การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิงสดโดยใช้อุณหภูมิต่ำ

Study on Optimum Condition for Low Temperature Drying of Ginger

อภินันท์ นัมคณิสรณ์[1] และ ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กทม. 10520
โทรศัพท์: 02-329-8360 กด 1 E-mail: knapinan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา แต่เนื่องจากการอบแห้งโดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถทำให้สารสำคัญในผลิตภัณฑ์เกิดการสูญสลายได้ งานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งขิง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีประโยชน์ทั้งโดยการนำมาบริโภคโดยตรงและการแปรรูปเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ส่วนผสมในเครื่องสำอาง ใช้เป็นยาแก้ท้องอืดท้องเฟ้อ แก้จุกเสียด ขับลม เป็นต้น โดยทั่วไปวิธีการยืดอายุในการเก็บรักษาขิงมักใช้วิธีการอบแห้ง แต่เนื่องจากสารสำคัญในขิง ซึ่งได้แก่ 6-Gingerol สามารถสูญสลายได้เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการอบแห้งขิง โดยศึกษาถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้ง ได้แก่ ความเร็ว อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วของอากาศที่ใช้ทดลองคือ 0.2 0.5 1.1 2.2 4.5 และ 6.5 เมตรต่อวินาที พบว่าความเร็วที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคือ ความเร็ว 0.2 0.5 และ 1.1 เมตรต่อวินาที จากนั้นจึงทำการศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง คือที่อุณหภูมิ 30 45 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาในการอบแห้งได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำแต่ทำให้สารสำคัญบางชนิดที่ไวต่อความร้อนสูญสลายไป ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศพบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (15%RH) สามารถทำการอบแห้งได้เร็วกว่าที่ความชื้นสูง (70%RH) จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งขิงที่อุณหภูมิต่ำ คือ ความเร็วอากาศ 0.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 15 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: การอบแห้ง ขิง การลดความชื้น

Abstract

Drying is a typical process used to reduce moisture content in agricultural products to prolong the storage life of products. Since drying of such products is often carried out at relatively high temperatures, heat sensitive substances in the products can undergo thermal degradation. This project is aimed to study drying of ginger which is an economic crop in Thailand. Ginger is used not only for direct consumption but also as important ingredients in various products such as cosmetic, medicine for treating flatulence, colic, nausea and vomiting. In general, drying of ginger at high temperatures can cause thermal degradation of a useful substance, namely, 6-Gingerol. The objective of this work is, therefore, to study the optimum drying condition of ginger. Key operating parameters that affect drying process were studied; these parameters included velocity, temperature and relative humidity of air. The air velocities used in this study ranged from low values (0.2, 0.5, 1.1 and 2.2 m/s) to the velocities that would fluidize the drying bed (4.5 and 6.5 m/s). The experimental results showed that air velocities in the lower range, namely, 0.2, 0.5 and 1.1 m/s were effective and economic for drying. Comparison of drying temperatures at 30, 45 and 60 °C showed that high temperature-drying required shorter drying time at the expense of promoting the thermal degradation of heat-sensitive compounds. Finally, drying at low and high relative humidity (15 and 70 %RH) was also investigated. Drying at low relative humidity required a shorter drying time as compared to drying at high relative humidity. It is, therefore, concluded that drying of ginger should be carried out with low air velocity (0.5 m/s), low temperature (45°C) and low relative humidity (15%RH), respectively.

