บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของโครงการวิจัย

ฟักทองเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีอยู่ตามท้องถิ่นทั่วไปของประเทศไทย มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศทางแถบทวีปอเมริกาคือ สหรัฐอเมริกาและประเทศเม็กซิโก เป็นต้น จากประวัติความเป็นมาสืบได้ว่าฟักทองมีการปลูกมาตั้งแต่ 10,000 – 30,000 ปี ที่ผ่านมาจัดเป็นพืชผักที่มีการใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนานที่สุดชนิดหนึ่งและเป็นผลไม้ที่ปลูกง่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำดี ผลฟักทองออกในฤดูหนาวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ฟักทองที่ใช้บริโภคสดนั้นสามารถเก็บผลไว้รอขายหรือบริโภคไว้นานๆโดยไม่ต้องใส่ตู้เย็น หากเกษตรกรเก็บผลผลิตด้วยความระมัดระวังไม่เกิดการบอบช้ำจะทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานหลายเดือน ซึ่งในบางฤดูกาลฟักทองให้ผลผลิตมากเกินความต้องการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและเกษตรกรผู้จำหน่ายฟักทอง ดังนั้นการแปรรูปฟักทอง จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าฟักทอง

ปัจจุบัน มีการแปรรูปฟักทองในรูปของขบเคี้ยว เช่น ฟักทองอบ หรือฟักทองทอด การอบแห้งมักจะทำการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งนาน ส่วนการทอดในน้ำมันผลิตภัณฑ์ที่ได้มักจะมีปริมาณไขมันสูงและไม่สามารถเก็บไว้ได้นานเพราะมีกลิ่นหืนและไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจากเป็นวิธีการอบแห้งอีกวิธีหนึ่งที่มีศักยภาพสูงโดยให้อัตราการอบแห้งสูง ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมาก มีการหดตัวน้อย คุณภาพสีดี การถนอมอาหารด้วยการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการเก็บรักษาอาหารที่กำลังได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งนำไปใช้อย่างจริงจังในช่วง 20 กว่าปีที่ผ่านมา ไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำที่ความดันหนึ่งๆ มีความสามารถในการดึงความชื้นจากวัสดุ ทำให้วัสดุนั้นมีความชื้นลดลงได้เร็ว และไม่มีออกซิเจนในระบบ จึงทำให้สีและคุณค่าทางอาหารสูญเสียน้อย อีกทั้งกลไกการระเหยน้ำยังทำให้โครงสร้างของวัตถุนั้นเสียรูปน้อยมาก ดังนั้นการอบแห้งฟักทองด้วยกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงเป็นแนวทางที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟักทองอบแห้งให้มีคุณภาพดี และลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งฟักทองด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยการอบแห้ง คือ อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีผล

ต่อการอบแห้งฟักทองด้านเวลาอบแห้งและคุณภาพ และนำผลมาพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้ง รวมถึงหาปัจจัยการอบแห้งที่เหมาะสมของฟักทอง

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้มีหลายกระบวนการด้วยกัน เช่น การอบแห้งแบบลมร้อน ไมโครเวฟ ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยปั๊มความร้อน และไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเบด แต่ในอุตสาหกรรมอาหาร มักนิยมใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ตลอดจนสามารถจัดหาเครื่องอบแห้งและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมาใช้งานได้ง่าย โดยกระบวนการอบแห้งแต่ละแบบจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ต่างกัน ซึ่งสี การหดตัวและเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งร่วมกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งปัจจุบันมีผู้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆหลากหลายวิธี โดยทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้ง ดังนี้

