



การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดสำหรับปอกเปลือกมันฝรั่ง A study of the suitable conditions of infrared radiation heating for potato peeling

ปราโมทย์ กุศล¹, อาทิตย์ พวงสมบัติ^{2*}

Pramote Kuson¹, Arthit Puangsombat^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์, ชุมพร 86160

¹Department of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Chumphon Province, 86160

²ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University - Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: Tel: 081-9283684, Fax: 034-351-896, E-mail: fengatp@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดสำหรับปอกเปลือกมันฝรั่ง ทำการสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ทดสอบการให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดโดยใช้แผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรด 2 - 10 μm . กำลังไฟ 840 และ 905 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105, 115, 125, 135 วินาที เพื่อหาความเป็นไปได้ในการปอกเปลือกและผลกระทบเนื่องจากความร้อนหลังจากการปอกเปลือกซึ่งพบว่าพลังงานที่ให้กับแผ่นความร้อนที่สามารถปอกเปลือกมันฝรั่งได้ 100% และได้ง่ายที่สุดคือ 905 W ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 135 วินาที ความร้อนที่ผิวของมันฝรั่งมีความร้อนเฉลี่ย 157°C และผลกระทบจากความร้อนต่อคุณภาพมันฝรั่งส่งผลเล็กน้อย

คำสำคัญ: มันฝรั่ง, การปอกเปลือกมันฝรั่ง, การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

Abstract

This research studied the thermal of infrared radiation for peeling the potato. Infrared radiation machine was built to use the heat by infrared radiation which 2 - 10 μm . The power level used 840 and 905 Watt and the heating times were set 105, 115, 125 and 135 seconds. The objective of this research was studied the feasibility of using infrared radiation for peeling the potato and the effects of heating temperature after peeling. The results of the experiment found that the power to the heating pad that can be peeled potatoes have 100% and most easily is 905 W and heating time is 135 seconds. The surface temperature of IR heated potato was 157°C and little impacted on potato quality.

Keywords: Potato, Potato peeling, Infrared radiation heating

1 บทนำ

มันฝรั่งเป็นพืชที่ให้ผลผลิตเป็นลำต้นใต้ดิน หรือที่เรียกว่าหัว อยู่ในอยู่ในตระกูล Solanaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์เรียกว่า *Salanum tuberosum* สามารถปลูกได้ดีในสภาพภูมิอากาศหนาวเย็น ลักษณะของดินที่ปลูกเป็นดินร่วน และมีน้ำอุดมสมบูรณ์ มันฝรั่งสามารถนำมาบริโภคสด, ประุงเป็นอาหาร และแปรรูปเป็นอาหารขบเคี้ยวได้อีกด้วย ปัจจุบันนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยมีการจัดตั้งโรงงานแปรรูปเพื่อทำเป็นมันฝรั่งทอดกรอบ หรือที่เรียกว่า Potato Chip มันฝรั่งเป็นอาหารที่สำคัญเป็นอันดับ 4 รองจากข้าว, ข้าวสาลี และข้าวโพด (True et al., 1983) มันฝรั่งเป็นอาหารที่มีโปรตีน,

วิตามิน และแร่ธาตุ อีกทั้งยังปราศจากไขมันโดยทั่วไปมีการนำไปบริโภคทั้งในรูปแบบบริโภคสด และอาจจะนำไปแช่แข็งแล้วทอดหรืออบแห้ง (ทำเป็นแผ่น) นอกจากนี้มันฝรั่งถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อผลิตมันฝรั่งทอด (French fries) และอาหารสัตว์อีกด้วย

กระบวนการปอกมันฝรั่งโดยทั่วไป (Andreas and Marleny, 2009) จะสามารถใช้วิธีการดังต่อไปนี้คือ การปอกด้วยความร้อนจากไอน้ำ (Steam peeling), การปอกด้วยเครื่องจักร (Mechanical peeling) และการปอกด้วยสารเคมี (Lye peeling) ซึ่งขึ้นอยู่กับนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปขั้นตอนการปอกเปลือกมันฝรั่งในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะต้อง

อาศัยสารเคมี และน้ำ สำหรับการปกเปลือก (Masanet et al., 2007) แต่ของเสียที่หลงเหลือจากกระบวนการใช้สารเคมีเป็นอันตรายและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งทางภาคอุตสาหกรรมแปรรูปมันฝรั่งได้ตระหนักถึงความสำคัญในข้อนี้ ส่วนวิธีการปกเปลือกด้วยไอน้ำ ไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย แต่มีปัญหา คือ ความต้องการแรงดันน้ำที่สูงมาก จึงส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ โดยเพิ่มขึ้นเป็นเท่า 3 ของค่าใช้จ่ายในการผลิต และมีความเสี่ยงในระยะยาวกับการขาดแคลนน้ำ (Schlimme et al., 1984) และ Pandrangi, 1998.