Keywords: drying, ginger, dehumidification

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการถนอมอาหารและเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การถนอมอาหาร โดยวิธีการอบแห้งเป็นการยืดอายุการเก็บรักษา โดยพยายามที่จะคงคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิมทั้งลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่น รสและเนื้อสัมผัสซึ่งโดยปกติแล้วการอบแห้งมักจะใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง แต่ในผลิตภัณฑ์บางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสมุนไพรมีสารบางชนิดสลายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง จากปัญหาข้างต้นจึงได้ศึกษาและหาวิธีการอบแห้งแบบต่างๆ และเลือกวิธีการการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและฟิกซ์เบดโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นต่ำในการอบแห้งมาพิจารณาสร้างเครื่องอบแห้งเพื่อขจัดปัญหาดังกล่าว ซึ่งเครื่องอบแห้ง

แบบฟลูอิไดซ์เบดเป็นระบบอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงาน มีการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบทำให้สามารถลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอ

ในการศึกษาสภาวะของการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและฟิกซ์เบดได้เลือกใช้ขิงซึ่งเป็นสมุนไพรไทยที่มีคุณประโยชน์เป็นได้ทั้งอาหารและยา ปัจจุบันในวงกรอุตสาหกรรมขิงแห้งกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดมากขึ้น โดยมีปริมาณการส่งออกเป็นอันดับ 6 ของสินค้าทางการเกษตรด้านพืชผักซึ่งมีมูลค่ากว่ามากกว่าหกร้อยล้านบาทและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกปี [1] ขิงแห้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายในทางอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและในทางเภสัชกรรม จากข้อมูลทางเภสัชวิทยา พบว่า ขิงมีฤทธิ์ต้านจุลชีวะ ลดการอักเสบป้องกันและบรรเทาอาการคลื่นไส้อาเจียนจากการเมารถ เมาเรือ อาการแพ้ท้อง ใช้เป็นยารักษาอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ แน่นจุกเสียด และอาการคลื่นไส้ในผู้ป่วยหลังการผ่าตัดหรือผู้ป่วยเคมีบำบัด [2] เป็นต้น นอกจากนี้ขิงสามารถเสริมให้เกิดสภาวะต้านออกซิเดชันในตับซึ่งช่วยป้องกันการเกิดอาการตับเป็นพิษแบบเฉียบพลัน การต้านการเกิดเนื้องอกและประสิทธิภาพในการต้านมะเร็งของขิงเป็นผลมาจากขิงมีน้ำมันโอเรโอเรซิน ซึ่งที่สารแสดงสมบัติต้านออกซิเดชันของขิงคือสารประกอบในกลุ่ม gingerols โดยสารที่มีปริมาณมากที่สุดคือ 6-gingerol ซึ่งเป็นสารสำคัญที่ให้กลิ่นฉุน รสเผ็ด สามารถยับยั้ง อาการปวดและป้องกันการอักเสบได้และจากการศึกษาพบว่าสาร 6-gingerol สามารถระเหยและเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่นได้ที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการอบแห้งขิงที่อุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงคุณสมบัติทางยาทำให้ได้สมุนไพรมีประสิทธิภาพเหมาะกับการนำไปปรุงยาในลำดับต่อไป การวิเคราะห์หาปริมาณ 6-gingerol สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) [3]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรแต่ละตัวที่ส่งผลต่อการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและฟิกซ์เบดโดยใช้อากาศที่อุณหภูมิและความชื้นต่ำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิงสด ซึ่งนอกจากการมีประสิทธิภาพของการอบแห้งที่ดีแล้วยังช่วยรักษาสารสำคัญในขิง เช่น 6-Gingerol ไม่ให้สลายตัวไปอันเนื่องมาจากการอบที่อุณหภูมิสูงอีกด้วย