1.2.1 การอบแห้งฟักทอง

Alibas (2006) ได้ทำการอบแห้งชิ้นฟักทองด้วยวิธีการอบแห้งสามวิธีการ คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยอากาศแห้งและการอบแห้งด้วยอากาศแห้งร่วมกับไมโครเวฟ ซึ่งจะทำการอบแห้งฟักทอง น้ำหนัก 50 กรัม ความชื้นเริ่มต้น 9.31 db. จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 0.1 db. เงื่อนไขการทดลองคือกำลังของไมโครเวฟ 160 และ 350 วัตต์ อุณหภูมิอากาศแห้ง 50 และ 70°C และความเร็ว 1 m/s จากการทดลองพบว่าระยะเวลาการอบแห้งสำหรับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟอยู่ที่ 125 - 195 นาที การอบแห้งด้วยอากาศแห้งใช้เวลา 45 - 90 นาที และการอบแห้งด้วยอากาศแห้งร่วมกับไมโครเวฟใช้เวลา 31 - 51 นาที ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้คือ 0.23 - 0.34, 0.61 - 0.78 และ 0.29 - 0.42 kWh ตามลำดับ ซึ่งวิธีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศแห้งเป็นวิธีการอบแห้งที่ให้ผลดีที่สุด โดยเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมคือกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ 350 วัตต์และอุณหภูมิอากาศร้อน 50 °C (พิจารณาเวลาการอบแห้ง, ค่าสีและการใช้พลังงาน)

Doymaz (2006) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งชั้นบางฟักทองด้วยลมร้อน ภายใต้อุณหภูมิอากาศ 50, 55 และ 60 °C ที่ความเร็วลมคงที่ 1.0 m/s และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 15% และ 25% และได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง 3 แบบคือ แบบจำลองการแพร่ของ Fick, logarithmic และ Verma จากผลที่ได้พบว่า อัตราการอบแห้งช้าลงเมื่ออุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น การถ่ายเทความชื้นจากชิ้นฟักทองสามารถอธิบายได้ด้วย

แบบจำลองการแพร่ของ Fick ภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 3.88×10^{-10} ถึง 9.38×10^{-10} m^2/s และค่าพลังงานกระตุ้น 78.93 กิโลจูล/โมล ความแม่นยำของการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้เปรียบเทียบตามข้อมูลทางสถิติ เช่น coefficient of determination (R^2), reduced chi-square (v^2) และ root means squareerror (RMSE) ซึ่งค่าทั้งสามนี้เป็นค่าในการตัดสินใจว่าผลที่ได้จากการทดลองกับการทำนายอัตราส่วนความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง logarithmic และ แบบจำลอง Verma อธิบายลักษณะการอบแห้งฟักทองที่น่าพอใจใกล้เคียงกับผลการทดลองที่สุด

Castilho et al. (2007) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งออสโมติก (Osmotic Dehydration) และผลของปริมาณน้ำตาลซูโครสที่มีต่อการอบแห้งฟักทอง โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามรูปแบบของ Fick's โดยแบบจำลองมีทั้งแบบพิจารณาและไม่พิจารณาการหดตัว ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลคือ 40%, 50% และ 60% w/w ที่ 27°C การอบแห้งจะใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 50 และ 70°C ความเร็วลม 2 m/s จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่มีค่าน้อยเมื่อความเข้มข้นสารละลายสูง และสัมประสิทธิ์การแพร่ของแบบจำลองที่พิจารณาการหดตัวจะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่พิจารณาการหดตัวและปริมาตรหลังการอบแห้งลดลงมากทั้งแบบ pre-treated และ non-treated

Nawirska et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชิ้นฟักทองด้วยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ การอบแห้งแบบสุญญากาศและวิธีการอบแห้งแบบแช่แข็งโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ค่าการหดตัว, bulk density, ค่าสี และปริมาณแคโรทินอยด์ในฟักทอง 12 สายพันธุ์ จากการทดลองพบว่าการอบแห้งด้วยการใช้วิธีไมโครเวฟสุญญากาศจะใช้เวลาในการอบแห้งฟักทองสั้นกว่าวิธีอบแห้งด้วยลมร้อน 10 เท่าโดยประมาณ ส่วนการอบแห้งด้วยลมร้อน ชิ้นฟักทองสายพันธุ์ Cucurbita pepo อบแห้งได้เร็วกว่าสายพันธุ์ C. maxima และเมื่อใช้วิธีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศพบว่าฟักทองสายพันธุ์ C. maxima จะมีอัตราการแห้งที่เร็วขึ้น ซึ่งในบรรดาวิธีการอบแห้งเหล่านี้ (การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ การอบแห้งสุญญากาศ และวิธีการอบแห้งแบบแช่แข็ง) ล้วนให้ผลที่ดีกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน วิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีที่สวยงามกว่าวิธีการอื่นๆ ส่วนการอบแห้งแบบแช่แข็ง จะใช้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นที่สุด การหดตัวน้อย ปริมาณแคโรทินอยด์มีมากที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะสูงกว่าวิธีอื่น

