ส่วนหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C มีค่า L คือ 62.80 (ตารางที่ 4-1)

ค่า a เป็นตัวแทนของสีแดง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การอบแห้งทุกวิธีได้ผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่ที่มีค่า a ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้า ซึ่งมีค่า a สูงมากคือ 5.15 การอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิ 80°C ได้หอมหัวใหญ่ที่มีค่า a คือ 2.26 ซึ่งมีค่า a สูงกว่าหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า คือการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C , 70°C และการอบแบบลดอุณหภูมิ ซึ่งการอบทั้ง 3 แบบนี้ได้หอมหัวใหญ่ที่อบแห้งที่มีค่า a ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่า a คือ 0.78 , 0.44 และ 0.77 ตามลำดับ

ส่วน ค่า b เป็นตัวแทนของสีเหลือง จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าหอมหัวใหญ่ที่อบด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C มีค่า b ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้า โดยมีค่า b คือ 17.83 และ 17.63 ตามลำดับ การอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C และ 70°C ได้หอมหัวใหญ่ที่มีค่า b คือ 16.31 และ 16.29 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($P < 0.05$) กับหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C และหอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้า ส่วนหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยวิธีการลดอุณหภูมิมีค่า b คือ 17.00

สรุปผลการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิกองที่ 60°C และ 70°C ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่า L , a และ b ไม่แตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิกองที่ 80°C และการอบแบบลดอุณหภูมิ ซึ่งการอบด้วยอุณหภูมิกองที่ 80°C ได้ค่าสีที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด โดยมีค่า L และ ค่า b ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ส่วนค่า a นั้นนับได้ว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิกองที่ 80°C เป็นวิธีที่ทำให้ได้ค่า a ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด

ตารางที่ 4-1 การวิเคราะห์ค่าการวัดสี (ค่า L , a และ b) ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง ที่ชั้นความหนา 1 cm ด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด

Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	color		
	L	a	b
60	67.00 ± 0.84 c	0.78 ± 0.25 a	16.31 ± 0.22 a
70	67.02 ± 0.31 c	0.44 ± 0.17 a	16.29 ± 0.59 a
80	62.80 ± 0.75 a	2.26 ± 0.59 b	17.83 ± 0.41 b
80-70-60	65.30 ± 0.92 b	0.77 ± 0.19 a	17.00 ± 0.85 ab
commercial	62.37 ± 0.62 a	5.15 ± 0.32 c	17.63 ± 0.20 b

หมายเหตุ: ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1.5.2 ค่า Water activity (A_w)

ผลการตรวจวัดค่า A_w ทั้ง 4 การทดลอง คือการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิกองที่ 60°C , 70°C , 80°C และวิธีลดอุณหภูมิลมร้อน พบว่าทุกการทดลองมีค่า A_w ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า (ตารางที่ 4-2) ผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งมีค่า A_w ที่ต่ำซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.43 - 0.52 โอกาสที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งไพโรจน์ (2539) กล่าวว่า การที่ค่า A_w ต่ำนั้นสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ยกเว้นจุลินทรีย์ที่ทนแล้งสามารถที่จะเจริญได้

ตารางที่ 4-2 การวิเคราะห์ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก และค่า A_w ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง ที่ชั้นความหนา 1 cm ด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้า ประเภทถาด

Temperature (°C)	Moisture content (%, wb)	A_w
60	12.73 ± 1.94 ns	0.51 ± 0.05 ns
70	10.51 ± 3.34 ns	0.43 ± 0.11 ns
80	12.73 ± 1.94 ns	0.51 ± 0.50 ns
80-70-60	13.83 ± 3.60 ns	0.52 ± 0.01 ns
commercial	12.33 ± 0.47 ns	0.50 ± 0.01 ns

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาเบื้องต้นด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าประเภทถาดพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิคงที่ 80°C น่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นที่สุด และจากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพก็ชี้ให้เห็นว่าการอบด้วยลมร้อน 80°C จะได้ผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้ามากที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานที่โรงงานระบุมากที่สุด แต่ทั้งนี้ยังไม่อาจสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิคงที่ 80°C จะเหมาะสำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนต่อไป

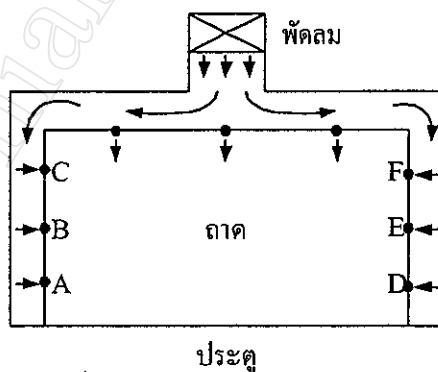
สำหรับการอบแห้งแบบลวดอุณหภูมิลมร้อนต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิคงที่ 80°C ถึง 3 ชั่วโมง และคุณภาพที่ได้ก็ไม่ได้ตามที่โรงงานต้องการ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเลือกช่วงเวลาในการลวดอุณหภูมิแต่ละขั้นยังไม่เหมาะสม

4.2 ศึกษาการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการลมร้อน (Alternate hot air dryer) ชนิดถาดใช้แก๊สเป็นแหล่งพลังงานความร้อน

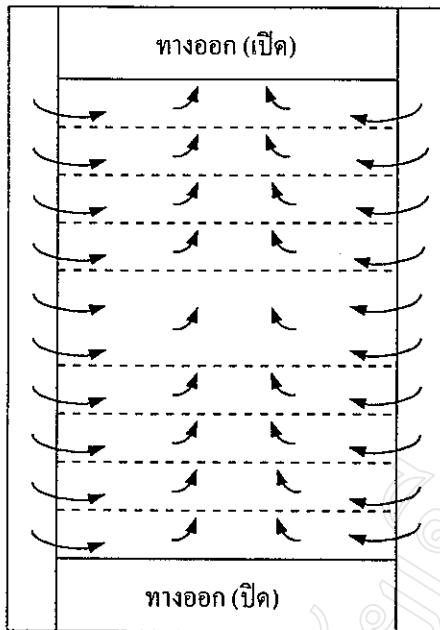
ศึกษาการลดความชื้นชิ้นหอมหัวใหญ่ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดชนิดสลับทิศทางการลมร้อน ทดสอบ 2 ปัจจัย 3 ระดับ ปัจจัยแรกคือชั้นความหนาของวัตถุดิบ 1 1.25 และ 1.5 cm ซึ่งมีปริมาณการบรรจุ (loading density) 5.67 7.09 และ 8.50 kg/m² อบแห้งด้วยลมร้อนที่มีแก๊สเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน ปัจจัยที่ 2 คืออุณหภูมิลมร้อน 60°C 70°C และ 80 °C ลมร้อนมีความเร็วลมโดยเฉลี่ย 0.46 m/s

4.2.1 การกระจายลมในห้องอบแห้ง

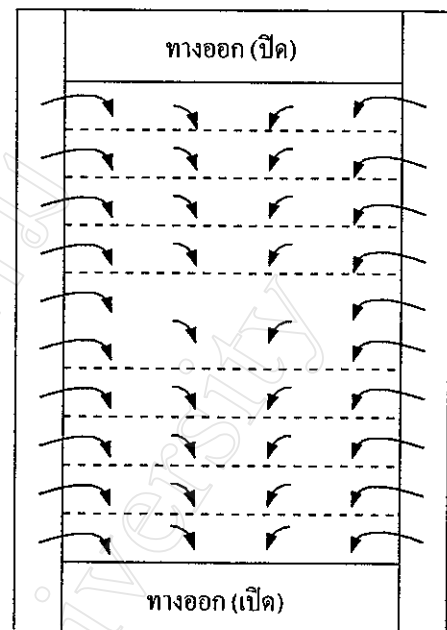
ทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายลม ด้วยการวัดความเร็วลมแต่ละชั้นขณะที่ไม่มีวัตถุดิบอยู่ กำหนดจุดวัดความเร็วลมแบ่งเป็นด้านซ้ายมือ และขวามือของผู้ทดลอง ด้านซ้ายมือประกอบด้วยจุดวัด 3 จุดคือ จุด A B และ C ด้านขวามือประกอบด้วยจุดวัด 3 จุดเช่นกันคือจุดวัด D E และ F จุดวัด A และ D เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้ประตู ส่วนตำแหน่ง B และ E อยู่ในตำแหน่งตรงกลางของริมถาดทั้ง 2 ด้าน ตำแหน่ง C และ F เป็นตำแหน่งที่อยู่ด้านในสุดติดกับผนังด้านหลังของตู้ (รูปที่ 4-9 ก) การทดลองกระทำ 2 รูปแบบ รูปแบบแรกกำหนดให้อากาศออกไหลออกทางด้านบน เรียกว่า “ลมขึ้น” (รูปที่ 4-9 ข) รูปแบบที่ 2 กำหนดให้อากาศออกไหลออกทางด้านล่าง เรียกว่า “ลมลง” (รูปที่ 4-9 ค)



(ก) Top view



(ข) Front view เมื่อลมขาออกมีทิศขึ้น



(ค) Front view เมื่อลมขาออกมีทิศลง

รูปที่ 4-9 ตำแหน่งการวัดการกระจายลม (ก) และทิศทางการไหลของลมในตู้อบแห้ง (ข, ค)

4.2.1.1 เมื่อลมขาออกมีทิศขึ้น (ลมขึ้น)

การกระจายลมภายในห้องอบไม่ค่อยดีนัก จากตารางที่ 4-3 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยความเร็วลมด้านซ้ายมีค่า 0.56 m/s ซึ่งมากกว่าด้านขวา (0.37 m/s) เนื่องจากลมขาเข้าที่แบ่งไปด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณาการกระจายลมในแต่ละชั้นพบว่าชั้นที่อยู่ในโซนกลาง คือ ชั้นที่ 3, 4, 5 และ 6 มีการกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังจะเห็นว่าความเร็วลมทั้ง 6 จุด คือ จุด A, B, C, D, E และ F แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ชั้นที่ค่อนข้างมีปัญหาคือ ชั้นที่อยู่ห่างออกไปจากช่องลมเข้าคือ ชั้นที่ 1, 2, 7 และ 8 เนื่องจากตำแหน่งช่องลมเข้าอยู่กลางตู้อบ มีผลให้ความเร็วลมด้านใน คือตำแหน่ง C และ F มีค่าต่ำประมาณ 0.1 m/s . ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุคิบที่อยู่ด้านในแห้งช้ากว่าจุดอื่นๆ

4.2.1.2 เมื่อลมขาออกมีทิศลง (ลมลง)

จากการทดลองพบว่าทิศทางการไหลของลมขาออกไม่ค่อยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในตู้อบ ความเร็วลมในแต่ละจุดยังคงมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วลมกรณีลมขึ้น ดังตารางที่ 4-4 จะเห็นว่าความเร็วลมขาออกเฉลี่ยเมื่อลมมีทิศลงมีค่า 0.45 m/s เมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นลมขึ้นพบว่าความเร็วลมขาออกเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.46 m/s (ตารางที่ 4-3)

การกระจายลมภายในตู้อบเมื่อลมขาออกมีทิศทางมีลักษณะคล้ายกับการกระจายลมในตู้อบเมื่อลมขาออกมีทิศขึ้น โดยการแบ่งลมไปทางด้านซ้ายและขวายังคงไม่เท่ากันการกระจายลมลักษณะนี้มีผลให้วัตถุติดด้านซ้ายแห้งก่อนด้านขวา นอกจากนี้ยังพบว่าชั้นที่ 1, 2, 7 และ 8 ตำแหน่งบริเวณด้านในคือจุด C และ F ยังคงมีความเร็วลมต่ำมีค่าประมาณ 0.1 m/s.

ตารางที่ 4-3 ค่าความเร็วลมในแต่ละชั้นเมื่อลมขาออกมีทิศขึ้น

ชั้น	ความเร็วลม (m/s)							
	ผนังตู้ด้านซ้าย				ผนังตู้ด้านขวา			
	A	B	C	เฉลี่ย	D	E	F	เฉลี่ย
1	0.5	0.5	0.2	0.40	0.2	0.2	0.1	0.17
2	0.9	0.7	0.1	0.57	0.4	0.3	0.1	0.27
3	0.5	0.7	0.6	0.60	0.4	0.5	0.3	0.40
4	0.6	0.7	0.7	0.67	0.5	0.5	0.4	0.47
ช่องว่าง	0.7	0.7	0.8	0.73	0.4	0.6	0.3	0.43
5	0.7	0.7	0.6	0.67	0.6	0.5	0.2	0.43
6	0.4	0.8	0.4	0.53	0.5	0.4	0.3	0.40
7	0.6	0.7	0.1	0.47	0.5	0.4	0.1	0.33
8	0.5	0.5	0.1	0.37	0.6	0.5	0.1	0.40
เฉลี่ย	0.60	0.67	0.40	0.56	0.46	0.43	0.21	0.37
เฉลี่ยลมขึ้น	0.46							

ตารางที่ 4-4 ค่าความเร็วลมในแต่ละชั้นเมื่อลมขาออกมีทิศลง

ชั้น	ความเร็วลม (m/s)							
	ผนังตู้ด้านซ้าย				ผนังตู้ด้านขวา			
	A	B	C	เฉลี่ย	D	E	F	เฉลี่ย
1	0.5	0.5	0.1	0.37	0.2	0.2	0.1	0.17
2	1.0	0.7	0.1	0.60	0.4	0.2	0.1	0.23
3	0.5	0.7	0.5	0.57	0.4	0.5	0.2	0.37
4	0.6	0.7	0.7	0.67	0.5	0.5	0.3	0.43
ช่องว่าง	0.7	0.7	0.8	0.73	0.3	0.6	0.2	0.37
5	0.6	0.7	0.6	0.63	0.5	0.6	0.2	0.43
6	0.5	0.8	0.5	0.60	0.5	0.4	0.2	0.37
7	0.5	0.7	0.1	0.43	0.5	0.5	0.1	0.37
8	0.5	0.5	0.1	0.37	0.6	0.5	0.1	0.40
เฉลี่ย	0.60	0.67	0.39	0.55	0.43	0.44	0.17	0.35
เฉลี่ยลมลง	0.45							

4.2.2 อุณหภูมิลมร้อนขาออก

ในช่วงแรกของการอบแห้งระดับอุณหภูมิลมร้อนที่ออกมาจากห้องอบแห้งมีค่าลดลงจากระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามาก การอบแห้งหอมหัวใหญ่ระดับชั้นความหนา 1 cm ด้วยลมร้อนขาเข้า 60°C 70°C และ 80°C อุณหภูมิขาออกมีค่าลดลงเหลือ 42.5°C 45.5°C และ 52.5°C ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 1-6) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรกวัสดุคิบบยังมีอุณหภูมิปกติ (อุณหภูมิห้อง) จึงต้องใช้ความร้อนสูงในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุคิบบ อีกทั้งปริมาณความชื้นในห้องอบมีอยู่มากทำให้ลมร้อนขาออกมีความชื้นสูงและเย็นลงอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิขาออกจึงลดลงจากแรกเข้ามามาก ลักษณะเช่นนี้คล้ายกับพฤติกรรมที่พบในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้า

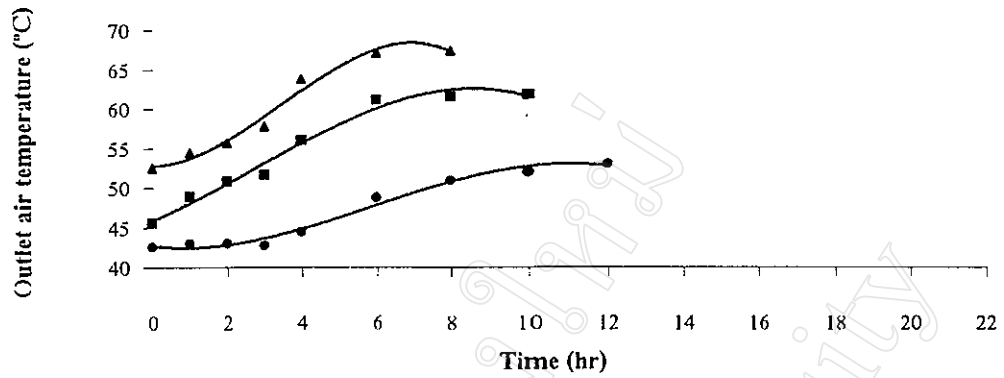
เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินไปเรื่อยๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิลมร้อนขาออกกับอุณหภูมิลมร้อนแรกเข้าลดน้อยลงตามระยะเวลาการอบแห้ง อุณหภูมิลมร้อนจะสูงขึ้น ดังกราฟรูปที่ 4-10 และ 4-11 จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิขาออกจะเพิ่มขึ้น เส้นกราฟมีลักษณะเฉียงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยิ่งอบนานขึ้นปริมาณความชื้นของหอมหัวใหญ่ยิ่งลดลงส่งผลให้ความชื้นที่ถ่ายเทออกสู่อากาศมีน้อยลง ลมร้อนขาออกจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น

การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิแตกต่างกันมีผลให้อุณหภูมิลมร้อนขาออกแตกต่างกัน ตั้งแต่เนาที่แรกของการอบแห้งจนกระทั่งชั่วโมงสุดท้าย โดยที่ระดับความหนาเดียวกันการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูง 80°C ลมร้อนขาออกจะมีอุณหภูมิสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C พิจารณากราฟรูปที่ 4-10 จะเห็นว่าเส้นกราฟอุณหภูมิลมร้อนขาออกของการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C จะอยู่เหนือเส้นกราฟเส้นอื่นๆ และเส้นกราฟที่อยู่ถัดมาคือเส้นกราฟอุณหภูมิลมร้อนขาออกของการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ 60°C เส้นกราฟจะอยู่ใต้เส้นกราฟเส้นอื่นๆ เสมอ

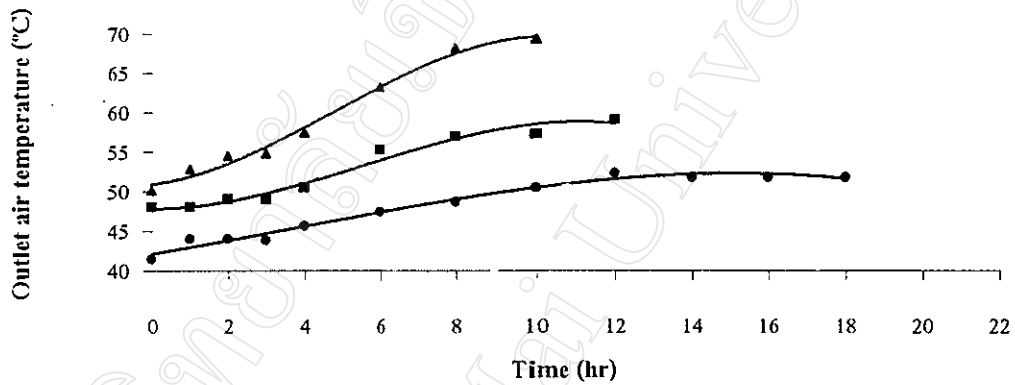
นอกจากนี้ยังพบอีกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาออกก็แตกต่างกันอีกด้วย พิจารณาได้จากความชันของเส้นกราฟของการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C มีความชันมากกว่าเส้นกราฟการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C ตามลำดับ แสดงว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของวัสดุคิบบได้เร็วกว่าลมร้อนอุณหภูมิต่ำดังจะเห็นว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C ใช้เวลาน้อยกว่า 70°C และ 60°C ตามลำดับ

ไม่เพียงแต่ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลมร้อนขาออก ระดับชั้นความหนา ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลมร้อนขาออกอีกด้วย แต่อิทธิพลของความหนาจะยังไม่แสดงให้เห็นในช่วงแรกๆ ดังกราฟรูปที่ 4-11 จะเห็นว่าในช่วงแรกของการทดลองการอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1 cm , 1.25 cm และ 1.50 cm มีเส้นกราฟที่ทับกัน แต่เมื่ออบแห้งต่อไปอีกระยะหนึ่งไม่นานนักก็จะเห็นว่าเส้นกราฟเริ่มแยกออกจากกัน

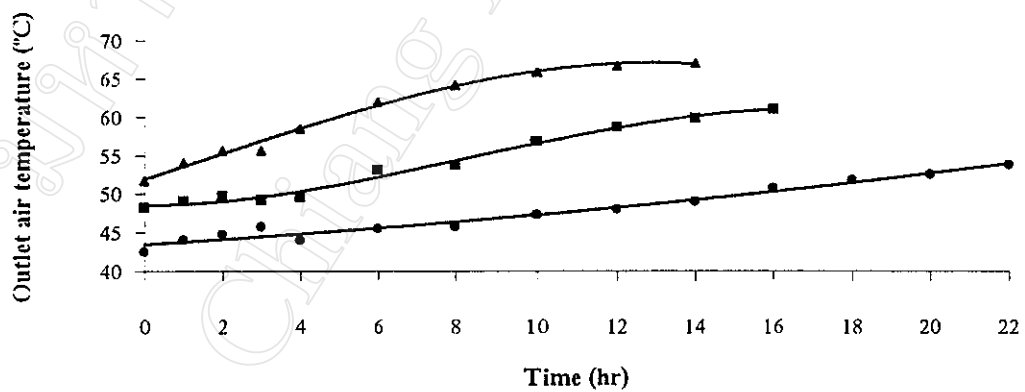
โดยเส้นกราฟการอบแห้งที่ชั้นความหนา 1 cm (การอบแบบชั้นบาง) จะแยกออกไปอยู่เหนือเส้นกราฟ การอบแห้งชั้นความหนา 1.25 cm และ 1.50 cm ตามลำดับ โดยเส้นกราฟการอบแห้งที่ชั้นความหนา 1 cm มีความชันมากกว่าเส้นกราฟการอบแห้งชั้นความหนา 1.25 cm และ 1.50 cm ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการบรรจุวัตถุดิบมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนในห้องอบแห้งสุวัตถุดิบ การอบแห้งแบบชั้นบางลมร้อนสามารถเข้าไปสัมผัสวัตถุดิบได้ทั่วถึงเนื่องจากมีช่องว่างระหว่างชั้นมาก พื้นที่สัมผัสอากาศร้อนจึงมีมาก แต่เมื่อใส่วัตถุดิบมากขึ้นมีผลให้ความหนาแน่นของวัตถุดิบในถาดเพิ่มมากขึ้น ช่องว่างระหว่างชั้นวัตถุดิบจะลดลง พื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศร้อนลดลงเท่ากับพื้นที่ถาด โอกาสที่ลมร้อนเข้าไปสัมผัสชั้นวัตถุดิบจึงมีน้อย นอกจากนี้ระดับชั้นความหนายังสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในห้องอบแห้ง การบรรจุหอมหัวใหญ่หั่นด้วยชั้นความหนาหลายๆ เป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นในห้องอบแห้งให้มีมากขึ้น ทำให้ภาวะของลมร้อนในการนำความชื้นออกจากห้องอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.50 cm มีอุปสรรคในเรื่องของความต้านทานการถ่ายเทความร้อน และปริมาณความชื้นในห้องอบมากกว่าการอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.25 cm และ 1 cm ตามลำดับ



(ก)



(ข)



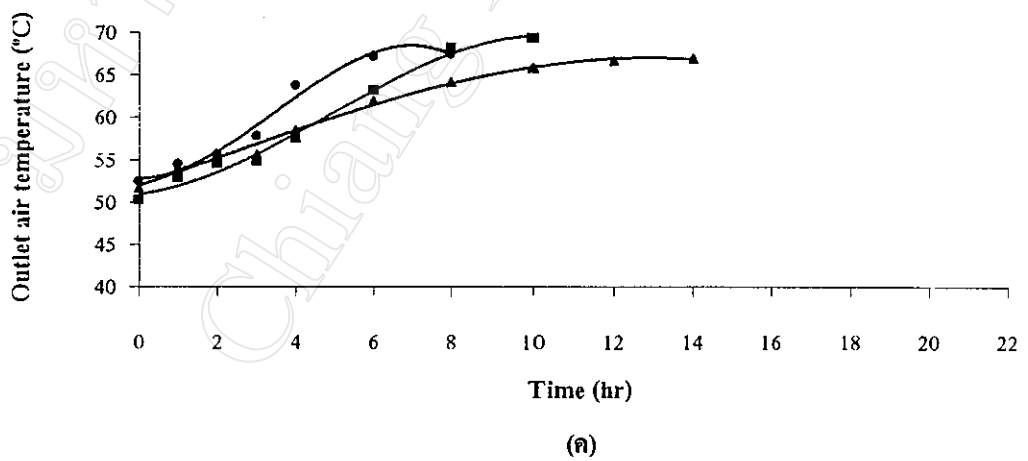
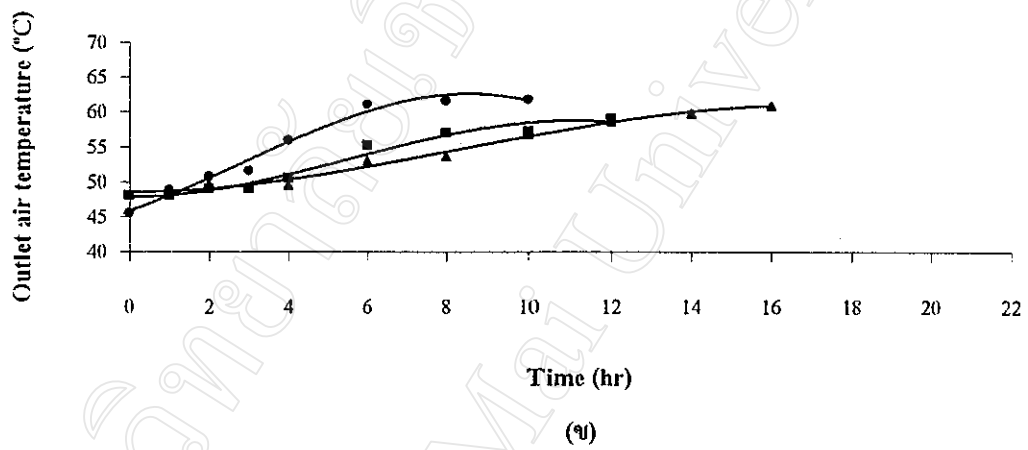
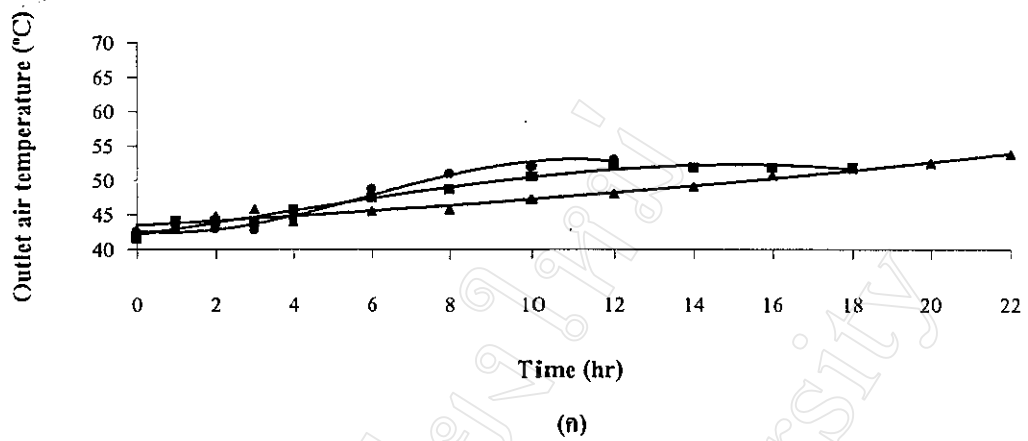
(ค)

• 60 C

■ 70 C

▲ 80 C

รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออก และเวลาอบแห้งหอมหัวใหญ่ ที่ชั้นความหนา 1cm (ก) 1.25cm (ข) 1.50cm (ค) ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางการลมร้อน



• 1 cm. ■ 1.25 cm. ▲ 1.5 cm.

