บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง ระยะห่างของพื้นที่รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด และตำแหน่งบนถาดอบแห้ง ล้วนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรด ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้ง รวมถึงระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นของเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรดเมื่อทำการทดสอบที่สภาวะความดันบรรยากาศปกติ โดยที่ทุกระดับของค่าอุณหภูมิที่ตั้ง ระยะห่างจากหลอดอินฟราเรด และตำแหน่งต่างๆ บนถาดอบแห้งนั้น ทำให้เกิดลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งแบ่งเป็น 2 ช่วงใหญ่ๆ คือ ในช่วงแรกเป็น “ช่วงขึ้น” ของอุณหภูมิซึ่งใช้ระยะเวลาที่สั้นใกล้เคียงกัน ในขณะที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ระดับการทดลองต่างๆ แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิบนถาดบริเวณที่ตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางหลอดอินฟราเรดนั้นมีค่าสูงที่สุด และอุณหภูมิบนถาดที่วางใกล้กับหลอดอินฟราเรดมากกว่า จะเกิดลักษณะพุ่งเกินของอุณหภูมิได้เสมอ โดยเฉพาะอุณหภูมิบริเวณที่ตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางหลอดอินฟราเรด ส่วนอุณหภูมิบนถาดที่วางห่างจากหลอดอินฟราเรดมากกว่า จะไม่เกิดลักษณะพุ่งเกินของอุณหภูมิ หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นช่วงที่สอง คือ “ช่วงเข้าสู่สภาวะคงที่” ของอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยบนถาดมีความแตกต่างกัน โดยมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งค่าที่สูงขึ้น และอุณหภูมิเฉลี่ยบนถาดที่วางใกล้กับหลอดอินฟราเรดมากกว่ามีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบนถาดที่วางห่างจากหลอดอินฟราเรดมากกว่า

ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเกิดลักษณะพุ่งเกินของอุณหภูมิเมื่อตั้งค่าของอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส บริเวณตำแหน่งของถาดที่อยู่ใกล้กับหลอดอินฟราเรด ในขณะที่จะไม่เกิดลักษณะดังกล่าวนี้เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิไว้สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ทั้งสองตำแหน่งของถาดอบแห้ง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดี และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ตั้งค่า แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมแบบ PID สามารถทำงานได้ดีในย่านของอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ศึกษา ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง และระยะห่างจากหลอดอินฟราเรดไม่ส่งผลต่อการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิระบบทำความเย็น การตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งที่สูง และตำแหน่งของถาดอยู่ห่างจากหลอดอินฟราเรดส่งผลให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้หลอดอินฟราเรดมากกว่า

2) อัตราส่วนของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อส่วนผสมน้ำส้ม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส่วนผสมน้ำส้ม ส่งผลต่อสมบัติทางด้านกายภาพของโฟมน้ำส้ม โดยโฟมน้ำส้มมีอัตราการแยกตัวของของเหลวสูงขึ้น ความหนาแน่นมากขึ้น และค่าโอเวอร์รันลดลงตามปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในส่วนผสมน้ำส้มที่เพิ่มขึ้น โฟมน้ำส้มมีอัตราการแยกตัวของของเหลวลดลง ความหนาแน่นลดลง และค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของสารที่ก่อให้เกิดโฟมต่อส่วนผสมน้ำส้มที่สูงขึ้น หรือเมื่อใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟมในปริมาณมากขึ้น สำหรับเวลาที่ใช้ในการตีปั่นโฟมส่งผลต่อสมบัติของโฟมน้ำส้มค่อนข้างน้อยมาก ยกเว้นเมื่อใช้ส่วนผสมน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 35°Brix และใช้ปริมาณสารที่ก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการตีปั่นโฟมส่งผลเป็นอย่างมากต่อความหนาแน่น ค่าโอเวอร์รัน และความคงตัวของโฟมน้ำส้ม

3) สภาวะปฏิบัติการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรด ได้แก่ อุณหภูมิและความดันส่งผลต่อค่า a_w และค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผง โดยการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้นและความดันต่ำลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงที่มีค่า a_w ลดลง มีค่าสี L* และค่าสี b* เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง การใช้สารก่อโฟมและทำให้โฟมคงตัว 2 ชนิดร่วมกันที่ระดับความเข้มข้นต่ำเกินไป ทำให้ได้โฟมน้ำส้มที่มีความคงตัวได้ที่สภาวะปกติ แต่ยังมีความคงตัวไม่มากพอที่จะช่วยทำให้โฟมมีความคงทนแข็งแรงภายใต้สภาวะการทำแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยเฉพาะเมื่อใช้ความดันต่ำมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาเก็บข้อมูลด้านต่างๆ เกี่ยวกับระบบการทำงานพื้นฐานของเครื่องมือเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญก่อน ข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ผู้ใช้เทคนิคหรือกรรมวิธีการผลิตนั้นทราบ และมีความเข้าใจถึงศักยภาพที่แท้จริงของเครื่องมือที่จะใช้งาน ชนิด และคุณลักษณะเฉพาะของอาหารที่เหมาะสมในการนำมาทำแห้ง อีกทั้งสามารถทราบข้อจำกัด และออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารตามรูปแบบที่ต้องการได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2) ควรมีการศึกษาผลของชนิด และความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม และสารที่ทำให้โฟมคงตัวที่สามารถใช้ได้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีจำหน่ายในเชิงการค้าซึ่งมีอยู่หลายชนิดที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านกายภาพของโฟมน้ำส้ม หากสามารถค้นคว้าและวิจัยทำให้ได้ทราบถึงสารที่สามารถแสดงคุณสมบัติที่เป็นทั้งสารที่ก่อโฟม และทำให้โฟมน้ำส้มคงตัวและคงทนต่อกระบวนการทำแห้งภายใต้สภาวะที่หลากหลายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือวิธีการทำแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มมูลค่าของส้มในประเทศไทยได้ ตลอดจนเป็นการสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีทางเลือกประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