การปกเปลือกด้วยเครื่องจักร มีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับ การออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของ ผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่นลักษณะรูปทรงของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปการปกเปลือกด้วยระบบกลไกทางกลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์จะ ประกอบด้วย อุปกรณ์ชุดขัด, ลูกกลิ้ง, ใบมีด และเครื่องหัน ซึ่งมี ปริมาณของการสูญเสียเนื้อของมันฝรั่งในการปกเปลือกจะ ค่อนข้างสูง แต่คุณภาพของมันฝรั่งหลังจากการปกเปลือกยังมีความสดและคุณภาพดี (Bagher, 2005)

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (IR) เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ($0.76 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$) ซึ่งอยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ เมื่อเข้าใกล้วัตถุจะมีการดูดซับรังสีส่งผลให้เกิดความร้อนของชิ้นผิว (ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัตถุ) จากศักยภาพดังกล่าวจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการปกเปลือกผลไม้และผัก (Li et al., 2014) ได้ใช้รังสีอินฟราเรด ในการปกเปลือกมะเขือเทศ โดยการปกแบบแห้ง เทียบกับการปกด้วยสารเคมี (Lye) ผลที่ได้คือสามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อจากการปก (Peeling loss) 8.3% – 13.2% การปกด้วยสารเคมี 12.9% – 15.8% ค่าความหนาเปลือก 0.39 – 0.91 mm. การปกด้วยสารเคมี 0.38 – 1.06 mm. (Wang et al., 2016) ได้ใช้รังสีอินฟราเรด ในการปกเปลือกผลพุทรา ผลที่ได้คือ สามารถปกเปลือกพุทราออก โดยมีประสิทธิภาพในการปก 96% ที่อุณหภูมิที่ผิว 115°C สูญเสียความชื้น 1.29% การสูญเสียเนื้อจากการปก และการเปลี่ยนสีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการปกด้วยสารเคมี ดังนั้นการพัฒนาของการปกเปลือกมันฝรั่งสามารถจะใช้วิธีการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดได้เช่นกัน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปกเปลือกมันฝรั่งด้วยการใช้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด โดยพิจารณาจากผลกระทบของ พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ เวลาที่ให้ความร้อน (Heating time) ความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวมันฝรั่ง (Surface temperature) ความง่ายในการปกเปลือก (peeling easiness) ความสามารถในการปกเปลือก (Peeling ability) เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากการปกเปลือก (Peeling loss) ความแน่นเนื้อจากการปก (Peeling texture) ระดับความเสียหายเนื่องจากความร้อนบนชั้นผิวหลังจากการปก (Peeling damage ring) การเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งหลังจากการปก (Color change)

เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับการปกมันฝรั่งด้วยความร้อนย่านรังสีอินฟราเรด

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

มันฝรั่งที่ได้จากรัฐ California ประเทศสหรัฐอเมริกา พันธุ์ Russet Burbank เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและเหมาะสำหรับการนำไปใช้ทำ French fries (True et al., 1983) จำนวน 80 หัว โดยคัดเลือกให้หัวมันฝรั่งมีลักษณะตรงไม่บิดงอ รูปร่างค่อนข้างกลมผิวเปลือกไม่มีสีเขียวไม่มีรอยขีด, เน่า และร่องรอยของการเข้าทำลายของโรค หรือแมลง มีขนาดหัวมันฝรั่งมีความกว้างสูงสุด (Dmax) ประมาณ 70 mm, ความกว้างเล็กสุด (Dmin) ประมาณ 50 mm. และความยาว (L) อยู่ระหว่าง 120 - 150 mm. (Figure 1) มีน้ำหนักหัวอยู่ระหว่าง 300 - 350 กรัม ห้องทดลองรักษาอุณหภูมิคงที่ 23°C นำมาวัดขนาดด้วย Digital Vernier caliper.