รูปที่ 4-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาออก และเวลาอบแห้งหอมหัวใหญ่ เมื่ออบที่ชั้นความหนา 1 cm 1.25 cm และ 1.50 cm ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C (ก) 70°C (ข) และ 80°C (ค) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน

4.2.3 อัตราการลดความชื้น

4.2.3.1 อิทธิพลของตำแหน่งถาด

ความชื้นเริ่มต้นของหอมหัวใหญ่ก่อนอบแห้งมีค่า 92.53-94.23% (wb.) เมื่อเข้าสู่กระบวนการลดความชื้นหอมหัวใหญ่มีการสูญเสียความชื้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง จากการสังเกตระหว่างการอบแห้งพบว่าหอมหัวใหญ่ที่อยู่ในถาดเดียวกันมีลักษณะการแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ ถาดลดความชื้นทั้งหมด หอมหัวใหญ่ที่อยู่ตำแหน่งใกล้ช่องทางลมเข้าจะมีความชื้นลดลงมากกว่าหอมหัวใหญ่ที่อยู่ตำแหน่งกลางถาด ทั้งนี้เป็นผลมาจากลมร้อนบริเวณใกล้กับช่องทางลมเข้ามีความเร็วลมมาก และเป็นลมใหม่ที่มีความชื้นต่ำจึงสามารถรับความชื้นจากหอมหัวใหญ่แห้งได้มากทำให้ลมร้อนมีความชื้นสูงขึ้นและอุณหภูมิลดต่ำลง เมื่อผ่านไปถึงบริเวณกลางถาดประสิทธิภาพการรับความชื้นจึงลดลงอีกทั้งความเร็วลมก็ลดลงทำให้เกิดความชื้นสะสมของอากาศบริเวณกลางถาด ต้องอาศัยเวลาให้ความชื้นบริเวณริมถาดลดลงมากพอ จึงจะสามารถถ่ายเทความชื้นบริเวณกลางถาดออกไปได้มากขึ้น

นอกจากความไม่สม่ำเสมอของการลดความชื้นภายในถาดแล้ว ยังพบอีกว่าการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ในถาดแต่ละชั้นก็ไม่สม่ำเสมออีกด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากการสลับทิศทางลมร้อน จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้าจะเห็นว่าในช่วงอัตราการอบแห้งลดความชื้นหอมหัวใหญ่มีอัตราการลดความชื้นที่แปรผันไปตามปริมาณความชื้นในวัตถุดิบถ้าวัตถุดิบมีความชื้นสูงอัตราการลดความชื้นก็จะสูงด้วย แต่สำหรับการอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนมีลักษณะการลดความชื้นที่แตกต่างออกไป อัตราการลดความชื้นไม่เพียงแปรผันไปตามปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเท่านั้นยังขึ้นอยู่กับทิศทางลมร้อนระหว่างกระบวนการอบแห้งอีกด้วย จากกราฟในรูปที่ 4-12 ถึง 4-14 ซึ่งให้เห็นว่าแม้ความชื้นในวัตถุดิบยังคงสูงอยู่แต่อัตราการลดความชื้นอาจลดลงได้และอาจกลับเพิ่มสูงขึ้นได้อีก

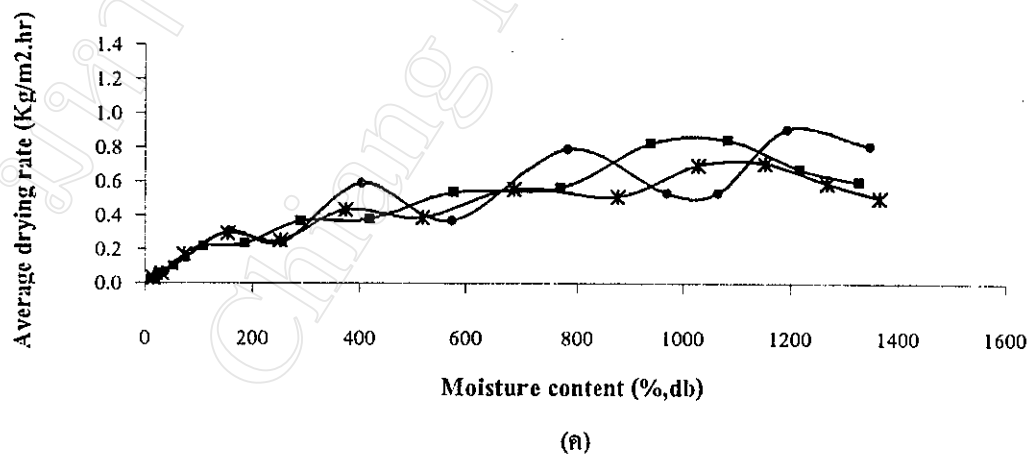
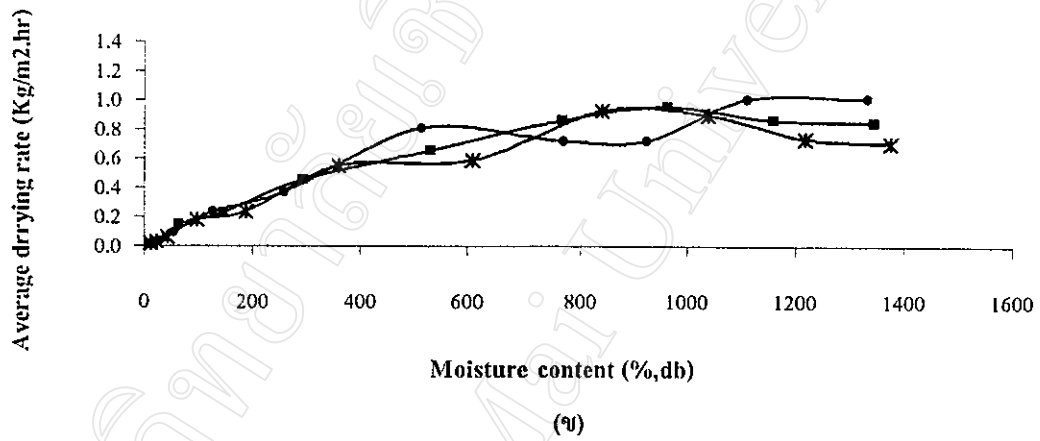
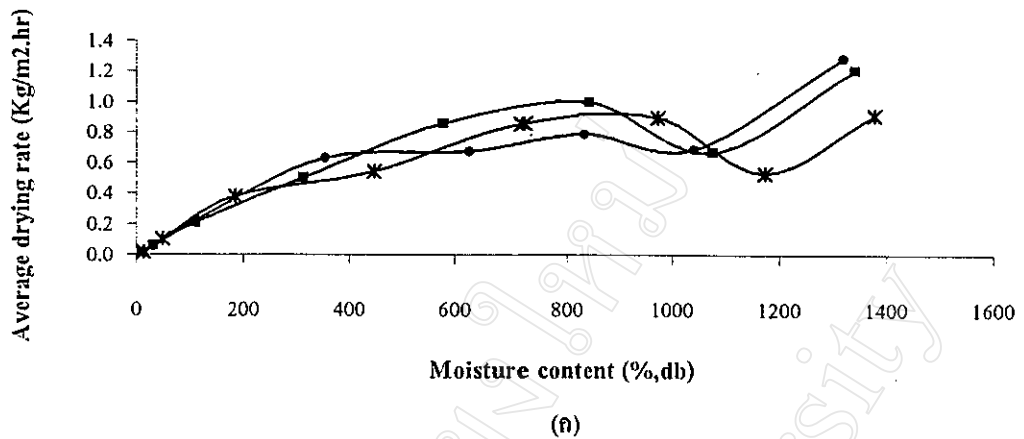
จากลักษณะการลดความชื้นที่แตกต่างกันนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มถาดชั้นบน (ชั้นที่ 1 และ 2) กลุ่มถาดชั้นกลาง (ชั้นที่ 3, 4, 5 และ 6) และกลุ่มถาดชั้นล่าง (ชั้นที่ 7 และ 8) ในการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1 cm อัตราการลดความชื้นจะมีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงต้น ส่วนในช่วงหลังอัตราการลดความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ เช่นเดียวกับชั้นความหนา 1.25 cm ส่วนที่ชั้นความหนา 1.50 cm อัตราการลดความชื้นมีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการสลับลม โดยชั้นบน และชั้นล่างได้รับอิทธิพลมากกว่าชั้นกลาง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น คือที่ 80°C การแกว่งของเส้นกราฟอัตราการลดความชื้นจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

จากรูป 4-15 (ค) การทดลองอบหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1.50 cm ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนทิศทางลมร้อนอย่างมาก ในช่วง 2 ชั่วโมงแรก คือช่วงชั่วโมงที่

0-2 ลมร้อนขาออกมีทิศขึ้น หอมหัวใหญ่ทั้ง 3 กลุ่มมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มชั้นบนมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก $0.81 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ เป็น $0.91 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ กลุ่มชั้นล่างมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก $0.60 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ เป็น $0.67 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ส่วนกลุ่มชั้นกลางมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นจาก $0.50 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ เป็น $0.59 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$