3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ye *และคณะ* [4] ศึกษาการอบแห้งแบบดูดซับของเมล็ดถั่วเหลืองด้วยซิลิกาเจลในฟลูอิไดซ์เบด ได้ทำการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้ความชื้นต่ำโดยนำซิลิกาเจลบรรจุไว้ในฟลูอิไดซ์เบดผสมกับเมล็ดถั่วเหลืองเพื่อให้ซิลิกาเจลมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากที่สุดทำให้ความชื้นของอากาศลดลงอย่างสม่ำเสมอแต่ยังคงใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งอยู่ ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องทำการแยกซิลิกาเจลออกจากผลิตภัณฑ์และสิ่งที่นำมาอบต้องมีความแข็งแรงเชิงกล ผู้ทำการวิจัยได้ทดลองตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการอบแห้งมีปริมาณของซิลิกาเจล ความเร็วอากาศและอุณหภูมิ โดยผู้ทำการทดลองได้สรุปว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลาเจลจะช่วยในการอบแห้งดีขึ้นแต่จะส่วนได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นเมื่อเพิ่มมากเกินไปจะไม่ส่งผลต่อการอบแห้ง ความเร็วถ้ามีความเร็วที่มากพอความเร็วจะส่งผลต่อการอบแห้งในช่วงแรกเท่านั้นแล้วในช่วงหลังเมื่อน้ำระเหยออกจากผิวของเมล็ดถั่วเหลืองหมดแล้วความเร็วจะไม่ส่งผลต่อการอบแห้งเนื่องจากถูกจำกัดโดยการแพร่ของน้ำออกจากเมล็ดถั่วเหลืองแทนและทั้งปริมาณซิลิกาเจลกับความเร็วจะไม่ส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายที่สามารถอบแห้ง แต่อุณหภูมิจะส่งผลถึงความชื้นสุดท้ายที่สามารถอบแห้งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การอบแห้งทำได้ดีขึ้น

ศิรินทิพย์*และคณะ* [5] ศึกษาการพัฒนากระบวนการทำแห้งขิงแบบใช้ลมร้อนและการทำแห้งขิงแบบลดความชื้น โดยใช้เครื่องสูบโดยศึกษาหาปริมาณ 6-gingerol พบว่าการทำแห้งด้วยวิธีลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบมีปริมาณ 6-gingerol มากกว่าการทำแห้งด้วยวิธีลมร้อนโดยที่การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสียปริมาณ 6-gingerol น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการระเหยของสารสำคัญเช่นสารในกลุ่ม gingerol เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารอื่น

วศิน เรืองกำเนิด [6] ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและสัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องระเหย 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ใบมะกรูดเป็นวัสดุทดสอบ พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส มีสมรรถนะการอบแห้งดีกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 องศาเซลเซียส ด้านคุณภาพใบมะกรูดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีคุณภาพดีตรงตามความต้องการของท้องตลาดและที่สัดส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 70 เปอร์เซ็นต์ ให้สมรรถนะการอบแห้งดีที่สุด

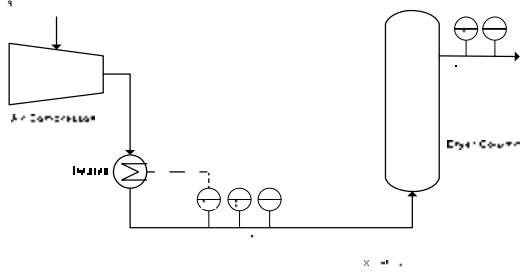
กฤติกา นรจิตร [7] เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันหอมระเหยจากขิงสดที่สกัดด้วยการกลั่นโดยใช้น้ำและการกลั่นโดยใช้ไอน้ำ พบว่าการกลั่นโดยใช้น้ำและไอน้ำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยเท่ากับ 0.27 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่กลั่นโดยใช้ไอน้ำจะต่ำกว่าการใช้น้ำ เนื่องจากการกลั่นด้วยไอน้ำจะมีส่วนกำเนิดของไอน้ำอยู่แยกกับหม้อกลั่นทำให้ความร้อนไม่ได้สัมผัสกับตัวอย่างพืชโดยตรง ดังนั้นการเข้าถึงบริเวณที่สะสมน้ำมันหอมระเหยของเซลล์พืชจึงเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะพืชที่มีน้ำมันหอมระเหยอยู่ลึกลงไปจากชั้นเซลล์ผิว