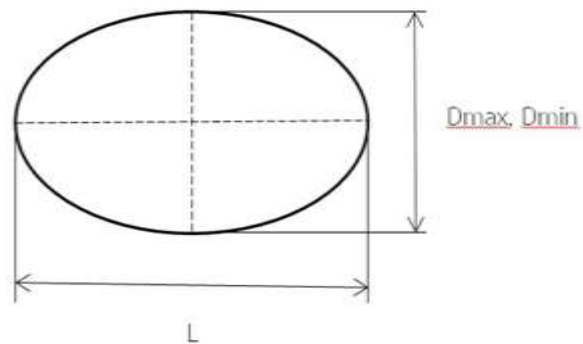


Figure 1 Dimension of potato.

2.2 การให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด

เครื่องที่ใช้ทำการทดสอบถูกสร้างขึ้นเพื่อทดสอบการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดโดยเฉพาะ (Figure 2) มีขนาดของเครื่อง กว้าง X ยาว X สูง 28, 20 และ 26 cm. ตามลำดับ ประกอบด้วย แผ่นให้ความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดแบบใช้กระแสไฟฟ้า (Electric IR emitter) 220 - 230 V 1,000 W ขนาด 245 X 60 mm. จำนวน 2 แผ่น ที่ความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด 2 - 10 μm .

เครื่องปกเปลือกมันฝรั่งโดยใช้รังสีอินฟราเรด ประกอบด้วย (1) ชุดควบคุมกำลังไฟของแผ่นให้ความร้อน (2) ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ของการหมุนหัวจับ (3) มือจับเพื่อเลื่อนตำแหน่งของแผ่นให้ความร้อนเข้าหากัน (4) หัวจับมันฝรั่งสามารถปรับตำแหน่งตามความยาวได้ (5) แผ่นให้ความร้อน (6) มือจับเพื่อเลื่อนหัวจับมันฝรั่งเข้า-ออก

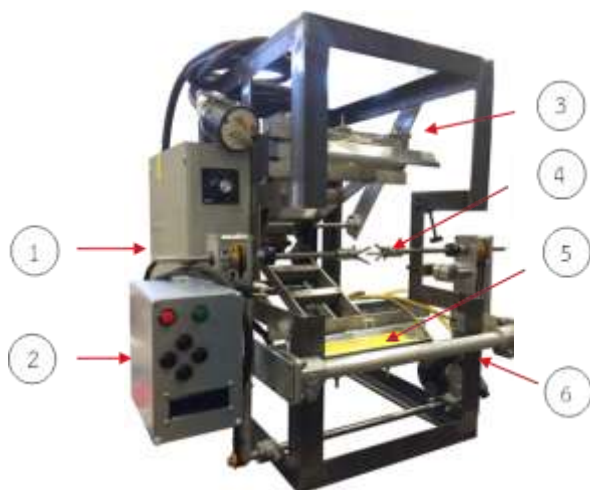


Figure 2 The Schematic diagram of infrared radiation heating machine for peeling potato.

2.3 วิธีการทดลอง

โยกมือจับเพื่อเลื่อนหัวจับมันฝรั่ง (6) ออกจากแผ่นให้ความร้อน นำหัวมันฝรั่งติดตั้งกับหัวจับ (4) โดยตั้งระยะห่างระหว่างหัวมันฝรั่งด้านกว้างสูงสุด (Dmax) กับแผ่นให้ความร้อน 10 mm. ทำการทดสอบการให้ความร้อนด้วยการตั้งค่าชุดควบคุมกำลังไฟของแผ่นให้ความร้อน กำหนดจากพลังงานที่วัดได้จาก Clamp meter (Fluke 323, USA) 3.8 A (≈ 840 W) และ 4.1 A (≈ 905 W) ต่อหนึ่งแผ่นความร้อน และจับภาพด้วยกล้องจับภาพความร้อน (FLIR, E49001, USA) รองจนกว่าอุณหภูมิคงที่ เปิดชุดควบคุมมอเตอร์ (2) ตั้งค่าความเร็วในการหมุนมันฝรั่งด้วยความเร็วคงที่ 4 รอบ/นาที โยกมือจับเลื่อนหัวจับมันฝรั่ง (6) เข้าหาแผ่นให้ความร้อน แล้วโยกมือจับเลื่อนตำแหน่งของแผ่นให้ความร้อน (3) เข้าหากันพร้อมกับจับเวลา เมื่อครบเวลาที่กำหนด 105, 115, 125 และ 135 วินาที แล้วรีบนำมันฝรั่งออกจากเครื่องทันที

2.4 การประเมินค่าของการปอกเปลือกมันฝรั่ง

การปอกเปลือกมันฝรั่งด้วยวิธีการปอกแบบแห้ง โดยการนำมันฝรั่งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้วนำมาปอกด้วยมือที่ถูกสวมด้วยถุงมือผ้าจากนั้นบิดมันฝรั่งไป-มาด้วยแรงที่คงที่ในเวลา 1 นาที เพื่อประเมินค่าดังต่อไปนี้ ความยาก-ง่ายของการปอกเปลือก, น้ำหนักที่สูญเสีย และเปอร์เซ็นต์คงเหลือของเปลือก โดยกำหนดระดับความยาก-ง่ายของการปอกเปลือก เป็นการกำหนดจากระดับความยากสุดไปถึงความง่ายสุดของการปอก คือ 1 = ยากสุด, 2 = ยาก, 3 = ปานกลาง, 4 = ง่าย และ 5 = ง่ายสุด (Pan et al., 2009) น้ำหนักที่สูญเสียได้จากการคำนวณจากน้ำหนักก่อนการปอกลบด้วยน้ำหนักหลังปอก ความสามารถในการปอกเปลือกเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการคำนวณจากพื้นที่เปลือกมันฝรั่งก่อนการปอกและพื้นที่เปลือกคงเหลือจากการปอก (Xuan et al., 2014) โดยวัดจากแผ่นวัดพื้นที่ (figure 3) ตามมาตรฐาน (AID 30B, USDA AMS)

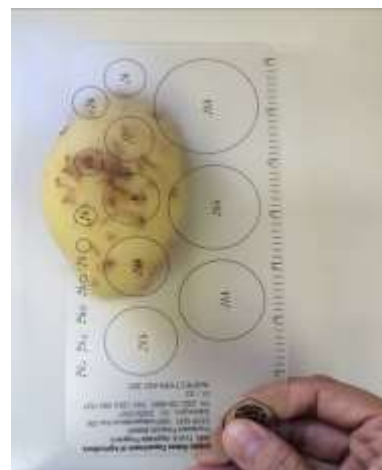


Figure 3 Determination of peeling area.

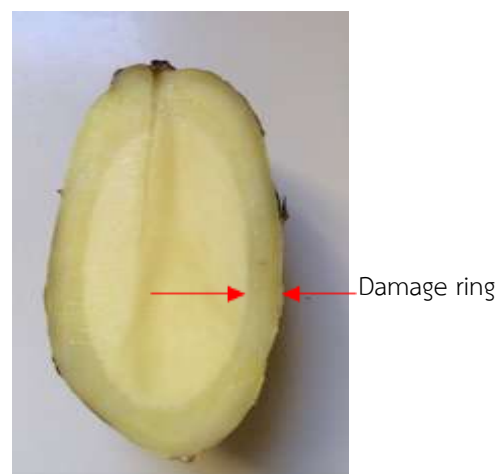


Figure 4 Measuring for damage ring.

2.5 การประเมินค่าของผลกระทบจากความร้อน

ความร้อนของผิวมันฝรั่งจะถูกวัดด้วยกล้องจับภาพความร้อน (FLIR, E49001, USA) โดยจะประเมินจาก 3 ตัวแปรคือ ค่าเปลี่ยนแปลงของสี, ค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) และขนาดความเสียหายจากความร้อนที่ความลึกในชั้นผิว (Cooking ring) การวัดสีเป็นการวัดด้วยเครื่องวัดสี (Konica Minolta, CR-400, Japan) ค่าที่วัดประกอบด้วย L^* , a^* , b^* และค่า Hue คำนวณจากสมการ (1) ค่าความแน่นเนื้อจะถูกวัดด้วยเครื่อง Texture analyzer (TA, XT plus, UK) ใช้หัวกดแบบ Puncture probe ขนาด 2 mm ความเร็วในการทดสอบ 1.0 mm/s ด้วยความลึก 10 mm (Diamante et al., 2013) ค่าเปลี่ยนแปลงของสี และค่าความแน่นเนื้อมันฝรั่ง จะถูกวัดก่อนเข้าเครื่องและหลังจากออกจากเครื่องให้ความร้อน ส่วนความเสียหายจากความร้อนที่ความลึกในชั้นผิวจะถูกวัดหลังจากปอกเปลือกมันฝรั่งแล้วนำมาผ่าครึ่ง (figure 4) วัดด้วย Digital Vernier caliper

$$Hue^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (1)$$

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA ซึ่งเป็นการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality test) และทดสอบความแตกต่างของค่าความแปรปรวนด้วย Homogeneities of Variance Test วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือ ค่าความร้อนของผิวมันฝรั่ง ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ความง่ายในการปอกเปลือก, ความสามารถในการปอกเปลือก, เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากการปอก, ความแน่นเนื่องจากการปอก, ความเสียหายเนื่องจากความร้อนบนชั้นผิวหลังจากการปอก และการเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งหลังจากการปอก กำหนดให้ค่า F-test มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การเปรียบเทียบพหุคูณแบบ LSD (Fisher's Least – Significant Different) ด้วยวิธี Duncan's multiple-range test.