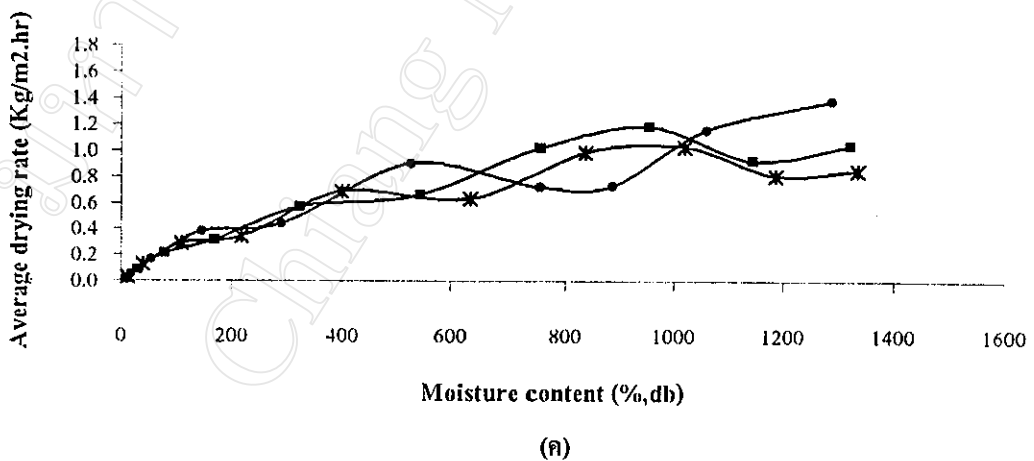
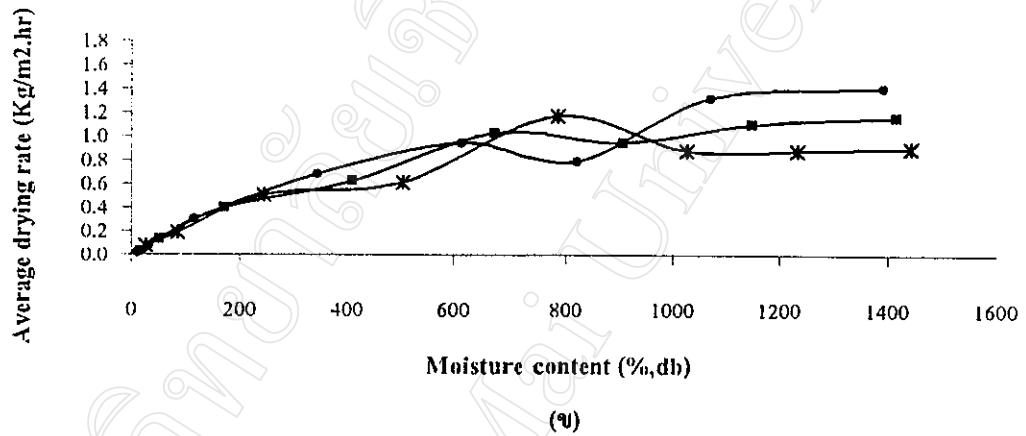
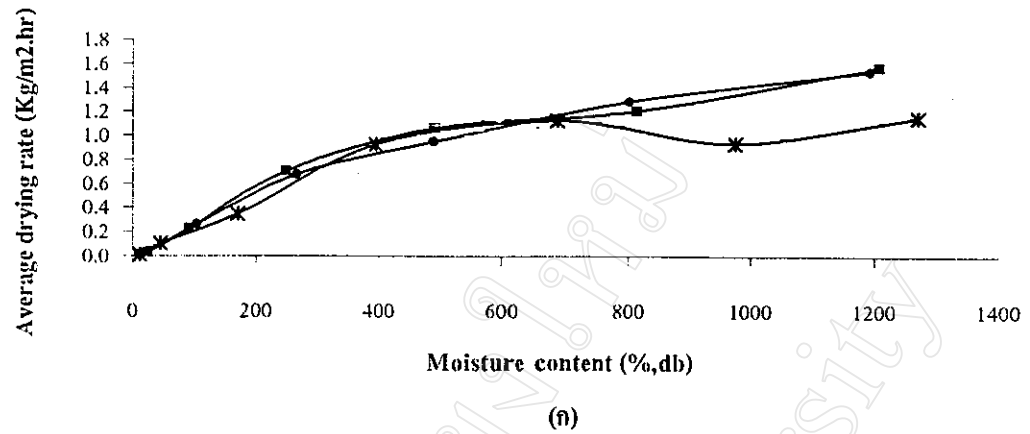
แต่เมื่อทำการเปลี่ยนทิศทางลมร้อนให้เป็นลมลงในช่วงช่วงโมงที่ 2-4 จะเห็นว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่หันในภาคชั้นบนมีค่าลดลงจาก $0.91 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 2 เป็น $0.5 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 4 ส่วนชั้นกลางและล่างมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มสูงขึ้นจาก $0.59 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 2 เป็น $0.69 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 4 สำหรับชั้นกลางเพิ่มสูงขึ้นจาก $0.67 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 2 เป็น $0.82 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ในช่วงโมงที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจาก air flow resistance ของภาคชั้นบนเพิ่มมากขึ้นเพราะอยู่ไกลจากช่องลมออกมากที่สุดต่างจากช่วงแรกที่อยู่ใกล้กับช่องลมออกที่สุด ส่วนชั้นล่างกลายเป็นชั้นที่อยู่ใกล้กับช่องลมออกมากที่สุด air flow resistance ลดลงมากทำให้ชั้นล่างมีอัตราการลดความชื้นเพิ่มสูงขึ้น กรณีของชั้นกลางสาเหตุที่มีอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากได้รับอิทธิพลความชื้นจากอากาศร้อนชั้นอื่นๆน้อยลง ชั้นบนมีการลดความชื้นในช่วงแรกไปมากแล้ว เมื่อสลับลมร้อนชั้นกลางจึงได้รับอิทธิพลอากาศชื้นจากชั้นบนน้อยลง ซึ่งต่างจากช่วงแรก (ช่วงโมงที่ 0-2) ซึ่งเป็นช่วงที่ชั้นล่างมีความชื้นเริ่มต้นสูงจึงได้รับอิทธิพลความชื้นจากชั้นล่างอย่างมาก จากนั้นเมื่อเปลี่ยนทิศทางลมร้อนอีกครั้งเป็นลมขึ้นในช่วงช่วงโมงที่ 4-6 จะเห็นว่าอัตราการลดความชื้นของชั้นบนกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งเนื่องจากกลับมาเป็นชั้นที่อยู่ใกล้กับช่องทางลมออกอีกครั้ง ส่วนชั้นกลางและชั้นล่างมีอัตราการลดความชื้นลดลง

อิทธิพลของการเปลี่ยนทิศทางลมร้อนเกิดขึ้นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งในช่วงท้ายของการทดลองเมื่อความชื้นลดลงมากแล้วจะเห็นว่า การเปลี่ยนทิศทางลมร้อนไม่มีผลต่อการเคลื่อนไหวของเส้นกราฟอีกต่อไป ในช่วงโมงที่ 16-22 จะเห็นว่าเส้นกราฟอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่หันชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง ต่างก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงท้ายของการอบแห้ง อัตราการลดความชื้นจะถูกควบคุมโดยความต้านทานภายใน (Hall, 1980)



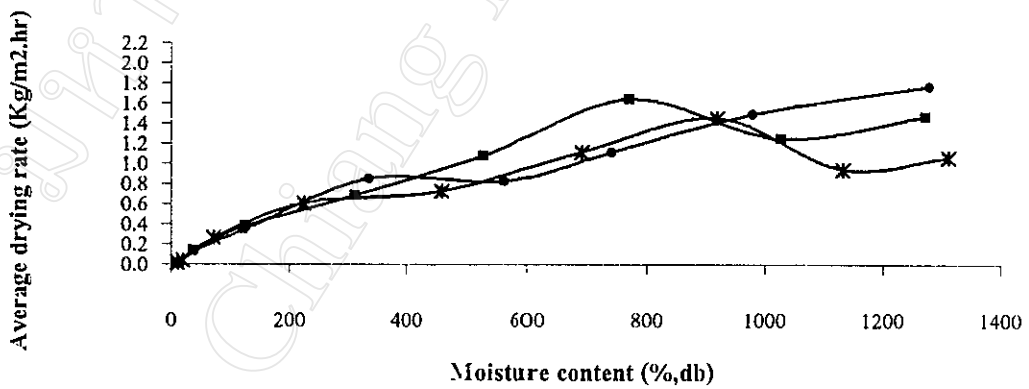
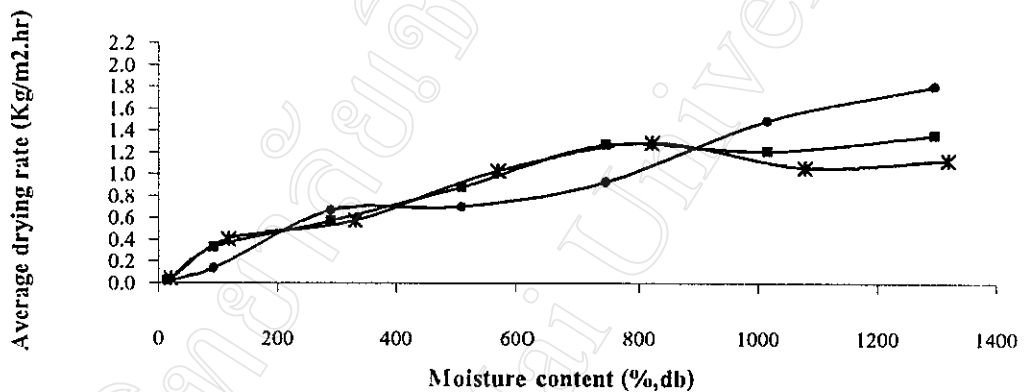
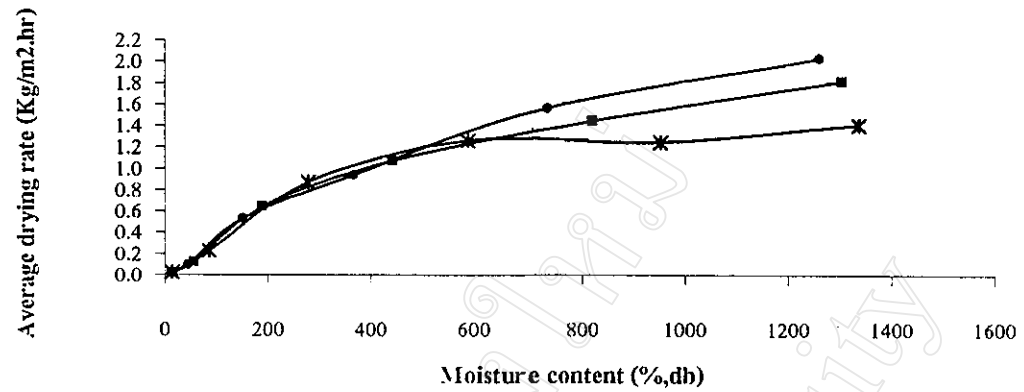
● ชั้นบน (1, 2) * ชั้นกลาง (3, 4, 5, 6) ■ ชั้นล่าง (7, 8)

รูปที่ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และความชื้นมาตรฐาน
 แห่งของหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน
 60°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง



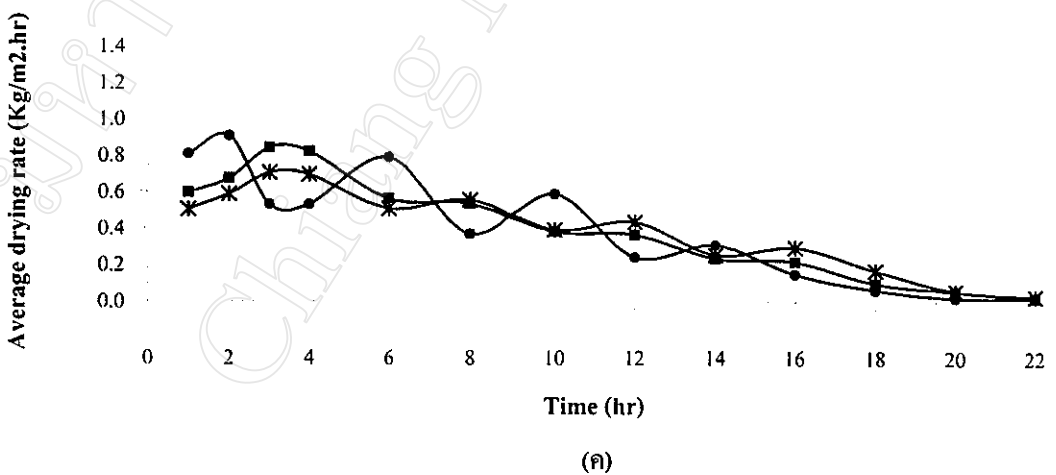
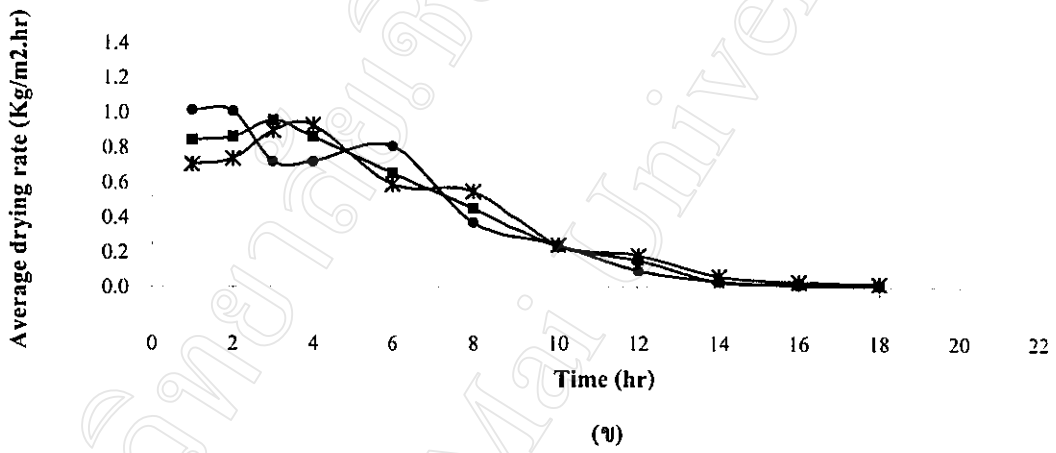
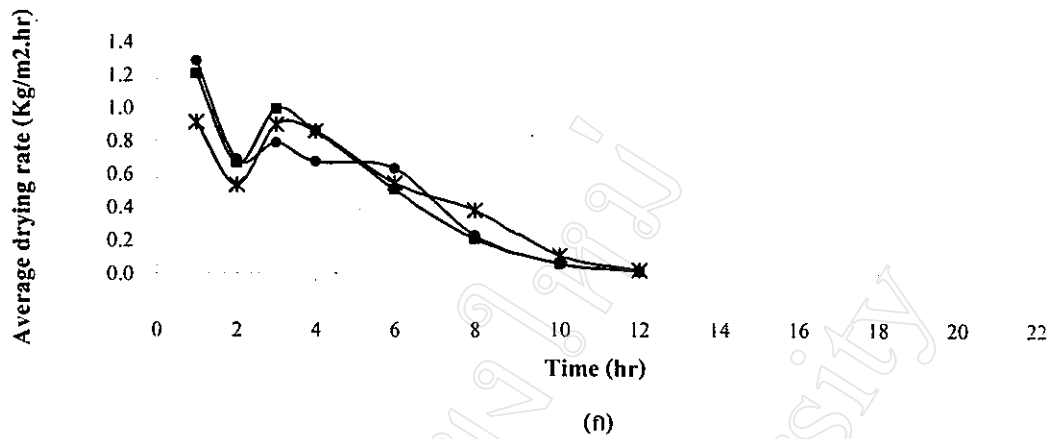
—●— ชั้นบน (1, 2) —*— ชั้นกลาง (3, 4, 5, 6) —■— ชั้นล่าง (7, 8)

รูปที่ 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และความชื้นมาตรฐาน
 แห่งของหอมหัวใหญ่ที่ชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน
 70°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง



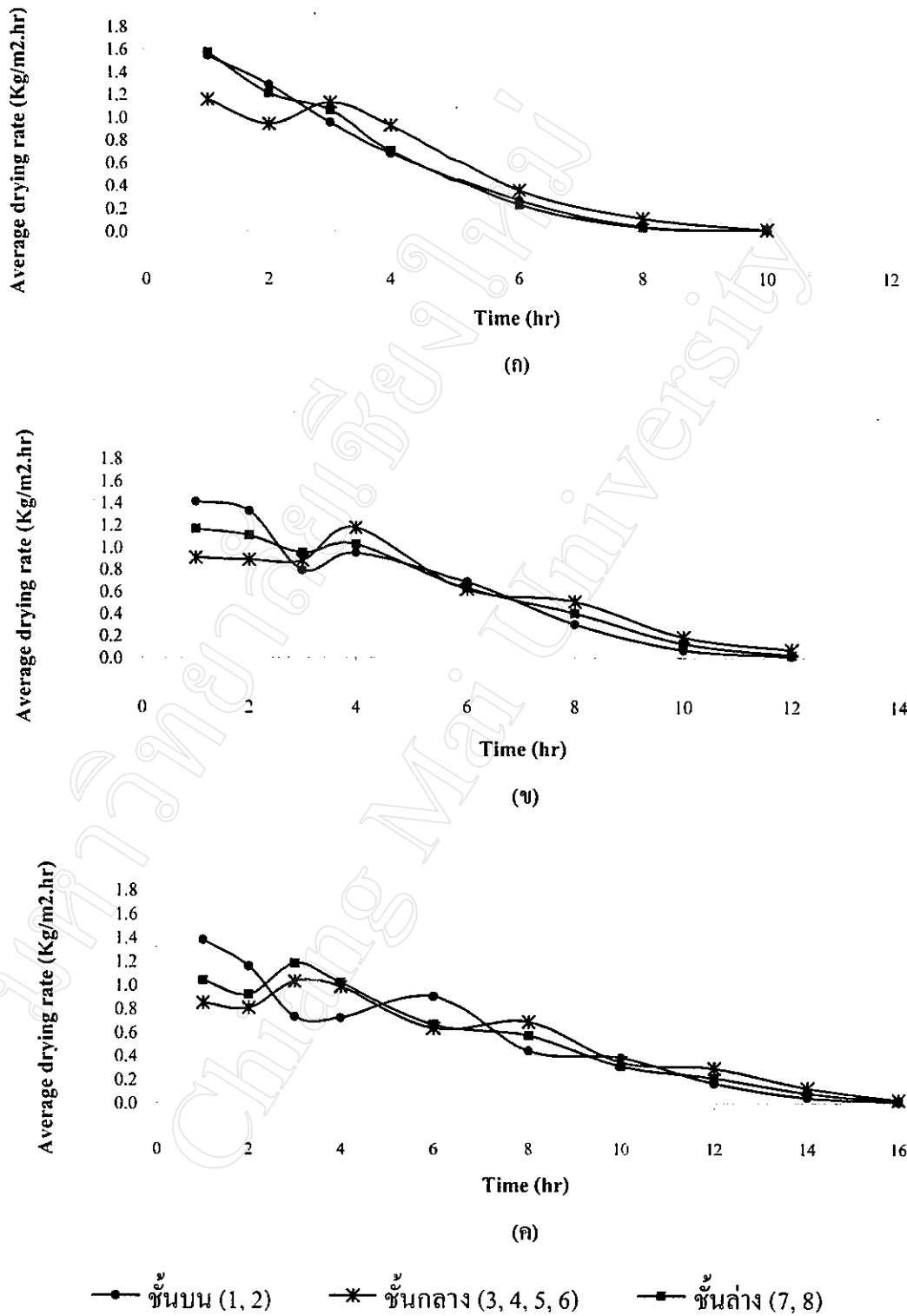
● ชั้นบน (1, 2) * ชั้นกลาง (3, 4, 5, 6) ■ ชั้นล่าง (7, 8)

รูปที่ 4-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และความชื้นมาตรฐาน
 แห่งของหอมหัวใหญ่ที่หั่นชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน
 80°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง

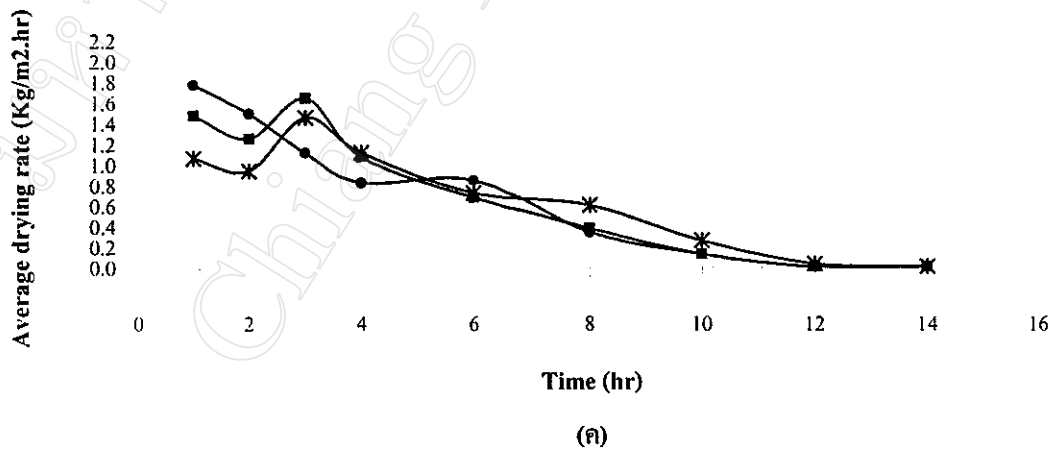
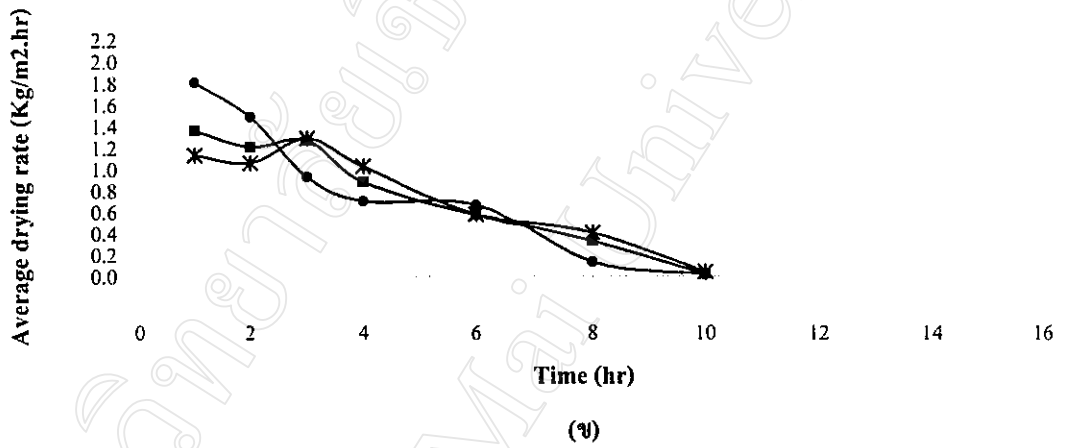
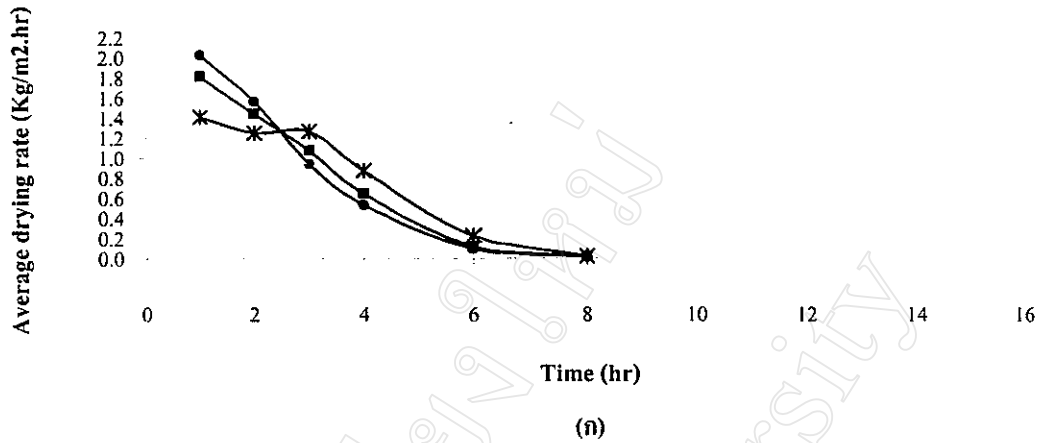


● ชั้นบน (1, 2) * ชั้นกลาง (3, 4, 5, 6) ■ ชั้นล่าง (7, 8)

รูปที่ 4-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และเวลาอบแห้งของหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน 60°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และเวลาอบแห้งของ หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน 70°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง



● ชั้นบน (1.2) * ชั้นกลาง (3. 4. 5. 6) ■ ชั้นล่าง (7. 8)

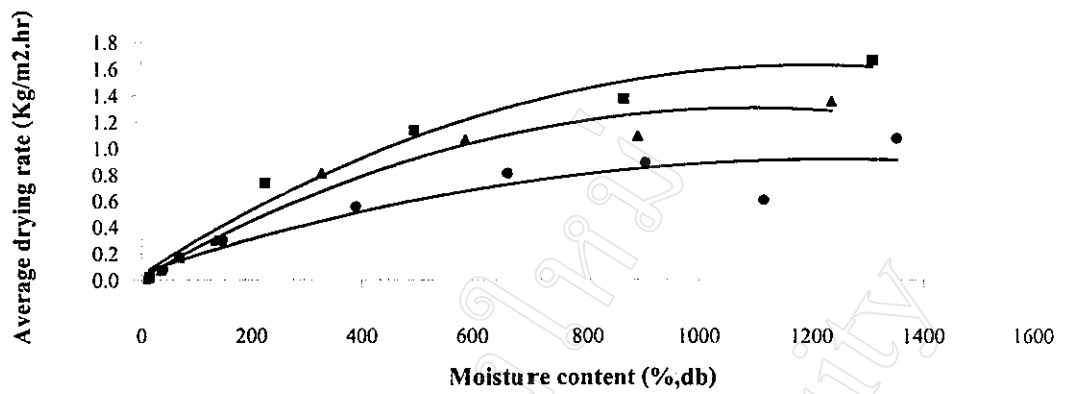
รูปที่ 4-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และเวลาอบแห้งของหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) ใช้ลมร้อน 80°C อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง

4.2.3.2 อิทธิพลเนื่องจากระดับอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

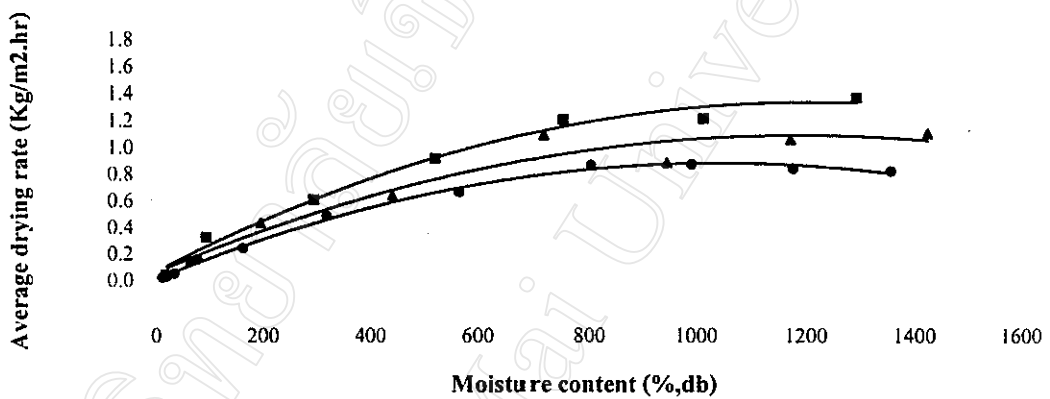
ลมร้อนอุณหภูมิสูงมีความสามารถในการกระตุ้นให้น้ำระเหยออกจากชิ้นหอมหัวใหญ่แห้งได้มากกว่าลมร้อนอุณหภูมิต่ำกว่า จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าหอมหัวใหญ่แห้งที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C มีอัตราการลดความชื้นสูงกว่าหอมหัวใหญ่แห้งที่อบแห้งด้วยลมร้อน 60°C และ 70°C เมื่ออบแห้งด้วยชั้นความหนาเท่ากัน กราฟรูปที่ 4-18 (ก) เป็นการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่แห้งชั้นความหนา 1 cm พบว่าในช่วงที่หอมหัวใหญ่แห้งมีความชื้นสูงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่แห้งอย่างมาก โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C จะทำให้หอมหัวใหญ่แห้งมีอัตราการลดความชื้นสูงกว่าหอมหัวใหญ่แห้งที่อบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C ตามลำดับ แต่เมื่อความชื้นของหอมหัวใหญ่แห้งลดลงอิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการลดความชื้นก็จะลดลง ความแตกต่างของอัตราการลดความชื้นลดลง เส้นกราฟการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C 70°C และ 60°C จะเข้าใกล้กันมากขึ้น

การอบแห้งหอมหัวใหญ่แห้งด้วยชั้นความหนา 1.25 cm และ 1.50 cm ได้ผลการทดลองคล้ายกันกับการอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1 cm (รูปที่ 4-18 ข และ ค)

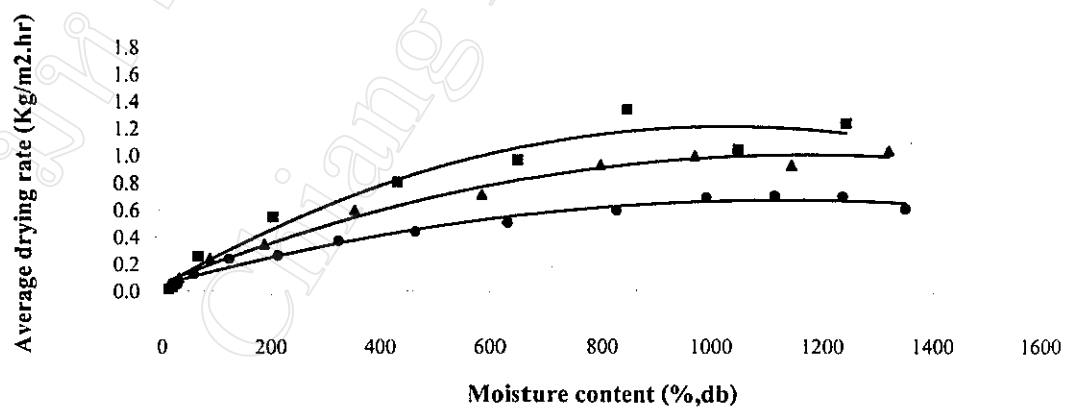
การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่างกันมีผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง การอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C จะใช้เวลาสั้นกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 60°C โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C ชั้นความหนา 1 , 1.25 และ 1.5 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 6 ชั่วโมง 45 นาที , 9 ชั่วโมง 30 นาที และ 12 ชั่วโมง 30 นาที ตามลำดับ ได้หอมหัวใหญ่ที่มีความชื้นประมาณ 12% (w.b.) การอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C ใช้เวลานานขึ้นโดยใช้เวลา 8 ชั่วโมง 20 นาที , 11 ชั่วโมง 40 นาที และ 14 ชั่วโมง 20 นาที ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C นั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ 10 ชั่วโมง 40 นาที , 16 ชั่วโมง 40 นาที และ 21 ชั่วโมง 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Rapusas (1995) พบว่าอุณหภูมิลมร้อนมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งอย่างมาก โดยการอบด้วยลมร้อน 90°C หอมหัวใหญ่แห้งมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบด้วยลมร้อน 70°C และ 50°C ตามลำดับ และ Ede (1958) พบว่าการอบแห้งมันฝรั่งแห้งที่ความชื้นต่ำนั้นอัตราการอบแห้งจะขึ้นกับอุณหภูมิกอากาศ (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง) เมื่อใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 60°C 70°C และ 80°C พบว่าอัตราการลดความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

• 60 C ▲ 70 C ■ 80 C

รูปที่ 4-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และความชื้นมาตรฐานแห้งของหอมหัวใหญ่ชิ้นความหนา 1 cm (ก) 1.25 cm (ข) และ 1.50 cm (ค) อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง

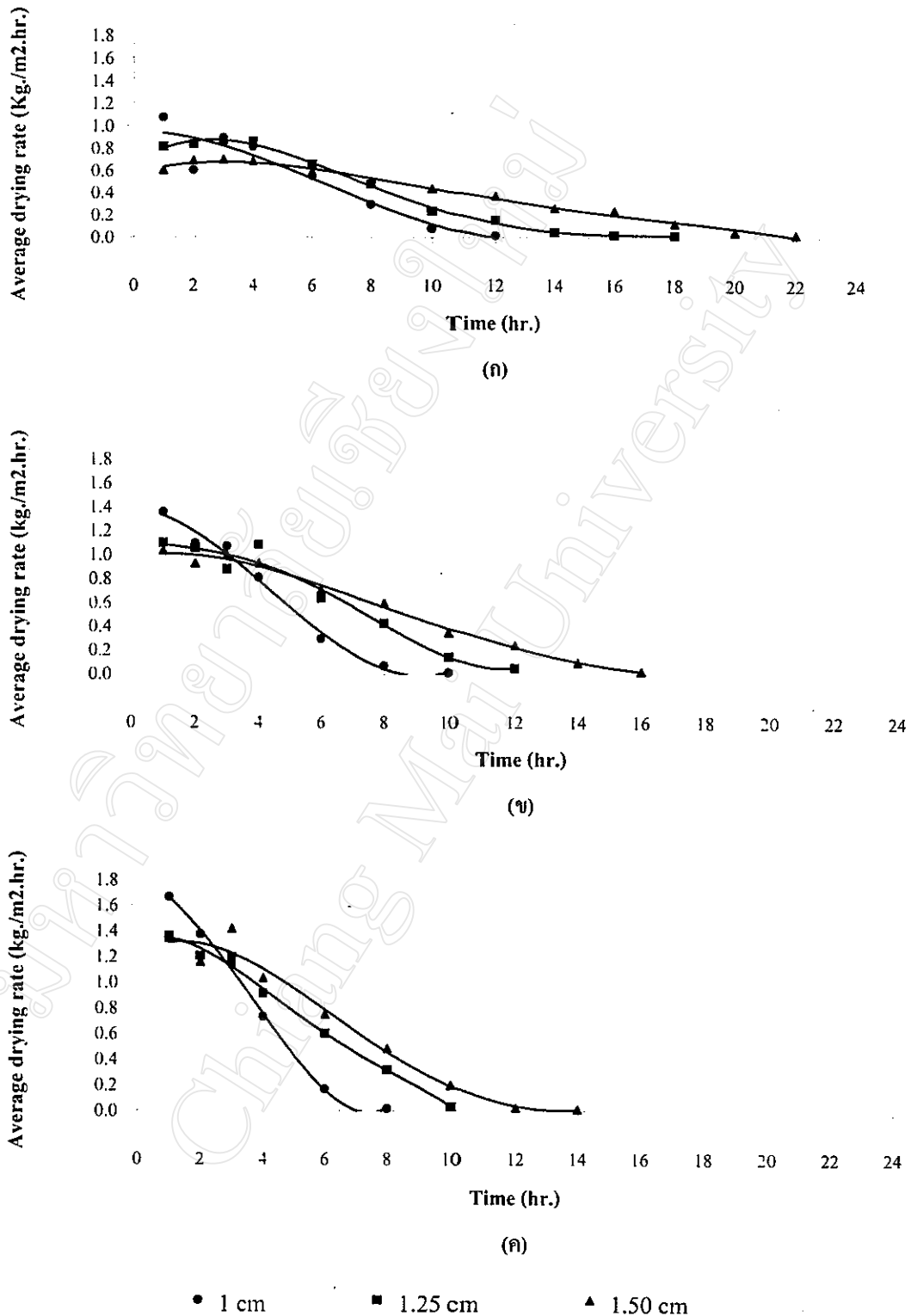
4.2.3.3 อิทธิพลเนื่องจากระดับชั้นความหนาของหอมหัวใหญ่หั่น

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดนั้นชั้นความหนาของวัตถุดิบมีผลต่อประสิทธิภาพการลดความชื้นของวัตถุดิบอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากการบรรจุหอมหัวใหญ่หั่นด้วยชั้นความหนามากๆ จะทำให้ air flow resistance มีมากโอกาสที่ลมร้อนจะสามารถทะลุผ่านชั้นหอมหัวใหญ่กระทำได้น้อยลง ส่งผลให้พื้นที่ผิวที่หอมหัวใหญ่จะได้สัมผัสกับอากาศร้อนมีน้อยลง ประสิทธิภาพการอบแห้งจึงลดลง

การทดลองอบหอมหัวใหญ่ด้วยลมร้อน 60°C บรรจุหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm (รูปที่ 4-19 ก) ในชั่วโมงแรกของการอบแห้งหอมหัวใหญ่มีอัตราการลดความชื้น 1.08 kg/m².hr มีค่าสูงกว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.25 cm และ 1.50 cm ซึ่งมีอัตราการลดความชื้น 0.81 และ 0.60 kg/m².hr ตามลำดับ (ตารางภาคผนวกที่ 1-8) อัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1 cm มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการอบแห้งแต่ยังคงมีค่าสูงกว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.25 cm และ 1.50 cm จนกระทั่งในชั่วโมงที่ 4 หอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1 cm มีอัตราการลดความชื้นลดต่ำกว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1.25 cm และในชั่วโมงที่ 6 มีอัตราการลดความชื้นลดต่ำกว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1.50 cm ส่วนการอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.25 cm มีอัตราการลดความชื้นลดต่ำกว่าอัตราการลดความชื้นของหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1.50 cm ในชั่วโมงที่ 8

เนื่องจากการอบแห้งแบบชั้นบาง (ชั้นความหนา 1 cm) มีอัตราการอบแห้งสูง ส่งผลให้หอมหัวใหญ่แห้งเร็วใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 10 ชั่วโมง 40 นาที ได้ความชื้น 12%(w.b.) ซึ่งเร็วกว่าการอบแห้งแบบชั้นหนา 1.25 cm และ 1.50 cm ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานถึง 16 ชั่วโมง 40 นาที และ 21 ชั่วโมง 20 นาที ตามลำดับ

ส่วนการทดลองอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นด้วยลมร้อน 70°C และ 80°C ได้ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C แตกต่างกันที่การอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C และ 80°C หอมหัวใหญ่หั่นมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งใช้น้อยกว่า โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C ใช้เวลาอบแห้ง 8 ชั่วโมง 20 นาที , 11 ชั่วโมง 40 นาที และ 14 ชั่วโมง 20 นาที สำหรับการอบแห้งหอมหัวใหญ่ชั้นความหนา 1 , 1.25 และ 1.50 cm ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C ใช้เวลาอบแห้ง 6 ชั่วโมง 45 นาที , 9 ชั่วโมง 30 นาที และ 12 ชั่วโมง 30 นาที สำหรับการอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 , 1.25 และ 1.50 cm ตามลำดับ (รูปที่ 4-19 ข และ ค)



รูปที่ 4-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดความชื้น และเวลาอบแห้ง ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง ใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 60°C (ก) 70°C (ข) และ 80°C (ค) อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน สลับทิศทางลมร้อนทุก 2 ชั่วโมง

4.2.4 การเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่หั่นอบแห้ง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างองค์ประกอบภายในอาหาร (food constituents) ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดคือ non-enzymatic browning ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียการยอมรับทางด้านสี กลิ่น และคุณค่าทางสารอาหาร Samaniego-Esquerre *et al.* (1991) ได้ยืนยันว่าการเปลี่ยนสีของหอมเกล็ด (onion flake) ในการอบแห้งทางการค้าเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการ non-enzymatic browning mechanism

Rapusas and Driscoll (1995) กล่าวว่าไว้ว่ากระบวนการอบแห้งนั้นการกระจายตัวของความชื้นและอุณหภูมิในอาหารขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งในการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C ประกอบกับการใช้ชั้นความหนาแบบหนา (1.50 cm) มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งอย่างมาก การอบแห้งด้วยชั้นความหนา 1.50 cm หอมหัวใหญ่ถูกจัดวางอัดแน่นมาก ลักษณะการแห้งของหอมหัวใหญ่จะเกิดที่ชั้นผิวหน้าก่อน และเคลื่อนลงสู่ชั้นล่าง เนื่องจากลมร้อนไม่สามารถเข้าไปสัมผัสชั้นหอมหัวใหญ่ได้ทั่วถึง พื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศเท่ากับพื้นที่ผิวของถาด จากภาพที่ 4-23 จะเห็นว่าหอมหัวใหญ่บริเวณขอบถาดมีสีปกติเนื่องจากบริเวณขอบถาดอยู่ใกล้กับตำแหน่งลมเข้าจึงมีการถ่ายเทอากาศดี ไม่มีการสะสมความชื้นมาก หอมหัวใหญ่ในบริเวณนี้จะแห้งไปก่อนบริเวณกลางถาด จุดที่เกิดสีน้ำตาลจะอยู่บริเวณกลางถาดและเป็นหอมหัวใหญ่ส่วนที่อยู่ข้างล่างของถาด ส่วนหอมชั้นบนที่ผิวหน้าถาดมีสีปกติ คาดว่าบริเวณกลางถาดเป็นจุดที่มีการเคลื่อนไหวของอากาศน้อย และอากาศมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความชื้นได้ต่ำจึงเกิดการสะสมความชื้นค่อนข้างมาก และเป็นเวลานานเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ในการทดลองพบว่า การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งได้ประมาณ 18 ชั่วโมง เมื่อความชื้นหอมหัวใหญ่มีค่าประมาณ 16.37% ถึง 38.56% (ตารางภาคผนวกที่ 1-7) ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Rapusas and Driscoll (1995) พบว่าอุณหภูมิลมร้อนมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล และอัตราการเกิดสีน้ำตาลแปรผันไปตามค่า A_w ของหอมหัวใหญ่ อัตราการเกิดสีน้ำตาลสูงสุดเมื่อหอมหัวใหญ่หั่นมีค่า A_w อยู่ในช่วง 0.6 ถึง 0.7 ซึ่งมีค่า Equilibrium Moisture Contents (EMC, % wet basis) 20.4%

ส่วนการอบแห้งวิธีอื่น พบว่าเกิดสีน้ำตาลเพียงเล็กน้อย คือการอบแห้งชั้นความหนา 1.25 cm ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C (รูปที่ 4-22) และการอบแห้งชั้นความหนา 1.50 cm ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C (รูปที่ 4-26)

การอบแห้งแบบชั้นบาง (1 cm) ไม่พบปฏิกิริยา non-enzymatic browning เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อน 60°C, 70°C และ 80°C (รูปที่ 4-21, 4-24 และ 4-27) การอบด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูง 80°C

ก็ไม่พบปฏิกิริยา non-enzymatic browning เช่นกันแม้ว่าจะอบด้วยความหนา 1 , 1.25 หรือ 1.50 cm ก็ตาม (รูปที่ 4-27 ถึง 4-29) และการอบด้วยชั้นความหนา 1.25 cm ด้วยลมร้อน 70°C ก็ไม่พบปฏิกิริยา non-enzymatic browning เช่นกัน (รูปที่ 4-25)

4.2.5 คุณภาพของหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้ง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นดัชนีหนึ่งที่สามารถชี้วัดได้ว่าวิธีการผลิตใดเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ในการทดลองแต่ละวิธีจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแตกต่างกันออกไปการตัดสินใจต้องเปรียบเทียบกับคุณภาพของหอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้าซึ่งได้รับการยอมรับแล้วจากผู้ซื้อระดับโรงงาน

4.2.5.1 ค่าสีหอมหัวใหญ่หลังอบแห้ง

กระบวนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดสีของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถใช้กำหนดสีของผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งได้ ส่วนชั้นความหนานั้นมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย จากภาพที่ 4-21 ถึง 4-29 จะเห็นว่า การอบแห้งด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 80°C ได้ผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่หั่นอบแห้งที่มีสีเหลืองเข้ม ระดับความเข้มของสีจะลดลงตามระดับอุณหภูมิลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (color meter) ดังแสดงในตารางที่ 4-5 จากการเปรียบเทียบสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างผลิตภัณฑ์หอมหัวใหญ่อบแห้งในทางการค้ากับหอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน หอมหัวใหญ่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C มีสีใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้งในทางการค้ามากที่สุด ทั้งนี้พิจารณาจากค่า L เป็นค่าความสว่างของสีเริ่มจากสีขาว (L=100) ไปจนถึงสีดำ (L=0) ค่า a เป็นค่าของสีแดงเมื่อ a มีค่าเป็นบวก สีเขียวเมื่อ a มีค่าเป็นลบ ส่วนค่า b เป็นค่าของสีเหลืองเมื่อ b มีค่าเป็นบวก สีน้ำเงินเมื่อ b มีค่าเป็นลบ

จากตารางที่ 4-5 ผลของการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสี (ค่า L) พบว่าหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อบด้วยลมร้อน 60°C 70°C 80°C และการอบแห้งทางการค้า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ของค่า L ยกเว้นการอบที่ชั้นความหนา 1.50 cm ด้วยลมร้อน 80°C มีค่า L ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการอบแห้งวิธีอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า การอบที่ชั้นความหนา 1.50 cm ด้วยลมร้อน 80°C เป็นวิธีที่ได้หอมหัวใหญ่อบแห้งที่มีสีสว่างน้อยที่สุด มีค่า L 57.50 ส่วนการอบแห้งทางการค้ามีค่า L 62.27

ค่า a เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสีแดงในหอมหัวใหญ่อบแห้ง จากการทดลองพบว่าการอบด้วยอุณหภูมิ 80°C ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีออกน้ำตาลมากกว่าการอบด้วยอุณหภูมิต่ำกว่า ทั้ง 3 ชั้นความหนา จากการวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า โดยการอบด้วยลมร้อน 80°C ชั้นความหนา 1.50 cm มีค่า a 5.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้ามากที่สุด (มีค่า a เท่ากับ 5.22)

การอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีออกเขียวมากกว่าการอบที่ 80°C จากการวิเคราะห์ทางด้านสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับการอบด้วยลมร้อน 60°C ทั้ง 3 ชั้นความหนา และการอบด้วยลมร้อน 80°C ที่ชั้นความหนา 1 และ 1.25 cm

ส่วนการอบด้วยลมร้อน 60°C จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีออกเขียวมากที่สุด จากการวิเคราะห์ทางด้านสถิติพบว่า การอบด้วยลมร้อน 60°C มีค่า a ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับการอบด้วยลมร้อน 70°C แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการอบด้วยลมร้อน 80°C และการอบทางการค้า

ค่า b เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณสีเหลืองในหอมหัวใหญ่อบแห้ง จากการทดลองหอมหัวใหญ่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ชั้นความหนา 1.50 cm ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ชั้นความหนา 1.5 cm มีค่า b เท่ากับ 17.45 ใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้ามากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.68 ส่วนการอบแห้งวิธีอื่นมีค่า b ค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ในช่วง 18.30 - 19.60

เมื่อเปรียบเทียบสีของหอมหัวใหญ่อบแห้งทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 60°C 70°C 80°C และทั้ง 3 ชั้นความหนา คือ 1 1.25 1.50 cm พบว่าการอบด้วยอุณหภูมิ 80°C ที่ชั้นความหนา 1.5 cm เป็นการอบแห้งที่ทำให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับหอมหัวใหญ่แห้งทางการค้ามากที่สุดเนื่องจากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ของค่า L , a และ b กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า

ตารางที่ 4-5 การวิเคราะห์ค่าการวัดสี (ค่า L, a และ b) ของหอมหัวใหญ่อบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน ประเภทถาด

Temperature (°C)	Depth (cm)	Color		
		L	a	b
60	1.00	66.37 ± 1.96 bc	0.68 ± 1.33 a	18.28 ± 0.51 b
	1.25	67.20 ± 0.49 c	0.53 ± 0.44 a	19.36 ± 0.42 b
	1.50	66.59 ± 1.58 bc	0.45 ± 0.10 a	18.30 ± 0.67 b
70	1.00	66.16 ± 0.83 bc	1.30 ± 1.99 ab	18.80 ± 0.94 b
	1.25	66.31 ± 2.17 bc	1.39 ± 1.58 ab	19.59 ± 0.62 b
	1.50	65.04 ± 4.74 bc	1.91 ± 2.13 ab	19.03 ± 0.69 b
80	1.00	63.57 ± 4.47 bc	3.21 ± 1.96 bc	19.15 ± 0.83 b
	1.25	63.17 ± 0.87 bc	3.37 ± 0.94 bc	19.60 ± 0.73 b
	1.50	57.50 ± 5.25 a	5.07 ± 2.02 c	17.45 ± 1.38 ab
commercial		62.27 ± 0.86 ab	5.22 ± 0.28 c	14.68 ± 5.08 a

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.5.2 ค่า Water activity (Aw)

ค่า Aw เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในผลิตภัณฑ์อบแห้ง ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ในการอบแห้งจึงต้องพยายามลดความชื้นให้ค่า Aw มีค่าต่ำที่สุดเพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นาน

ผลวิเคราะห์ค่า Aw แสดงในตารางที่ 4-6 ซึ่งให้เห็นว่าการอบแห้งทุกวิธีคือการอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C 70°C และ 80°C ที่ทั้ง 3 ชั้นความหนา พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยมีค่า Aw อยู่ในช่วง 0.35-0.42 โอกาสที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเป็นไปได้ยาก ซึ่งไพโรจน์ (2539) ได้กล่าวว่าการที่ค่า Aw ต่ำนั้นสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ยกเว้นจุลินทรีย์ที่ทนแล้งสามารถจะเจริญได้ เช่นเดียวกับไพบุลย์ (2532) ได้กล่าวว่จุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า Aw ต่ำกว่าในช่วงประมาณ 0.5-0.6 และลักขณา (2530) ก็ได้กล่าวว่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Aw ต่ำประมาณ 0.70 จะไม่เกิดการเสียจากจุลินทรีย์ได้เลย ค่า Aw 0.70 นี้เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของผักแห้ง จะมีค่า 14-20% หรือความชื้นของผลไม้แห้งประมาณ 18-25%

เมื่อเปรียบเทียบค่า Aw ของหอมหัวใหญ่ที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนกับค่า Aw ของหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้าแล้วพบว่าการอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยลมร้อน 60°C ชั้นความหนา 1.5 cm 70°C ชั้นความหนา 1.25 cm และ 80°C ชั้นความหนา 1 และ

1.25 cm ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับการอบแห้งทางการค้า ส่วนวิธีอื่นนอกจากที่กล่าวมานี้พบว่ามีค่า Aw ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับการอบแห้งทางการค้า

ตารางที่ 4-6 การวิเคราะห์ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก และค่า Aw ของหอมหัวใหญ่อบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน ประเภทถาด

Temperature (°C)	Depth (cm)	Moisture content (% wb)	AW
60	1.00	9.11 ± 0.60 ab	0.40 ± 0.02 ab
	1.25	8.43 ± 0.76 a	0.37 ± 0.03 a
	1.50	9.57 ± 0.49 ab	0.41 ± 0.02 ab
70	1.00	8.12 ± 0.46 a	0.36 ± 0.02 a
	1.25	9.32 ± 1.41 ab	0.40 ± 0.05 ab
	1.50	7.85 ± 0.38 a	0.35 ± 0.02 a
80	1.00	9.69 ± 1.11 ab	0.42 ± 0.04 ab
	1.25	10.02 ± 5.41 ab	0.39 ± 0.18 ab
	1.50	9.77 ± 1.40 ab	0.38 ± 0.10 a
commercial		12.33 ± 0.47 b	0.50 ± 0.10 b

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.2.5.3 การคืนตัว (Rehydration)

ในการทำแห้งอาหารไม่ว่าจะโดยใช้ความร้อนสูง หรือใช้หลักของการระเหยของผลึกน้ำแข็งก็ตาม ตัวอาหารจะสูญเสียน้ำออกไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารทั้งโครงสร้าง ลักษณะ และโดยเฉพาะเนื้อเยื่อ ซึ่งมีผลต่อการคืนตัวของอาหาร ในทางการค้าใช้ความร้อนสูงถึง 100-105°C ในช่วงต้น จากนั้นค่อยลดอุณหภูมิลงมาเป็น 80°C จนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง อัตราการคืนตัวจึงต่ำมีค่า 5.26 สามารถดูดน้ำกลับได้ 83.29% เมื่อเปรียบเทียบกับหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนพบว่าทุกวิธีมีอัตราการคืนตัว และปริมาณน้ำดูดกลับที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้า

การอบแห้งที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนด้วยลมร้อน 60°C และ 80°C ได้หอมหัวใหญ่ที่มีอัตราการคืนตัวและปริมาณน้ำดูดกลับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ทั้ง 3 ชั้นความหนา โดยมีอัตราการคืนตัวอยู่ในช่วง 5.88-6.00 และ 85.39%-85.68% ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับการอบด้วยลมร้อน 70°C

การอบด้วยลมร้อน 70°C ชั้นความหนา 1 และ 1.25 cm เป็นการทดลองที่ทำให้ได้หอมหัวใหญ่อบแห้งที่มีค่าอัตราการคืนตัว และปริมาณน้ำสูงที่สุด ซึ่ง 2 วิธีนี้มีอัตราการคืนตัวและปริมาณน้ำดูดกลับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.32%-6.41% และ 86.01%-86.31% ตามลำดับ แต่มีค่าอัตราการคืนตัวและปริมาณน้ำดูดกลับแตกต่างกับการอบด้วยชั้นความหนา 1.50 cm โดยมีค่าประมาณ 5.82 และ 84.97% ตามลำดับ

ผลของความแตกต่างในเรื่องการคืนตัวและปริมาณน้ำดูดกลับนี้ไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นผลอันเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิอบแห้ง หรือการใช้ชั้นความหนาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสุดท้ายของหอมหัวใหญ่หลังอบแห้งในแต่ละอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-7 จะเห็นว่าความชื้นสุดท้ายของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ลมร้อน 60°C 70°C และ 80°C มีค่าแตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.11-15.84%(w.b.) 11.57-12.49%(w.b.) และ 13.28-13.92%(w.b.) ตามลำดับ ส่วนหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้ามีความชื้นประมาณ 12.33%(w.b.)