1.2.2 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ทวีชัย (2543) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการทดลองอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อนที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160°C และลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่ 55 และ 70°C และอัตราการไหลเชิงมวลประมาณ 0.024 kg/s มวลหน่อไม้ประมาณ 0.5 kg ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุประมาณ 19 db. อบจนความชื้นสุดท้ายประมาณ 0.17 db. และทำการเปรียบเทียบคุณภาพหน่อไม้หลังการอบแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ลมร้อนอุณหภูมิสูง ลมร้อนอุณหภูมิต่ำ และหน่อไม้ตากแห้งที่มีจำหน่ายในตลาดซึ่งผลที่ได้คือ อัตราการอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอยู่ในช่วง 140-160°C ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ คุณภาพในด้านสีของหน่อไม้หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิสูงตลอดการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับหน่อไม้แห้งที่มีจำหน่าย ขณะที่สีของหน่อไม้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและน่ารับประทาน

พลสันต์ (2548) ได้ทำการอบแห้งหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 - 150°C โดยห้องอบแห้งมีขนาดความกว้าง 0.95 m ยาว 0.8 m และสูง 0.98 m สามารถบรรจุรถเข็นได้ 1 คัน มีจำนวน 13 ถาด การอบแห้งเนื้อหมูจะใช้เนื้อหมูสันนอก (Sirloin) ที่ทำการหั่นในทิศทางตามเส้นใย (Longitudinal Section) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อหมูในกรณีที่ไม่หมักเกลือและกรณีเนื้อหมูหมักเกลือ โดยเนื้อหมูในกรณีที่ไม่หมักเกลือมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 270 - 284% db. และเนื้อหมูกรณีที่หมักเกลือมีค่าความชื้นเริ่มต้นประมาณ 245 - 257% db. ทำการอบแห้งเนื้อหมูดังกล่าวจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 11% db. จากผลการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่า เนื้อหมูที่ได้หดตัวมากกว่า และคืนตัวได้น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเนื้อหมูกรณีหมักเกลือกับกรณีไม่หมักเกลือพบว่า เนื้อหมูที่ไม่หมักเกลือสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าเนื้อหมูที่หมักเกลือ ส่วนด้านคุณภาพพบว่าเนื้อหมูที่หมักเกลือจะมีสีแดงเข้มกว่า และมีการหดตัวมากกว่า ขณะที่การคืนตัวและค่าความแข็งมีค่าน้อยกว่าเนื้อหมูกรณีไม่หมักเกลือ

Elustondo et al. (2001)ได้ทดลองอบแห้ง กล้วย แอปเปิล มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ไม้และกุ้ง 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

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

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งของฟักทองโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.3.2 ศึกษาผลของปัจจัยในการอบแห้งอันได้แก่ อุณหภูมิ และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่มีผลต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ ฟักทองพันธุ์ทองอำพันที่หั่นเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10\ mm^3$

1.4.2 ความชื้นสุดท้ายของฟักทองในการอบแห้งมีค่าประมาณ 18% มาตรฐานแห้ง

1.4.3 คุณภาพของฟักทองที่ศึกษา คือ สี การหดตัว การคืนตัว และเนื้อสัมผัส

1.4.4 การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งใช้ช่วงอุณหภูมิ 120-180°C ที่ความเร็ว 2 และ 4 m/s ณ ความดันบรรยากาศ

1.4.5 ทำการพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งโดยใช้รูปแบบสมการทางทฤษฎีและกึ่งทฤษฎี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถปรับปรุงคุณภาพของฟักทองอบแห้งได้ดีขึ้นในแง่ของสี และการหดตัวของฟักทองหลังการอบแห้ง

1.5.2 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

1.5.3 ทราบถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยและค่าต่างๆในสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งทั้งแบบทฤษฎีและกึ่งทฤษฎี