3 ผลและวิจารณ์

3.1 ความร้อนที่ผิวมันฝรั่ง

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อจ่ายพลังงานให้กับแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 840 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105, 115, 125 และ 135 วินาที ผิวของมันฝรั่งจะมีความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 136, 139, 145 และ 149°C ตามลำดับ และเมื่อจ่ายพลังงานให้กับแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 905 W ที่ช่วงระยะเวลาการให้ความร้อนเดิม ผิวของมันฝรั่งจะมีความร้อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 138, 143, 148 และ 157°C ตามลำดับ (ตารางที่ 2) การเพิ่มขึ้นของความร้อนของทั้งสองมีความแตกต่างกัน (figure 5) จะเห็นได้ชัดจากเส้นแนวโน้ม 840 กับ 905 W ที่เวลาการให้ความร้อน 135 วินาที มีความแตกต่างมากกว่าช่วงเวลาการให้ความร้อน 105 วินาที เนื่องจาก ผิวและส่วนหัวของมันฝรั่งประกอบไปด้วยน้ำทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนดูดซึมที่ผิวได้มากขึ้นเมื่อใช้พลังงานที่สูงขึ้นและเวลาที่นานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Li et al., 2014).

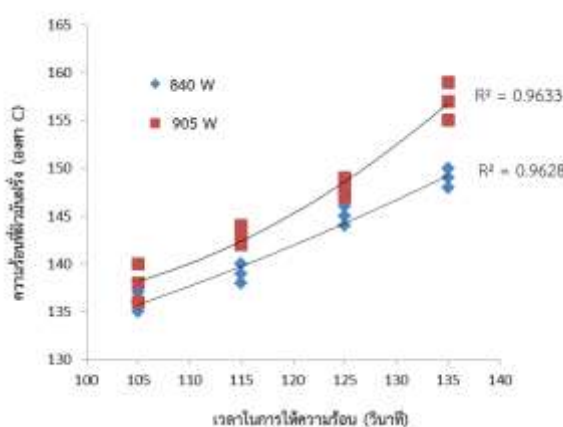


Figure 5 Surface temperature and heating time of potato peeling for IR radiation heating.

3.2 ผลของความร้อนต่อความสามารถในการปอกเปลือกมันฝรั่ง

พบว่าพลังงานของแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 840 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105 วินาที (table 1) การปอกเปลือกมันฝรั่งทำได้ยากสุดเฉลี่ย 2.67 มีค่า CV เท่ากับ 15.75 ความสามารถในการปอกเฉลี่ยที่ 75.85% ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 115, 125 และ 135 วินาที การปอกเปลือกมันฝรั่งทำได้ง่ายไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4, 4 และ 4.6 ค่า CV เท่ากับ 8.32, 9.16 และ 10.19 ตามลำดับ โดยมีความสามารถในการปอกไม่แตกต่างกันในทางสถิติเช่นกันเฉลี่ยที่ 88.78, 97.07 และ 99.02% นั้นแสดงให้เห็นว่าที่พลังงานของแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 840 W ในช่วงเวลาการให้ความร้อน 105, 115, 125 และ 135 วินาที สามารถปอกเปลือกของมันฝรั่งได้ง่ายแต่ความสามารถในการปอกเปลือกยังไม่ถึง 100% เมื่อเพิ่มพลังงานให้กับแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดเป็น 905 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105, 115 และ 125 วินาที พบว่าการปอกเปลือกมันฝรั่งทำได้ง่ายไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4, 4.6 และ 4.3 ค่า CV เท่ากับ 6.01, 10.19 และ 10.83 ตามลำดับ ความสามารถในการปอกไม่แตกต่างกันในทางสถิติเช่นกันเฉลี่ยที่ 95.65, 96.56 และ 97.56% เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อน 135 วินาที พบว่าการปอกเปลือกมันฝรั่งทำได้ง่ายสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 ค่า CV เท่ากับ 4.14 และความสามารถในการปอกเฉลี่ยได้ 100% ค่า CV นั้นหมายความว่าพลังงานที่ให้กับแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่สามารถปอกเปลือกมันฝรั่งได้ 100% และปอกได้ง่ายที่สุดคือ 905 W และต้องใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 135 วินาที โดยที่ผิวของมันฝรั่งมีความร้อนเฉลี่ย 157°C.

ซึ่งความสามารถในการปอกเปลือกและความง่ายในการปอกนั้น จะขึ้นอยู่กับความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผิวมันฝรั่งและระยะเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อผิวในส่วนของหัวและส่วนท้ายของมันฝรั่งเนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ห่างจากแผ่นให้ความร้อนมากที่สุด แต่ลักษณะทางกายภาพของมันฝรั่งเป็นทรงรี ดังนั้นผลกระทบนี้จึงน้อยกว่าผลไม้ที่เป็นทรงกลม ซึ่งเห็นได้ชัดจากการศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดของผลไม้เชือกเทศ (Li et al., 2014) ที่มีความร้อนผิวส่วนใกล้สุดประมาณ 145 °C และหัวผลประมาณ 110°C.

3.3 ผลของความร้อนต่อคุณภาพมันฝรั่ง

ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงคุณภาพเบื้องต้นของมันฝรั่งสด คือค่า firmness มีค่า 1.026 kg และค่าสี L* a* b* และ Hue เท่ากับ 71.324, -2.762, 26.077 และ -83.95

ตามลำดับ จากการปอกเปลือกด้วยเครื่อง ความเสียหาย ย่านรังสีอินฟราเรดที่ 840 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105 เนื่องจากความร้อนบนชั้นผิว พบว่าพลังงานของแผ่นความร้อนใน และ 115 วินาที (table 2) เกิดความเสียหายที่ความลึกในชั้นผิว

Table 1 Effects of power and heating time on peeling performance of potato.

Power (Watt)	Heating time (Sec)	Surface temperature (°C)	Easiness	Peeling ability (%)
840	105	136 ^a	2.67 ^a	75.85 ^a
		(-0.74)	(-15.75)	(-13.7)
	115	139 ^b	4 ^{ab}	88.78 ^b
		(-0.72)	(-8.32)	(2.68)
	125	145 ^c	4 ^{ab}	97.07 ^b
		(-0.4)	(-9.16)	(-0.06)
	135	149 ^d	4.6 ^b	99.02 ^b
		(-0.69)	(-10.19)	(-1.72)
905	105	138. ^a	4 ^a	95.65 ^a
		(-1.45)	(-6.01)	(-1.35)
	115	143 ^b	4.6 ^{ab}	96.56 ^a
		(-0.7)	(-10.19)	(-2.33)
	125	148 ^c	4.3 ^{ab}	97.56 ^{ab}
		(-0.68)	(-10.83)	(-2.24)
	135	157 ^d	5 ^b	100 ^b
		(-1.27)	(-4.14)	(-1.02)

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT

(-) In parenthesis is coefficient of variation

Table 2 Effects of power and heating time on peeling quality of potato.

Power	Heating time	Damage ring	Firmness	Peeling loss	color			
Watt	Sec	mm	kg	%	L*	a*	b*	H
840	105	4.1 ^a	0.57 ^a	3.34 ^a	60.47 ^a	-4.82 ^b	16.54 ^a	-73.55 ^a
		(-5.63)	(-44.47)	(-21.33)	(-2.13)	(-4.23)	(-15.27)	(-2.99)
	115	4.41 ^{ab}	0.49 ^a	3.79 ^a	60.72 ^a	-5.71 ^{ab}	19.45 ^a	-73.56 ^a
		(-6.02)	(-13.83)	(-12.12)	(-0.95)	(-12.26)	(-16.36)	(-1.24)
	125	4.66 ^b	0.63 ^a	3.83 ^a	60.67 ^a	-6.32 ^a	20.68 ^a	-72.78 ^a
		(-5.55)	(-22.15)	(-11.53)	(-2.22)	(-12.84)	(-17.67)	(-4.04)
	135	5.13 ^c	0.54 ^a	3.82 ^a	59.11 ^a	-5.45 ^{ab}	18.9 ^a	-73.81 ^a
		(-2.26)	(-20.6)	(-16)	(-2.88)	(-10.97)	(-7.91)	(-3.60)
905	105	4.24 ^a	0.48 ^a	4.11 ^a	61.63 ^a	-5.53 ^a	20.22 ^a	-74.60 ^a
		(-13.6)	(-14.55)	(-11.09)	(-4.29)	(-17.40)	(-9.65)	(-3.43)
	115	4.59 ^{ab}	0.46 ^a	4.97 ^a	63.03 ^a	-5.61 ^a	17.93 ^a	-72.47 ^a
		(-1.97)	(-16.45)	(-22.7)	(-0.96)	(-4.06)	(-13.35)	(-2.51)
	125	5.11 ^b	0.44 ^a	4.64 ^a	60.61 ^a	-5.43 ^a	16.12 ^a	-71.13 ^a
		(-9.17)	(-2.43)	(-8.17)	(-4.22)	(-3.15)	(-16.25)	(-3.67)
	135	5.04 ^b	0.61 ^a	4.73 ^a	59.28 ^a	-5.95 ^a	19.73 ^a	-73.20 ^a
		(-2.48)	(-42.92)	(-4.67)	(-3.01)	(-3.83)	(-5.28)	(-0.51)

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT

(-) In parenthesis is coefficient of variation

มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1, 4.41 mm ค่า CV เท่ากับ 5.63 และ 6.02 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อน 125 วินาที ความเสียหายเนื่องจากความร้อนบนชั้นผิวจะเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.66 mm ค่า CV เท่ากับ 5.55 และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 135 วินาที ความเสียหายก็จะเพิ่มขึ้นไปอีกเป็น 5.13 mm ค่า CV เท่ากับ 2.26 เมื่อพลังงานของแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 905 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105 และ 115 วินาที พบว่าความเสียหายเนื่องจากความร้อนบนชั้นผิวหลังจากการปอก ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.24 และ 4.59 mm ค่า CV เท่ากับ 13.6 และ 1.97 ตามลำดับและเมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 125 และ 135 วินาที ความเสียหายเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นไปอีกเป็น 5.11 และ 5.04 mm ค่า CV เท่ากับ 9.17 และ 2.48 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้ความร้อนในการปอกเปลือกจะส่งผลกระทบต่อและทำลายชั้นผิวของมันฝรั่ง และเมื่อเพิ่มพลังงานของแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรด และเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนมากขึ้นจะเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนบนชั้นผิวในระดับความลึกที่มากขึ้นเรื่อยๆ และจะเห็นความแตกต่างของระดับ

ความเสียหายได้ชัดเจนในเวลาที่ทำให้ความร้อนนานเกิน 125 วินาทีขึ้นไป ส่วนพลังงานของแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่ 840 และ 905 W ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 105, 115, 125 และ 135 วินาที ส่งผลต่อความแน่นเนื้อทำให้ความแน่นเนื้อมีค่าลดอยู่ในช่วง 4.1 - 5.14 kg (table 2) แต่เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (table 3), การเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งหลังจากการปอกพบว่า L* มีค่าลดลงเนื่องจากความร้อนส่งผลให้มันฝรั่งมีสีคล้ำลง แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเงื่อนไขในการทดลองทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันน้อยมากทางสถิติ ดังแสดงใน table 3 และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากแสดงให้เห็นว่าความร้อนที่ได้จากรังสีอินฟราเรดมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางคุณภาพของมันฝรั่งในเรื่องความแน่นเนื้อและเรื่องสี

จาก Table 3 พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการให้พลังงานกับแผ่นให้ความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดสามารถปอกเปลือกมันฝรั่งได้ง่ายและสามารถปอกเปลือกได้หมด 100% คือ การใช้ย่านรังสีอินฟราเรด 905 W โดยมีระยะเวลาของการให้ความร้อน 135 วินาที

Table 3 Effects of all condition on peeling performance and peeling quality of potato.

Condition	Easiness	Peeling ability	Damage ring	Firmness	Peeling loss	color	
		%	mm	kg	%	L*	H
P-840, T-105	2.67 ^a	75.85 ^a	4.1 ^a	0.57 ^a	3.34 ^a	60.47 ^a	-73.55 ^a
P-905, T-105	4 ^b	95.65 ^{bc}	4.24 ^a	0.48 ^a	4.11 ^{ab}	61.63 ^{ab}	-74.60 ^a
P-840, T-115	4 ^b	88.78 ^b	4.41 ^a	0.49 ^a	3.79 ^{ab}	60.72 ^a	-73.56 ^a
P-905, T-115	4.6 ^b	96.56 ^c	4.59 ^{ab}	0.46 ^a	4.97 ^b	63.03 ^b	-72.47 ^a
P-840, T-125	4 ^b	97.07 ^c	4.66 ^{ab}	0.63 ^a	3.83 ^{ab}	60.67 ^a	-72.78 ^a
P-905, T-125	4.3 ^{ab}	97.56 ^c	5.11 ^b	0.44 ^a	4.64 ^b	60.61 ^{ab}	-71.13 ^a
P-840, T-135	4.6 ^{bc}	99.02 ^c	5.13 ^b	0.54 ^a	4.82 ^b	59.11 ^a	-73.81 ^a
P-905, T-135	5 ^c	100 ^c	5.04 ^b	0.61 ^a	4.73 ^b	59.28 ^a	-73.20 ^a