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์การทดสอบการคืนตัวของหอมหัวใหญ่อบแห้งวิธีต่างๆ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน ประเภทถาด

Temperature (°C)	Depth (cm)	Moisture content (% w.b.)	rehydration ratio	water (%)
60	1.00	15.00 ± 0.27 de	5.93 ± 0.06 bc	85.67 ± 0.16 cd
	1.25	15.84 ± 0.99 e	5.88 ± 0.09 bc	85.68 ± 0.23 cd
	1.50	14.11 ± 0.57 cd	5.88 ± 0.14 bc	85.39 ± 0.35 bc
70	1.00	11.57 ± 0.18 a	6.32 ± 0.14 d	86.01 ± 0.30 de
	1.25	12.27 ± 0.24 ab	6.41 ± 0.05 d	86.31 ± 0.12 e
	1.50	12.49 ± 0.12 ab	5.82 ± 0.07 b	84.97 ± 0.17 b
80	1.00	13.35 ± 0.15 bc	5.96 ± 0.12 bc	85.48 ± 0.29 c
	1.25	13.28 ± 0.10 bc	5.95 ± 0.10 bc	85.43 ± 0.24 c
	1.50	13.92 ± 1.70 cd	6.00 ± 0.13 c	85.64 ± 0.31 cd
commercial		12.33 ± 0.47 ab	5.26 ± 0.08 a	83.32 ± 0.26 a

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรที่เหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



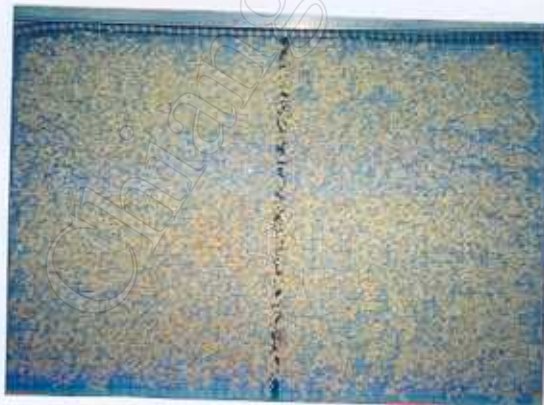
รูปที่ 4-20 หอมหัวใหญ่ที่นึ่งสดก่อนอบแห้ง



กลุ่มตาช่นบน



กลุ่มตาช่นกลาง



กลุ่มตาช่นล่าง

รูปที่ 4-21 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C



กลุ่มตาชั้นบน



กลุ่มตาชั้นกลาง



กลุ่มตาชั้นล่าง

รูปที่ 4-22 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C



กลุ่มตาดชั้นบน



กลุ่มตาดชั้นกลาง



กลุ่มตาดชั้นล่าง

รูปที่ 4-23 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 60°C



กลุ่มตาชั้นบน



กลุ่มตาชั้นกลาง



กลุ่มตาชั้นล่าง

รูปที่ 4-24 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C



กลุ่มถาดชั้นบน



กลุ่มถาดชั้นกลาง



กลุ่มถาดชั้นล่าง

รูปที่ 4-25 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C



กลุ่มตาชั้นบน



กลุ่มตาชั้นกลาง



กลุ่มตาชั้นล่าง

รูปที่ 4-26 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 70°C



กลุ่มตาข่ายหนา

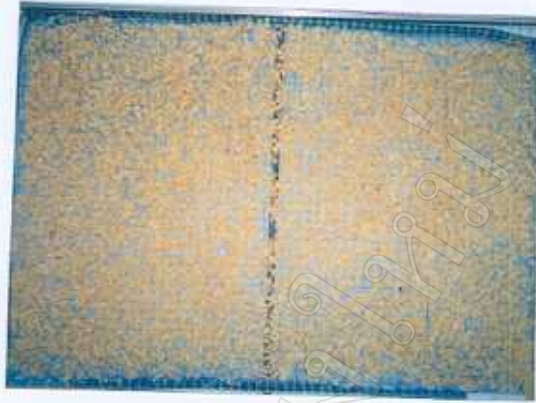


กลุ่มตาข่ายกลาง



กลุ่มตาข่ายต่ำ

รูปที่ 4-27 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C



กลุ่มตาชั้นบน



กลุ่มตาชั้นกลาง



กลุ่มตาชั้นล่าง

รูปที่ 4-28 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C



กลุ่มตาข่ายบน



กลุ่มตาข่ายกลาง



กลุ่มตาข่ายล่าง

รูปที่ 4-29 หอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm หลังอบแห้งด้วยลมร้อน 80°C

4.2.6 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการผลิตหอมหัวใหญ่อบแห้ง

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้ง โดยใช้วิธีการอบแห้ง 9 วิธี คือ

วิธีที่ 1	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C
วิธีที่ 2	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C
วิธีที่ 3	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60°C
วิธีที่ 4	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C
วิธีที่ 5	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C
วิธีที่ 6	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C
วิธีที่ 7	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C
วิธีที่ 8	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.25 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C
วิธีที่ 9	อบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นชั้นความหนา 1.50 cm	ด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 80°C

เมื่อนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดมาคำนวณหาต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมแห้ง ทั้ง 9 วิธีการอบแห้ง พบว่าวิธีการอบแห้งหอมหัวใหญ่หั่นวิธีที่ 3 เป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนการผลิตสูงที่สุดคือ 272.33 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง ในขณะที่การอบแห้งด้วยวิธีที่ 7 ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด 253.10 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง (ตารางที่ 4-8) แต่เนื่องจากตลาดหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้งเป็นตลาดที่ค่อนข้างแคบ เป็นการผลิตเพื่อส่งโรงงานดังนั้นจึงมีการกำหนดลักษณะเฉพาะของสินค้าโดยต้องมีสี และขนาดตามที่โรงงานต้องการเท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณภาพแล้วชี้ให้เห็นว่าหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้งด้วยวิธีที่ 9 มีคุณภาพด้านสีที่ไม่แตกต่างกับหอมหัวใหญ่อบแห้งทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนวิธีอื่นๆ เช่นวิธีที่ 3 เป็นวิธีที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาล (รูปที่ 4-23) ซึ่งไม่สามารถขายได้จึงถือว่าเป็นวิธีที่ไม่มีโอกาสทางการตลาด จึงมีเพียงวิธีที่ 9 เท่านั้นที่มีความเป็นไปได้ทางการตลาด ซึ่งเมื่อทำการศึกษาด้านต้นทุนการผลิต พบว่าวิธีที่ 9 ใช้ต้นทุนในการผลิต 254.39 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง จะขายได้ในราคาต่อกิโลกรัมละ 250 บาท ทำให้ขาดทุนต่อกิโลกรัมละ 4.39 บาท (ตารางที่ 4-9) ดังนั้นหากต้องการผลิตหอมหัวใหญ่อบแห้งโดยวิธีที่ 9 ให้ขายได้กำไรจะต้องพยายามลดต้นทุนการผลิตลงจากตารางที่ 4-8 จะเห็นว่าค่าแรงในการหั่นมีราคาสูงถึง 105.11 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง เมื่อพิจารณาารับเหนือดต้นทุนที่ไม่รวมค่าหั่นแล้วพบว่ายังมีกำไร 100.72 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง แสดงว่าหากจ่ายค่าแรงหั่นหอมหัวใหญ่ได้ในราคาที่ต่ำกว่า 100.72 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง ก็จะสามารถทำกำไรได้

ส่วนคุณภาพด้านขนาดของหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผลิตขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ ข้างต้น พบว่ายังคงมีปัญหาในเรื่องความสม่ำเสมอของขนาดสินค้า เนื่องจากในงานทดลองเป็นการหั่นด้วยมือ ซึ่งต่างกับหอมหัวใหญ่หั่นอบแห้งที่ผลิตโดยโรงงานจะมีขนาดที่สม่ำเสมอเนื่องจากใช้เครื่องหั่น ซึ่งนอกจากจะได้ขนาดที่มีความสม่ำเสมอแล้วพบว่ายังเป็นการลดต้นทุนค่าหั่นอีกด้วย ซึ่งหากมีการนำ

เอาเครื่องหันมาใช้สำหรับเกษตรกรจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดสม่ำเสมอและยังสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ ซึ่งจะทำให้ค่าหันลดลงเหลือเพียง 9.18 บาทต่อกิโลกรัมแห้ง (ดูตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวกที่ 2-2) มีผลให้ต้นทุนการอบแห้งวิธีที่ 9 ลดลงเหลือกิโลกรัมละ 158.39 บาท (ตารางที่ 4-10) สามารถทำกำไรได้ถึงกิโลกรัมละ 91.61 บาท ในขณะที่เดียวกันวิธีการหันดังกล่าวก็จะช่วยลดปัญหาด้านความไม่สม่ำเสมอของขนาดหอมหัวใหญ่อบแห้งที่ผลิตขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-8 ต้นทุนการผลิตหอมหัวใหญ่อบแห้งต่อกิโลกรัมแห้ง ที่อบแห้งด้วยวิธีต่างๆ จำแนกตามรายการต้นทุน

รายการ ต้นทุน	จำนวนเงิน (บาท / กิโลกรัมแห้ง)								
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีที่ 5	วิธีที่ 6	วิธีที่ 7	วิธีที่ 8	วิธีที่ 9
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน									
ค่าเครื่องอบแห้ง	6.66	7.81	8.15	5.43	5.72	5.70	4.60	4.81	5.06
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	2.18	2.55	2.66	1.78	1.87	1.87	1.50	1.57	1.66
รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุน	8.83	10.36	10.81	7.20	7.59	7.57	6.10	6.38	6.72
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ									
ค่าวัสดุคิบ	75.18	74.75	74.94	75.18	74.75	74.94	75.18	74.75	74.94
ค่าแก๊สหุงต้ม	43.54	47.09	51.55	53.33	40.33	46.80	52.72	43.58	44.31
ค่าไฟฟ้า	9.54	9.92	9.48	6.63	7.27	7.40	5.74	5.83	6.60
ค่าแรงในการหัน	105.37	104.84	105.11	105.37	104.84	105.11	105.37	104.84	105.11
ค่าแรงในการอบแห้ง	23.56	22.05	20.18	22.07	18.75	17.43	20.74	17.56	16.54
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	0.17	0.26	0.26	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	257.34	258.92	261.52	262.75	246.10	251.85	259.91	246.72	247.67
รวมต้นทุนในการผลิต	266.18	269.28	272.33	269.95	253.69	259.41	266.01	253.10	254.39

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณในภาคผนวกที่ 2-1

ตารางที่ 4-9 การวิเคราะห์ทางการเงินของการอบแห้งหอมหัวใหญ่แห้งวิธีที่ 9

รายการ	จำนวนเงิน
ต้นทุน (บาทต่อกิโลกรัมแห้ง)	254.39
กำไรสุทธิ (บาทต่อกิโลกรัมแห้ง)	-4.39
รายรับเหนือต้นทุนที่ไม่รวมค่าหั่น (บาทต่อกิโลกรัมแห้ง)	100.72

หมายเหตุ : ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณในภาคผนวกที่ 2-1

ตารางที่ 4-10 ต้นทุนการผลิตหอมหัวใหญ่อบแห้งต่อกิโลกรัมแห้ง ที่อบแห้งด้วยวิธีต่างๆ เมื่อคิดค่าใช้จ่ายการหั่นด้วยเครื่องหั่นหอมหัวใหญ่ จำแนกตามรายการต้นทุน

รายการ ต้นทุน	จำนวนเงิน (บาท / กิโลกรัมแห้ง)								
	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีที่ 5	วิธีที่ 6	วิธีที่ 7	วิธีที่ 8	วิธีที่ 9
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน									
ค่าเครื่องอบแห้ง	6.66	7.81	8.15	5.43	5.72	5.70	4.60	4.81	5.06
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	2.18	2.55	2.66	1.78	1.87	1.87	1.50	1.57	1.66
รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุน	8.83	10.36	10.81	7.20	7.59	7.57	6.10	6.38	6.72
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ									
ค่าวัสดุคืบ	75.18	74.75	74.94	75.18	74.75	74.94	75.18	74.75	74.94
ค่าแก๊สหุงต้ม	43.54	47.09	51.55	53.33	40.33	46.80	52.72	43.58	44.31
ค่าไฟฟ้า	9.54	9.92	9.48	6.63	7.27	7.40	5.74	5.83	6.60
ค่าหั่นโดยใช้เครื่องหั่น ^①	9.20	9.15	9.18	9.20	9.15	9.18	9.20	9.15	9.18
ค่าแรงในการอบแห้ง	23.56	22.05	20.18	22.07	18.75	17.43	20.74	17.56	16.54
ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	0.11	0.16	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	161.12	163.14	165.44	166.52	150.35	155.85	163.69	150.97	151.67
รวมต้นทุนในการผลิต	169.95	173.50	176.25	173.73	157.94	163.42	169.79	157.35	158.39

หมายเหตุ : ^① ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าหั่นโดยใช้เครื่องหั่นในภาคผนวกที่ 2-2