3) น่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ และเปรียบเทียบข้อมูลด้านต่างๆ เช่น ผลของการเตรียมโฟมน้ำส้มที่มีต่อสมบัติทางด้านกายภาพของโฟม และผลของสภาวะปฏิบัติการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งสุญญากาศร่วมรังสีอินฟราเรด เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่พบข้อมูลการศึกษาวิจัยที่อาจเป็นสภาวะปฏิบัติการเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้ ยังมีแง่มุมในการศึกษาอยู่น้อย จึงอาจยังไม่สามารถสรุปผลการศึกษาเพื่อหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมในทิศทางที่ชัดเจนได้มากนัก ทั้งในด้านของการทำโฟมแมตน้ำส้ม ซึ่งควรมีการศึกษาปัจจัยต่างๆ เพิ่มเติมทั้งชนิดและความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม และทำให้โฟมคงตัว อุณหภูมิของส่วนผสมก่อน และหรือ/ ระหว่างตีปั่นให้เกิดโฟม ระดับความเร็วในการตีปั่นโฟม ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตีให้เกิดโฟม และทำให้โฟมมีความคงตัวดี (รวมถึงการพิจารณาเลือกช่วงระยะเวลาในการสุ่มเก็บตัวอย่างโฟมไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้วย) รวมทั้งการเลือกวิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโฟม และควรมีการศึกษาสมบัติทางกายภาพของโฟมที่หลากหลายขึ้นกว่าเดิม รวมถึงการวิเคราะห์ค่าความหนืดของส่วนผสม และโฟมเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของโฟมภายใต้สภาวะการเตรียมโฟมที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้น่าจะยิ่งช่วยทำให้วิเคราะห์ และพิจารณาเลือกสภาวะการเตรียมโฟมน้ำส้ม หรือโฟมอาหารอื่นๆ ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และมีความชัดเจนมากขึ้น เพื่อจะได้โฟมอาหารที่มีคุณลักษณะที่ดี สามารถนำไปผ่านกระบวนการทำแห้ง และการเก็บผลิตภัณฑ์ผงสุดท้ายได้ตามความต้องการ

4) เนื่องจากโฟมอาหาร เช่น โฟมน้ำผลไม้ได้มีการนำมาวิจัย และพัฒนาในด้านกระบวนการเตรียมแบบโฟมแมต และในรูปแบบการพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก จึงน่าจะมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติเชิงความร้อนของโฟมน้ำผลไม้ ได้แก่ ค่าความร้อนจำเพาะ ค่าการนำความร้อน การแพร่ความร้อน เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องเหล่านี้ ยังไม่มีการวิจัย และเป็นข้อมูลที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีความสำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการวิเคราะห์และคำนวณในการทำแห้งโฟม หรือหาเส้นลักษณะเฉพาะของการทำแห้งโฟมได้

5) หากสามารถมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของโฟมน้ำส้มก่อนนำมาทำแห้งให้มีความคงตัว และมีความต้านทานมากขึ้นต่อสภาวะการทำแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และใช้ความดันสุญญากาศไม่มากนักได้ น่าจะทำให้สามารถใช้อุณหภูมิในการทำแห้งในระดับต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียสได้ และทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำแห้งในด้านการใช้พลังงานที่คุ้มค่าได้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลการศึกษาในครั้งนี้ ผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 0.100 บาร์ มีค่า a_w ที่ใกล้เคียงกับค่า a_w ของผลิตภัณฑ์น้ำส้มผงที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ความดันระดับต่างๆ ทุกระดับ และน่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ในทิศทางที่ดีเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

6) ในการนำเทคโนโลยีการทำแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดมาใช้ในทางอาหารนั้นยังมีข้อมูลอยู่น้อย จึงน่าจะมีการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดลักษณะนี้ในการพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารแห้งทั้งชนิดและรูปแบบที่มีอยู่เดิมแต่ใช้กรรมวิธีการทำแห้งอื่น ซึ่งอาจมีการใช้พลังงานสูงในกระบวนการผลิต และยังอาจมีการถ่ายเทมลภาวะออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก รวมทั้งการสร้างผลิตภัณฑ์อาหารแห้งใหม่จากการใช้กรรมวิธีทำแห้งที่สามารถช่วยให้ใช้พลังงานในห่วงโซ่การผลิตอาหารอย่างคุ้มค่าได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved