บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

แครอทเป็นพืชกินหัวที่มีปลูกมากในประเทศไทยและเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว แครอทมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกและเอเชียกลาง ออกดอกราวเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ดอกแตกเป็นชั้นคล้ายร่ม ชั้นนอกสีชมพู ตรงกลางสีม่วงแดง แครอทสมัยโบราณมีเนื้อแข็ง เสี้ยนเยอะเหมือนไม้ สีของหัวแครอทมีตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีม่วง แต่แครอทสีส้มที่รับประทานกันอยู่ทุกวันนี้เป็นแครอทที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์เมื่อศตวรรษที่ 18 นี้ อย่างไรก็ตาม ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวคุณภาพของแครอทจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องมาจากแครอทจะมีการคายน้ำสูง เหี่ยวเร็ว จึงได้มีการนำการอบแห้งมาใช้เพื่อคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้โดยการลดความชื้น ซึ่งนอกจากจะเพื่อยืดเวลาการเก็บรักษาแล้ว การอบแห้งยังสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแครอท แครอทอบแห้งและแครอททอดกรอบสามารถบริโภคเป็นอาหารว่างหรือใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเช้า (ซีเรียล) แต่การอบแห้งด้วยลมร้อนใช้เวลาในการอบนานและการทอดกรอบ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีปริมาณน้ำมันสูงและไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะมีกลิ่นหืน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงได้ถูกนำมาใช้แทนการอบแห้งด้วยลมร้อนและการทำแครอททอดกรอบเนื่องมาจากการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นวิธีการอบแห้งอีกวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพสูงโดยให้อัตราการอบแห้งสูง ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมาก มีการหดตัวน้อย คุณภาพสีดี ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการอบแห้งแครอทโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งที่มีคุณภาพดี และลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์สภาวะการอบแห้ง คือ อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีผลต่อการอบแห้งแครอทด้านเวลาอบแห้งและคุณภาพ และนำผลมาพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้ง รวมถึงหาปัจจัยการอบแห้งที่เหมาะสมของแครอทแผ่น

1.2 สรุปสาระสำคัญและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันทั่วไปหรือกำลังอยู่ในระดับการศึกษาค้นคว้ามีหลายกระบวนการด้วยกัน เช่น การอบแห้งแบบลมร้อน ไมโครเวฟ ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยปั๊มความร้อน และไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเบด แต่ในอุตสาหกรรมอาหาร มักนิยมใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ตลอดจนสามารถจัดหาเครื่องอบแห้งและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมาใช้งานได้ง่าย โดยกระบวนการอบแห้งแต่ละแบบจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

หลังการอบแห้งที่ต่างกัน ซึ่งสี การหดตัวและเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งร่วมกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งปัจจุบันมีผู้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งแครอทด้วยวิธีหลากหลายวิธี โดยทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งดังนี้

สิริมา สุขพรรณ์ (2541) ได้ทำการทดลองศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอท อุณหภูมิที่ใช้แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 60 และ 55°C, 70 และ 65°C และ 80 และ 75°C พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 100 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 65°C อบต่อเป็นเวลา 50 นาที จะให้ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ และปริมาณบีตา-แคโรทีนสูง จึงเลือกตัวอย่างนี้เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป โดยการหาองค์ประกอบทางเคมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และน้ำหนักหลังการคืนรูปของผลิตภัณฑ์ แครอทอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้น 4.13% โปรตีน 9.03% ไขมัน 2.03% คาร์โบไฮเดรต 66.12% เถ้า 7.47% เส้นใย 11.21% ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือ 1464.95 ppm. ปริมาณบีตา-แคโรทีน 232.65 ไมโครกรัม/กรัม ซึ่งคิดเป็น 50.37% เมื่อเทียบกับปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอทสด จากนั้นศึกษาผลของค่า water activity (a_w) ที่มีต่อปริมาณบีตา-แคโรทีน ในช่วง a_w 0.42-0.65 พบว่า แครอทอบแห้งที่มีค่า a_w สูงจะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีน ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 °C ไว้ได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ต่ำ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ในสภาวะสุญญากาศพบว่า ปริมาณบีตา-แคโรทีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น โดยเริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 100 โคโลนี/กรัม

อัศวิน ชินธรรมมิตร์ (2546) ทำการศึกษาการอบแห้งแครอทด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C เวลา 19, 17 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70°C ซึ่งให้แครอทที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ต่ำที่สุด คือ 0.32 และค่าความแน่นเนื้อของแครอทคืนรูปที่ 20 นาที สูงที่สุด คือ 26.90 kg/m^3 แต่การอบแห้งด้วยลมร้อนมีปัญหาในเรื่องเวลาในการอบแห้งช่วงสุดท้ายนาน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีการหดตัวสูง ดังนั้นจึงทำการศึกษาการลดเวลาในการอบโดยเปรียบเทียบการลวกแครอทด้วยไมโครเวฟและไอน้ำก่อนการอบแห้งด้วยลมร้อนและการใช้ไมโครเวฟหลังการอบด้วยลมร้อน พบว่าการลวกแครอทด้วยไอน้ำก่อนการอบแห้งเป็นเวลา 5 นาที เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เนื่องจากให้ค่าความแน่นเนื้อของแครอทลวกสูงที่สุด คือ 130.72 kg/m^3 และให้ค่าสีแครอทแห้งที่ดีกว่า มีค่า L*, a*, b* เท่ากับ 49.08, 36.56 และ 40.13 ตามลำดับ คือให้สีน้ำตาลน้อยกว่าการลวกด้วยคลื่นไมโครเวฟ หลังจากนั้นอบแห้งแครอทด้วยลมร้อนเป็นเวลา 2, 2.5 และ 3 ชั่วโมง แล้วต่อด้วยการใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 80, 240 และ 400 วัตต์ พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และให้ความร้อนต่อด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ 80 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที ได้แครอทที่มี

ลักษณะแห้งไม่พองร้อยละ 83.14 และไหม้ร้อยละ 16.85 และการใช้ไมโครเวฟหลังจากการอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงจาก เดิม 10 ชั่วโมง เหลือเพียง 3 ชั่วโมง 15 นาที และเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด พบว่า เซลล์ส่วนตรงกลางชิ้นยุบตัวไม่มีรูพรุน แต่ส่วนขอบชิ้นมีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่าและเหี่ยวย่นน้อยกว่าตัวอย่างที่อบแห้งแบบลมร้อนอย่างเดียว

ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งแครอทด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า แครอทที่ใช้ทดลองถูกหั่นเป็นแว่นและถูกอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 100% d.b. ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัยในการเก็บรักษา (ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.65) สมบัติทางกายภาพที่ศึกษา คือ สีและการหดตัว สำหรับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง คือ 60, 70 และ 80 °C การอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้าทดลองที่อุณหภูมิเดียวกันกับอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว แต่ทำการแปรค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5 kV/cm จากผลการทดลองพบว่า ทั้งอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งและความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น ด้านคุณภาพของสีของแครอทหลังการอบแห้ง พบว่า แครอทหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิสูงมีความสว่างน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ขณะที่ความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองมีค่ามากกว่า แต่ถ้าหากพิจารณาการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง พบว่า ความเข้มของสนามไฟฟ้ามีแนวโน้มทำให้แครอทสว่าง แดง และเหลืองลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า สีของแครอทค่อนข้างใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ ($p \leq 0.05$) พบว่าแครอทที่อบแห้งด้วยทั้ง 2 วิธี มีความสว่าง ความเป็นสีแดง และความเป็นสีเหลือง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าค่าเฉลี่ยของการหดตัวของทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Brown et al. (2007) ได้ทำการทดลองดึงน้ำออกจากแครอทรูปทรงกระบอกโดยใช้ SCCD (supercritical carbondioxide)* โดยทำการทดลองที่ระดับความดัน 20 MPa และตรวจสอบผลกระทบของอุณหภูมิและตัวทำละลาย (เอทานอล) ในการทดลองจะเปรียบเทียบว่า กลไกของการตากแห้ง (air-drying) นั้นมีความแตกต่างกับวิธี SFE** และ ethanol modified SCCD โดยใช้ x-ray microtomography และ light microscope ดูความแตกต่างของความผิดปกติในโครงสร้างของชิ้นแครอทอบแห้ง พบว่าแครอทที่ใช้การอบแห้งในภาวะ supercritical fluid จะคงรูปได้ดีกว่าแครอทตากแห้ง (air-drying) ที่จะหดเสียรูป ส่วนตัวอย่างแครอทที่อบแห้งด้วย ethanol-modified SCCD นั้นจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า (less dense) ทำให้มีความสามารถในการคืนความชื้นกลับได้ดีกว่าแครอทตากแห้ง (air-drying)

*SCCD (supercritical carbondioxide) คือ การใช้เทคนิคซูเปอร์คริติคัลฟลูอิดที่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เตรียมอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ไลโปโซมและสกัดสารต่างๆ

**SFE (Supercritical fluid extraction) คือ เทคนิคการสกัดสาร โดยใช้ซูเปอร์คริติคัลฟลูอิด มีข้อดี คือ เป็นวิธีการที่ใช้ความร้อนต่ำและมีประสิทธิภาพเช่นเดียวกับการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้สกัดสารประเภทไขมันและน้ำมันต่างๆ โดยเฉพาะการสกัดน้ำมันหอมระเหยจะได้กลิ่นใกล้เคียงกับวัตถุดิบต้นกำเนิด มีตัวอย่างงานวิจัยจำนวนมากที่นำเทคนิคนี้ มาสกัดน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพร อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการสกัดจะแตกต่างกันขึ้นกับประเภทหรือชนิดของวัตถุดิบต้นกำเนิดและสารสำคัญที่ต้องการ

Berruti (2008) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศต่อการอบแห้งของแครอททรงกระบอก ซึ่งถูกลวก, ปอกเปลือก และไม่ได้ถูกทำอะไร โดยทำการทดลองอบแห้งในอุโมงค์อบแห้งที่อุณหภูมิอากาศ 21, 42 และ 56°C และที่ความเร็วลมที่ผิว 0.5, 0.625, 0.75 และ 0.95 m/s และได้มีการพัฒนาแบบจำลองการอบแห้งโดยใช้พื้นฐานจาก Crank Computational Model โดยได้นำการหดตัวและขีดจำกัดการถ่ายเทมวลภายในและภายนอกมาพิจารณาเพื่อทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความชื้นและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และค่าพลังงานกระตุ้นสำหรับการแพร่ความชื้นมีค่าเท่ากับ 31.76 kJ/mol

Aghbashlo et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมการอบแห้ง ซึ่งทำการทดลองโดยนำชิ้นแครอทหั่นบาง 5 มิลลิเมตร นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C อัตราการไหลของอากาศร้อน 0.61, 1.22 และ 1.83 kg/s และ อัตราป้อนแครอทที่ 2.98×10^{-4}, 3.48×10^{-4} และ 4.16×10^{-4} kg/s ซึ่งทำการประเมินผลการทดลองโดยการวัดค่าน้ำหนักที่หายไปของแครอทแห้ง การใช้พลังงาน อัตราการใช้พลังงาน พลังงานภายในที่สูญเสีย และประสิทธิภาพของพลังงานภายใน ในการทดลองใช้แครอท 250 กรัมในแต่ละชุดการทดลองและพบว่าน้ำหนักที่ลดลงของวัตถุดิบมีค่าอยู่ที่ 51.6-84.4% ของน้ำหนักก่อนอบแห้ง ค่าการใช้พลังงานอยู่ในช่วง 3.78-25.57 kJ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization Ratio; EUR)* เท่ากับ 0.16-0.38 ค่าพลังงานภายในที่สูญเสียและประสิทธิภาพของพลังงานภายในที่สูญเสียอยู่ในช่วง 0.67-14.16 kJ/s และ 0.56-0.93 kJ/s ตามลำดับ

*อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานที่เป็นประโยชน์ (Energy Utilization Ratio; EUR) ในกระบวนการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่เป็นประโยชน์

$$EUR = \frac{\text{ความร้อนที่ใช้สำหรับการระเหยความชื้นภายในวัสดุพรุน}}{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ป้อนให้กับห้องอบแห้ง}} \qquad (1.1)$$

Kocabiyik et al. (2009) ได้ทำการทดลองอบแห้งแครอทด้วยอินฟาเรด จากความชื้นเริ่มต้น 8.52 kg water/kg dry จนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 0.11 kg water/kg dry ทำการทดลองโดยใช้แสงอินฟาเรดที่พลังงาน 300, 400 และ 500 W และความเร็วลมที่ 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s โดยศึกษาอัตราการอบแห้ง, เวลาในการอบแห้ง, การใช้พลังงาน และคุณภาพของแครอทแห้ง (การหดตัว, อัตราการคืนความชื้น และสี) พบว่า เวลาที่ใช้ในการอบที่แสงอินฟาเรด 300, 400 และ 500 W ที่ความเร็วอากาศ 1 และ 2 m/s คือ 252 และ 272 นาที, 205 และ 236 นาที และใช้เวลา 145 และ 155 นาที ตามลำดับ อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังอินฟาเรดและลดความเร็วโดยใช้พลังงาน 12.22-14.58 MJ/kg เพื่อดึงน้ำออก และพบว่าในภาวะที่ต่างกันนั้นส่งผลต่อการหดตัว อัตราการคืนความชื้น และสีของแครอทต่างกัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งแครอท จะพบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อกระบวนการอบแห้ง คือ อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยบางส่วนที่ศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรอื่นๆที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้งเช่นกัน เช่น ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ โดยในงานวิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งของผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ด้วยวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังนี้

ทวีชัย วงศ์ศักดิ์ไพโรจน์ (2543) ทดลองอบแห้งหน่อไม้โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน พบว่าอัตราการอบแห้งหน่อไม้โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอยู่ในช่วง 140 – 160°C คุณภาพในด้านสีของหน่อไม้หลังการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูงตลอดการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับหน่อไม้แห้งที่มีจำหน่าย ขณะที่สีของหน่อไม้จากการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอุณหภูมิต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

Kiranoudis *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งผลไม้ 4 ชนิด คือ แอปเปิ้ล, ลูกแพร์, กีวี่ และกล้วย และได้ทำการหาค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลที่เป็นความสัมพันธ์กับตัวแปรของกระบวนการอบแห้ง คือขนาดของตัวอย่าง และสภาวะของอากาศอบแห้ง (อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมร้อน) โดยทำการทดลองอบแห้งที่ความหนาของตัวอย่าง 10, 20 และ 28 mm ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ70°C ความชื้นสัมพัทธ์ 15 และ 40% และความเร็วลม 1, 2 และ 4.5 m/s พบว่าแบบจำลองแบบ GAB สามารถจำลองการอบแห้งได้เป็นผลสำเร็จ และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งคือขนาดของตัวอย่างและอุณหภูมิ ส่วนความเร็วลมมีผลเล็กน้อย และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่มีผลเลย

Jamradloedluk *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งทุเรียนแผ่นโดยใช้การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อน เงื่อนไขของสภาวะการอบแห้ง คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งในช่วง 130-150°C ความเร็วลม 2 m/s และความชื้นเริ่มต้นของวัสดุอยู่ในช่วง 195-247 % d.b. จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะใช้เวลาการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน ด้านคุณภาพสีของทุเรียนหลังการอบแห้ง พบว่าค่าความเป็นสีแดงของทุเรียนแผ่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้มาจากเอนไซม์ ส่วนค่าความเป็นสีเหลืองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่าความเป็นสีแดง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลารด์ และค่าความสว่างจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการอบแห้งทั้งสองวิธีพบว่าคุณภาพสีที่ได้ไม่แตกต่างกัน คุณภาพทางด้าน Microstructure ของทุเรียนแผ่นหลังการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

Elustondo et al. (2001) ได้ทดลองอบแห้ง กล้วย แอปเปิล มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ไม้ และกุ้ง โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (Sub-Atmospheric Pressure Superheated Steam: SAPSS) และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งและเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับการทดลอง โดยใช้ความดันช่วง 0.1 – 0.2 บรรยากาศ (Boiling Point 45 – 60 °C) และใช้อุณหภูมิอบแห้งของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่าจุดเดือดในช่วง 60 – 90°C พบว่า สามารถอบแห้งได้ดี โดยเฉพาะวัสดุที่มีรูพรุน การคายน้ำออกจะง่ายและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ และแบบจำลองสามารถทำนายได้ดีกับทุกวัสดุที่ทำการทดลอง

สุดท้ายเป็นการสนับสนุนว่าการเก็บรักษาแครอทด้วยวิธีอบแห้งเป็นวิธีที่สามารถเก็บรักษาสารเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าถ้าไม่ได้ทำการอบแห้ง

Desobry et al. (1998)ได้ทำการศึกษาหาสารเบต้าแคโรทีนที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการผลิต การแปรรูปแครอทในรูปแบบต่าง เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน (Air drying) การทำแห้งแช่แข็ง (Freeze drying) และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drying) รวมทั้งในการเก็บรักษาที่อุณภูมิต่างๆกัน พบว่าการอบแห้งหรือการแช่แข็งที่มีระบบการควบคุมที่ดีจะสามารถเก็บรักษาสารเบต้าแคโรทีนได้ดีกว่าเมื่อไม่ได้อบแห้งหรือแช่แข็ง และการ freeze-drying จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนและการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ซึ่งพบว่าสารเบต้าแคโรทีนซึ่งอยู่ในรูป transform จะเปลี่ยนเป็น cisform* ในระหว่างกระบวนการผลิตสารเบต้าแคโรทีนนั้นสามารถสกัดได้จากแครอท แต่จะมีค่า half-life เพียง 2 วันที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าเรานำมาบรรจุแคปซูล เราจะสามารถยืดค่า half-life ได้นานถึง 6 เดือน

*เนื่องมาจาก transform และ cisform เป็นรูปของ isomer ของ lycopene ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมในทางเดินอาหาร ผักผลไม้ที่เราแปรรูปให้ได้ประโยชน์สูงก็ควรควบคุมกระบวนการผลิตที่

เหมาะสมแก่การเปลี่ยนแปลงเป็น isomer ที่ต้องการ เพราะปัจจุบันมักจะบอกปริมาณไลโคปีนในอาหารแปรรูปแต่ประโยชน์ที่แท้จริงอาจไม่เท่ากัน

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งของแครอทโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ และความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.3.2 เพื่อศึกษาผลของสภาวะในการอบแห้งอันได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 สมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งแครอทในช่วงสภาวะการอบแห้งที่กำหนดสามารถนำไปใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้ง และพัฒนาแบบจำลองต่อไป

1.4.2 แนวทางในการอบแห้งแครอทที่ได้สามารถนำไปใช้พัฒนาในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับตามความต้องการของท้องตลาด

1.5 ขอบเขตการศึกษา

1.5.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ แครอท ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ± 1 มิลลิเมตร นำมาหั่นเป็นแผ่นตามขวาง ความหนา 3 ± 0.1 มิลลิเมตร

1.5.2 ความชื้นสุดท้ายของแครอทในการอบแห้งประมาณ 18% มาตราฐานแห้ง

1.5.3 ทำการพัฒนาสมการจลนพลศาตร์ของการอบแห้งโดยใช้รูปแบบสมการทางทฤษฎีและ กึ่งทฤษฎี

1.5.4 คุณภาพของแครอทที่จะศึกษา คือ สี การหดตัว การคืนตัว และเนื้อสัมผัส

1.5.5 การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งใช้ช่วงอุณหภูมิ 120-180°C ที่ความเร็วลม 2, 3 และ 4 m/s

1.5.6 เกณฑ์การพิจารณาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมจะพิจารณาในด้านความชื้น เวลาการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

1.5.7 ในการทำการทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งในห้องปฏิบัติการอบแห้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่