ธีรศิลป์ ชมแก้ว*และคณะ* [8] เปรียบเทียบผลการสกัดโดยการต้มกลั่นและการกลั่นด้วยไอน้ำกับการสกัดด้วยซ็อกเลต (Soxhlet Extraction) โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย พบว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยซ็อกเลตให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันหอมระเหยมากกว่าวิธีการสกัดแบบอื่นๆ โดยการสกัดด้วยซ็อกเลตมีร้อยละผลได้ของน้ำมันหอมระเหย 0.478 ส่วนการต้มกลั่นและการกลั่นด้วยไอน้ำพบว่าได้ร้อยละผลได้ของน้ำมันหอมระเหย 0.287 และ 0.15 ตามลำดับ

4. วิธีดำเนินงาน

4.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

หั่นขิงสดให้เป็นลูกบาศก์ขนาด 0.5x0.5x0.5 เซนติเมตร น้ำหนักรวม 10 กรัม แล้วนำไปบรรจุลงในคอลัมน์อบแห้งโดยมีการจัดวางอุปกรณ์ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 อุปกรณ์สำหรับการอบแห้งขิงสด

4.2 ศึกษาผลของความเร็วอากาศแห้งต่ออัตราการอบแห้ง

ความเร็วอากาศแห้งที่ใช้ในการอบแห้งมี 6 ค่าคือ 0.2 0.5 1. 2.2 4.5 และ 6.5 เมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่แต่ละความเร็วอากาศแห้งบันทึกค่าน้ำหนักของขิงที่เหลืออยู่ในคอลัมน์ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของอากาศขาออก อุณหภูมิของอากาศขาออกทุกๆ 5 นาทีในช่วง 30 นาทีแรกของการอบแห้ง จากนั้นบันทึกทุกๆ 10 นาทีจนครบ 2 ชั่วโมงและบันทึกทุกๆ 20 นาทีจนครบ 4 ชั่วโมง (เวลารวมที่ใช้อบเท่ากับ 4 ชั่วโมง)

4.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ออัตราการอบแห้ง

เลือกช่วงความเร็วอากาศที่มีประสิทธิภาพในการอบแห้งดีที่สุดจากตอนที่ 4.2 มา 3 ค่าคือความเร็ว 0.2 0.5 และ 1.1 เมตรต่อวินาทีที่ความเร็วอากาศแต่ละค่าทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 15 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศเป็น 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 15 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สภาวะการอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาแสดงในตารางที่ 1

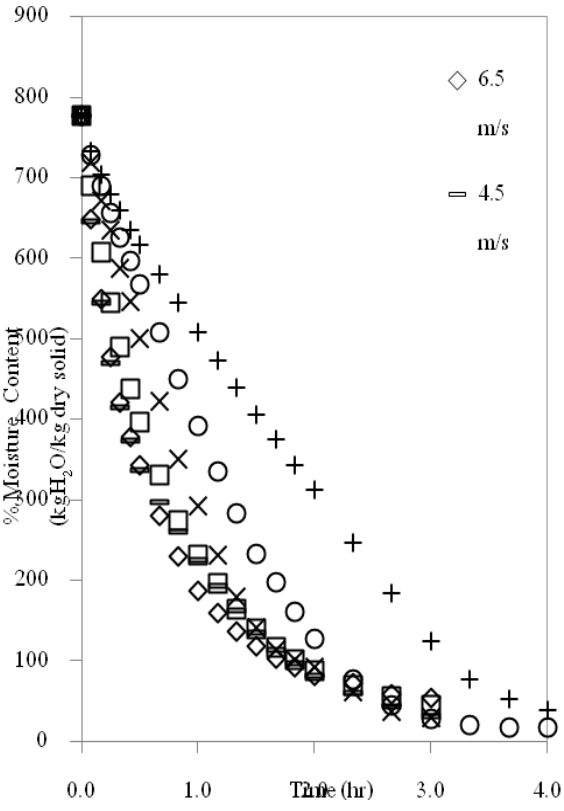
ตารางที่ 1 สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการอบแห้ง

ความเร็วของอากาศ (m/s)	0.2	0.5	1.1	2.2	4.5	6.5
1.%RH 15%, T=30°C	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. .%RH 15%, T=45°C	✓	✓	✓	-	-	-
3. .%RH 15%, T=55°C	✓	✓	✓	-	-	-
4. .%RH 70%, T=55°C	✓	✓	✓	-	-	-

5. ผลการศึกษา/การทดลอง

5.1 อิทธิพลของความเร็วอากาศต่ออัตราการลดลงของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในขิง

ความเร็วอากาศเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งหรืออัตราการลดความชื้นของขิง โดยความเร็วจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการอบแห้ง กล่าวคือเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศอัตราการอบแห้งของขิงจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2 แต่ลักษณะการลดลงของความชื้นจะเป็นเช่นนี้เฉพาะในช่วงแรกของการอบแห้งเท่านั้นเนื่องจากในช่วงแรกความชื้นหรือน้ำที่ต้องการกำจัดในการอบแห้งจะอยู่บริเวณผิวหน้าของขิงทำให้เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศทำให้อัตราการไหลของอากาศต่อหน่วยเวลาในระบบมากขึ้นส่งผลให้น้ำสามารถถ่ายเทจากผิวขิงไปยังอากาศได้มากขึ้นแต่เมื่อเวลาผ่านไปน้ำถูกระเหยออกจากผิวจนหมดทำให้น้ำที่ระเหยเป็นน้ำที่อยู่ภายในเนื้อขิง ดังนั้นน้ำจะต้องแพร่จากภายในเนื้อขิงออกมายังบริเวณผิวขิงส่งผลให้อัตราการอบแห้งในช่วงนี้ไม่ได้ขึ้นกับความเร็วอากาศแต่จะถูกจำกัดโดยค่าสัมประสิทธิการแพร่ของสารแต่ละชนิด ดังนั้นจึงทำให้ในช่วงนี้ความเร็วอากาศไม่ใช่ตัวแปรที่กำหนดอัตราการอบแห้งแต่จะเป็นค่าสัมประสิทธิการแพร่ของสารแต่ละชนิดแทน

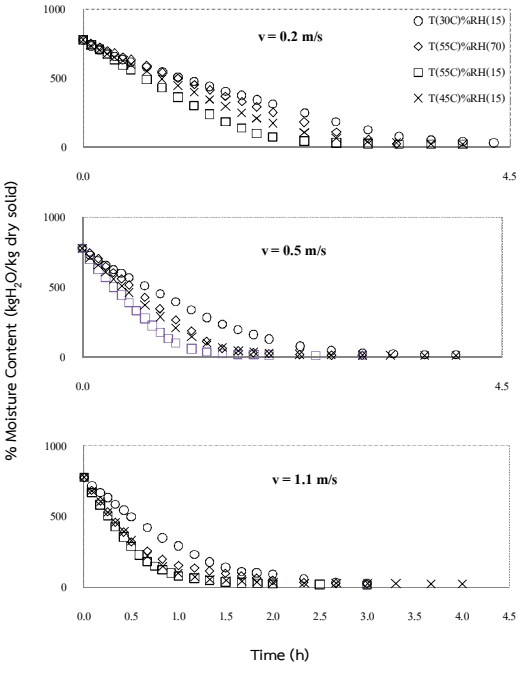


ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ความชื้นในขิงที่ความเร็วอากาศต่างๆ (T = 30 °C และ %RH = 15)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งที่ความเร็วอากาศต่างกันในภาพที่ 2 จะเห็นว่าที่ความเร็วอากาศสูงนั้นส่งผลต่ออัตราการอบแห้งเฉพาะในช่วงแรกเท่านั้น จากนั้นอัตราการอบแห้งในแต่ละความเร็วจะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความเร็วอากาศสูงในการอบแห้งเพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองปริมาณอากาศและ

พลังงานที่ใช้ไปโดยเปล่าประโยชน์และไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งจึงเลือกความเร็วอากาศที่ไม่สูงในการศึกษาสภาวะต่างๆ โดยความเร็วอากาศที่เลือกมาศึกษาต่อคือ ความเร็ว 1.1 0.5 และ 0.2 เมตรต่อวินาที

เนื่องจากแรงขับเคลื่อนของกระบวนการอบแห้งมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความแตกต่างของความชื้นระหว่างขิงและอากาศที่ใช้อบแห้ง ดังนั้นสภาวะที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นยิ่งมากส่งผลให้ผลของการอบแห้งสูงขึ้น อิทธิพลของความเร็วอากาศต่อเวลาของการอบแห้งแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ที่ความเร็วอากาศ 0.2 0.5 และ 1.1 m/s ตามลำดับ

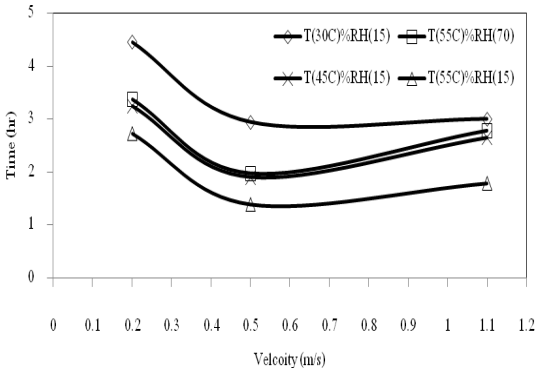
อุณหภูมิของขิงที่อบแห้งในตอนเริ่มต้นเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 780 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเมื่อพิจารณาที่สภาวะอุณหภูมิเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นสภาวะที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นมากที่สุดทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด แต่ที่สภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 15 เปอร์เซ็นต์มีความแตกต่างเพียงแค่เฉพาะความชื้นเท่านั้นส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุดและหากพิจารณาสภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 70 เปอร์เซ็นต์กับสภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 15 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่าสภาวะที่อุณหภูมิเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 15 เปอร์เซ็นต์มีความสามารถในการอบแห้งดีกว่าแสดงให้เห็นว่าผลของความแตกต่างของความชื้นในอากาศ 55 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ (70-15 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์) มีผลต่อการอบแห้งมากกว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (55-45 องศาเซลเซียส)

5.2 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิงสด

เวลาที่ใช้ในการอบแห้งขิงสดเพื่อให้มีค่าความชื้นเป้าหมายอยู่ที่ 30% โดยใช้ความเร็วอากาศต่างๆ แสดงในภาพที่ 4 หากจัดเรียงลำดับสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งจากมากไปน้อยสามารถจัดเรียงได้ดังนี้คือ

1. อากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์
2. อากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์
3. อากาศที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์
4. อากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์

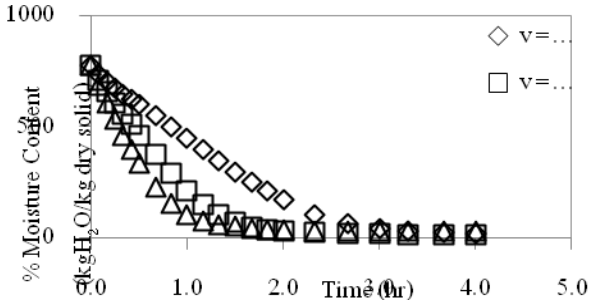
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์จะใช้เวลาในการอบแห้งนานเกินไปทำให้ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง แต่ในสภาวะอากาศที่อุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์แม้ว่าจะใช้เวลาน้อยที่สุดแต่ขิงที่ใช้ในการอบแห้งจะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาวะอื่นทำให้ส่งผลกระทบต่อปริมาณสารสำคัญ จากการพิจารณาสภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์จะเห็นว่าใช้ระยะเวลาอบแห้งมากกว่าสภาวะอากาศที่อุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์เพียงสภาวะเดียวแต่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งได้ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักสำหรับการอบแห้งนี้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งขิงคือ สภาวะอากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้มีค่าความชื้นในขิง 30% ที่สภาวะต่างๆ ในแต่ละความเร็ว

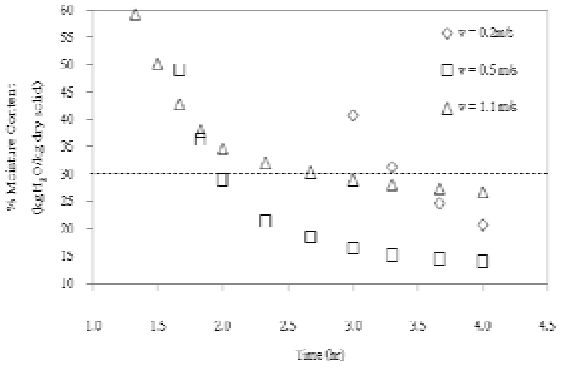
5.3 การศึกษาผลของความเร็วอากาศในการอบแห้ง

จากหัวข้อที่ 5.2 ทำให้ทราบว่าสภาวะอากาศที่เหมาะสมที่สุดต่อการอบแห้งขิงคือ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการเปรียบเทียบความเร็วอากาศในระดับต่างๆ ในสภาวะนี้เพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้ง ภาพที่ 5 แสดงผลของความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้ง ซึ่งพบว่าที่ความเร็วอากาศสูงจะส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วกว่าความเร็วอากาศต่ำแต่จะเป็นเช่นนี้เฉพาะในช่วงแรกเท่านั้นและต่อมาความเร็วจะไม่ส่งผลต่อการอบแห้งเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1



ภาพที่ 5 อัตราการอบแห้งที่ความเร็วอากาศต่างๆ กัน (อากาศที่ T = 45 °C และ %RH = 15)

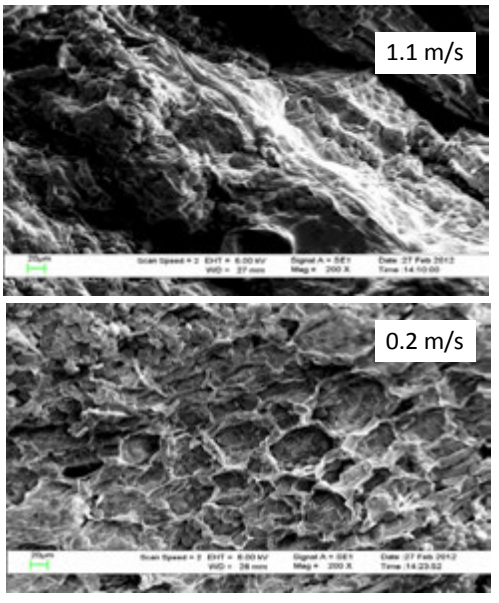
ที่ความชื้นสัมพัทธ์เป้าหมาย 30 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วที่ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วที่สุดโดยใช้เวลาเป็นเกณฑ์กำหนดความสามารถในการอบแห้งคือ ความเร็วเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยที่ความเร็ว 0.5 1.1 และ 0.2 เมตรต่อวินาทีใช้เวลา 2 2.7 และ 3.4 ชั่วโมงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 จึงสามารถสรุปได้ว่าความเร็วอากาศที่เหมาะสมที่สุดคือความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นสภาวะและความเร็วอากาศที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งคือสภาวะที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์และความเร็วอากาศเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 6 อัตราการอบแห้งที่ความเร็วอากาศต่างๆ กัน ณ ความชื้นสัมพัทธ์เป้าหมาย 30% (อากาศที่ T = 45 °C และ %RH = 15)

5.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของขิงหลังจากการอบแห้ง

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของขิงหลังจากการอบแห้งที่ความเร็วอากาศ 1.1 และ 0.2 เมตรต่อวินาทีแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วอากาศสูง (1.1 เมตรต่อวินาที) ผิวของขิงมีการหดตัวมากกว่าที่ความเร็วอากาศต่ำ (0.2 เมตรต่อวินาที) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าที่ความเร็วอากาศสูงค่าความชื้นสมดุลในขิงหลังจากการอบแห้งลดลงน้อยว่าที่ความเร็วอากาศต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากการหดตัวของผิวที่เกิดขึ้นเร็วเกินไปในตอนแรกจะปิดกั้นไม่ให้ความชื้นที่อยู่ลึกลงไปในพื้นผิวแพร่ขึ้นสู่ด้านบนได้โดยสะดวก ทำให้อัตราการอบแห้งต่ำลงในช่วงหลัง ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่พบในกรณีที่ทำการอบแห้งโดยใช้ความเร็วอากาศต่ำ



ภาพที่ 7 ภาพถ่าย SEM ของพื้นผิวของขิงที่ใช้ความเร็วในการอบแห้ง 1.1 และ 0.2 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ (ที่กำลังขยาย 100 เท่า (อากาศที่ T = 45 °C และ %RH = 15 ระยะเวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง)

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิงคือ อากาศที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากที่สภาวะนี้สามารถลดค่าความชื้นของขิงลงให้อยู่ในระดับมาตรฐานได้โดยใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญและน้อยกว่าสภาวะที่อากาศอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์เล็กน้อยแต่เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจึงเหมาะสมสำหรับการอบแห้งที่เน้นในการรักษาสารสำคัญไม่ให้เสื่อมสภาพไปเนื่องจากความร้อน สำหรับความเร็วอากาศที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคือ ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาทีเนื่องจากที่ความเร็ว

อากาศนี้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าความเร็วอากาศ 0.2 เมตรต่อวินาทีอย่างมีนัยสำคัญทำให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมและยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าเนื่องจากใช้ปริมาณอากาศน้อยกว่าและใช้ระยะเวลาสั้นกว่าอีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณเงินสนับสนุนงานวิจัยปีงบประมาณ 2555 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

8. การอ้างอิง

[1] กรมการค้าต่างประเทศ (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.dft.moc.go.th [1 กันยายน 2555]

[2] ไฉน ยอดเพชร, "พืชผักอุตสาหกรรม", พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ, รั้วเขียว, 2542.

[3] Nobrega, L. P., Monteriro, A. R., Meireles, M. A. A. and Marques, M. O. M., "Composition of Ginger (Zingiber officinale Roscoe) Oleoresin Obtained with Ethanol and Isopropanol Compared with that Obtained with Pressurized CO_2, Cienc. Tecnol. Aliment. 17: 408-412, 1997.

[4] Jingsheng Ye, Qiaojun Luo, Xiaolan Li, Qing Xu, Zhanyong Li, "Sorption Drying of Soybean Seeds with Silica Gel in a Fluidized Bed Dryer", International Journal of Food Engineering, Vol. 4, 2008.

[5] ศิรินทิพย์ หนองแสง, สิงหนาท พวงจันทร์แดง, "การพัฒนากระบวนการทำแห้งขิง โดยการทำแห้งแบบใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบลดความชื้นโดยใช้เครื่องสูบ", ว. วิทย. กษ. 39 : 3 (พิเศษ) : 111-114, 2551.

[6] วศิน เรืองกำเนิด, "การประเมินสมรรถนะ การอบแห้งสมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.

[7] กฤติกา นรจิตร, "คุณสมบัติของสารสกัดจากพืชวงศ์ขิง: อิทธิพลของวิธีการสกัดต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและสารต้านอนุมูลอิสระ", วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.

[8] ธีรศิลป์ ชมแก้ว, "การสกัดน้ำมันหอมระเหยจากขิง", ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.