P Power (Watt)

T Heating time (Sec)

Mean with different superscripts differ significantly at 5% by DMRT

4 สรุป

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปอกเปลือกมันฝรั่งได้แต่จะมีผลกับคุณสมบัติความแน่นเนื้อและสีของมันฝรั่ง ซึ่งพลังงานที่ให้กับแผ่นความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดที่สามารถปอกเปลือกมันฝรั่งได้ 100% และได้ง่ายที่สุดคือ 905 W โดยมีระยะห่างระหว่างหัวมันฝรั่งด้านกว้างสูงสุด กับแผ่นให้ความร้อน 10 mm. และต้องใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 135 วินาที โดยความร้อนที่ผิวของมันฝรั่งมีความร้อนเฉลี่ย 157°C จากการทดลองความร้อนจากรังสีอินฟราเรดมีผลกระทบต่อความแน่นเนื้อ, เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งหลังจากการปอก แต่มี

การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการปอกเปลือกมันฝรั่งในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

ความสามารถในการปอกเปลือกและความง่ายในการปอกนั้นจะขึ้นอยู่กับความร้อนที่ส่งผ่านไปยังผิวมันฝรั่งและระยะเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งจะมีผลต่อผิวในส่วนของหัวและส่วนท้ายของมันฝรั่งเนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ห่างจากแผ่นให้ความร้อนมากที่สุด แต่ลักษณะทางภาพของมันฝรั่งเป็นทรงรี ดังนั้นผลกระทบนี้จึงน้อยกว่าผลไม้ที่เป็นทรงกลม ซึ่งเห็นได้ชัดจากการศึกษาผลกระทบของการให้ความร้อนในย่านรังสีอินฟราเรดของผลมะเขือเทศ (Xuan et al., 2014) ที่มีความร้อนผิวส่วนใกล้สุดประมาณ 145 °C และหัวผลประมาณ 110°C.

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ที่สนับสนุนการวิจัย และขอขอบคุณ Professor Zhongli Pan. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California Davis, California, USA. ที่ให้คำปรึกษา

6 เอกสารอ้างอิง

Andreas, S., Marleny, D.A. 2009. Potato Peels: A Source of Nutritionally and Pharmacologically Interesting Compounds – A Review, Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, University of Alberta, Edmonton/AB, T6G 2P5, Canada.

Bagher, E. 2005. Experimental studies and modeling of innovative peeling processes for tough-skinned vegetables. Thesis submitted as a requirement for the degree of Doctor of Philosophy, School of Engineering Systems Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology, Australia.

Wang, B., Venkitasamy, C., Zhang, F., Zhao, L., Khir, R., Pan, Z. 2016. Feasibility of jujube peeling using novel infrared radiation heating Technology. LWT - Food Science and Technology 69, 458-467.

Diamante, L.M., Li, S., Xu, Q., Busch, J. 2013. Effects of Apple Juice Concentrate, Blackcurrant Concentrate and Pectin Levels on Selected Qualities of Apple-Black currant Fruit Leather. OPEN ACCESS FOOD, ISSN 2304-8158.

Masanet, E., Worrel, E., Graus, W., Galitsky, C. 2007. Energy efficiency improvident and cost saving opportunities for the fruit and vegetable processing industry. Energy analysis department, Environmental energy technologies division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley. Available, Accessed 18 August 2012.

True, R.H., Work, T.M., Rodney, J., Bushway, A. 1983. Sensory quality of French fries prepared from BelRus and Russet Burbank potatoes. American Potato Journal. December 1983, 60(12), 933-937.

Schlimme, D.V., Corey, K.A., Frey, B.C. 1984. Evaluation of lye and steam peeling using four processing

tomato cultivars. Journal of Food Science 49(6), 1415-1418.

Li, X., Pan, Z., Atungulua, G.G., Zheng, X., Wood, D., Delwiche, M., McHugh, T.M. 2014. Peeling of tomatoes using novel infrared radiation heating technology. Innovative Food Science & Emerging Technologies 21, 123-130.

Pan, Z., Li, X., Bingol, G., McHugh, T.H., Atungulu, G.G. 2009. Development of Infrared Radiation Heating Method for Sustainable Tomato Peeling. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 25(6), 935-941.