

การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยการพาความร้อนจากก๊าซหุงต้มและ
พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า : จลนพลศาสตร์

คุณภาพและความสิ้นเปลืองพลังงาน

Convective Hot Air Drying of *Musa nana* Linn. by LPG and
Electrical Heating : Drying Kinetics,
Quality and Energy Consumption

สุภวรรณ ฐิระวนิชกุล¹ ณัฐภาส ทองมาก¹ ภวินท์ ชลเกษม¹ และ ยุทธนา ฐิระวนิชกุล^{2*}
Supawan Tirawanichakul¹, Nuttapas Thongmark¹, Pawin Chongkasaem¹ and
Yutthana Tirawanichakul^{2*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม (LPG) และพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า โดยทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิ 55-70 องศาเซลเซียส ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ระหว่างร้อยละ 250-300 dry-basis และอบแห้งจนความชื้นสุดท้ายของกล้วยเล็บมือนางอยู่ในช่วงร้อยละ 20-25 dry-basis จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการทดสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ได้แก่ สี ร้อยละการหดตัว และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกกรณีของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนทั้งสองชนิด กรณีการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม จะมีร้อยละการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้าเล็กน้อย และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับกล้วยตากแห้งอ้างอิง นอกจากนี้ ผลการทดสอบโดยการชิมพบว่า มีแนวโน้มระดับความยอมรับโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยก๊าซแอลพีจี กล้วยอบแห้ง การทดสอบโดยประสาทสัมผัส การหดตัว ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Corresponding author e-mail: yutthana.t@psu.ac.th

Received: 19 April 2019, Revised: 10 June 2019, Accepted: 15 June 2019

Abstract

The main objective of this work is to investigate suitable strategy for *Musa nana* Linn. banana (Leb muea nang) drying with liquified petroleum gas (LPG) and electric hot air (HA) heating. The *Musa nana* Linn. banana drying experiments were carried on under the conditions of drying temperature ranging of 55-70 °C. Initial moisture content and average desired final moisture content of banana was in range of 250-300% and 20-25% dry-basis, respectively. The experimental results showed that the drying rate of banana sample depended on drying temperature. The specific energy consumption of the banana drying at high temperature was relatively low compared to those drying with low drying temperature. According to the physical qualities analysis in terms of colorness, percentage of shrinkage and sensory evaluation, the results showed that dried *Musa nana* Linn. banana with LPG has no significance in colorness measurement compared to the dried banana sample by electric heating. In contrast, percentage of shrinkage of the dried banana using LPG was slightly higher than the dried banana using electric heating. For sensory evaluation, the results showed that an overall acceptability of dried banana with LPG and Electric heating were insignificantly different from the reference dried banana by conventional heating ($p < 0.05$). In addition, the overall acceptability of dried banana was in moderate scale.

Keywords: Drying by LPG, Dried banana, Sensory evaluation, Shrinkage, Specific energy consumption

บทนำ

กล้วยเล็บมือนางปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดพัทลุง เป็นต้น มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Musa nana* Linn. (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) บางท้องถิ่นเรียกว่า กล้วยข้าว กล้วยเล็บมือนาง กล้วยทองดอกหมาก ลำต้นมีความสูงไม่เกิน 2.5 เมตร ผลเรียวยาวเล็กรูปโค้งงอ และสีของผลกล้วยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองเมื่อสุก มีกลิ่นหอมคล้ายกล้วยหอม และรสชาติหวานคล้ายกล้วยไข่ มีขนาดเล็กจึงบริโภคได้ง่าย กล้วยชนิดนี้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณสารอาหารในกล้วยเล็บมือนาง โดยคิดเป็นกรัมต่อ 100 กรัมของกล้วยเล็บมือนาง ประกอบด้วยปริมาณน้ำ 79.2 กรัม ไขมัน 0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 18.0 กรัม เส้นใย 0.2 กรัม โปรตีน 1.8 กรัม แคลเซียม 10 มิลลิกรัม ธาตุเหล็ก 1.2 มิลลิกรัม วิตามินเอ 133 I.U. วิตามินบี 0.03 I.U. วิตามินซี 8 มิลลิกรัม และธาตุอื่น ๆ เช่น ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโพแทสเซียม ธาตุแมกนีเซียม เป็นต้น ที่สำคัญจะให้พลังงาน 72 กรัมแคลอรี เนื่องจากมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และฟรุคโทส (พรพรรณ, 2530) สำหรับกล้วยเล็บมือนางนั้น นิยมบริโภคในรูปสองรูปแบบคือ บริโภคในรูปผลสุกสด และบริโภคในรูป

กล้วยตากแห้ง โดยกรณีหลังนี้พบว่าสีของกล้วยเล็บมือนางตากแห้งจะเป็นสีน้ำตาล และเมื่อเก็บไว้ยาวนานจะมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นเรื่อย ๆ

กล้วยเล็บมือนางปลูกมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ที่จังหวัดชุมพร จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดนครศรีธรรมราช สายพันธุ์อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ใช้ระยะเวลาในการปลูกประมาณ 8 เดือนจึงสามารถเก็บผลผลิตครั้งแรกได้ จากนั้นสามารถเก็บผลผลิตต่อเนื่องได้ทุกเดือนในช่วงระยะเวลา 3 ปี ในช่วงที่มีผลผลิตออกมาจำนวนมาก สามารถใช้กระบวนการแปรรูปเพื่อเป็นกล้วยอบแห้งหรือกล้วยตากแห้งได้ ซึ่งเป็นกระบวนการถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าผลผลิตได้เป็นอย่างดี ดังที่ทราบกันดีว่ากล้วยเล็บมือนางตากแห้งของจังหวัดชุมพร มีคุณภาพสูงและเป็นที่ยอมรับของตลาดสินค้าผลไม้แปรรูป สำหรับขั้นตอนการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง จะต้องลดความชื้นให้ต่ำเพียงพอที่จะเก็บรักษาไว้ได้ยาวนาน (สมชาติ, 2540) โดยทั่วไปใช้การตากแดดกลางแจ้ง การอบแห้งในโรงเรือนโดยการคลุมโรงเรือนด้วยพลาสติกหรือแผ่นโปร่งแสงโพลีคาร์บอเนต และการใช้ตู้อบแห้งแบบถาด ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสองวิธีการแรกนั้น ขึ้นกับปัจจัยของสภาวะอากาศแวดล้อม และปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์เป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะปริมาณแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอตลอดวัน รวมทั้งผลผลิตอาจสัมผัสฝุ่นละอองระหว่างการทำตากแห้ง และอาจมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์เชื้อราในระหว่างกระบวนการทำแห้งโดยเฉพาะในการตากแห้งกล้วยเล็บมือนางกลางแจ้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยเล็บมือนางตากแห้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และไม่สามารถเก็บรักษาในระยะเวลายาว (Tirawanichakul *et al.*, 2008) ซึ่งจะส่งผลต่อการจำหน่ายสินค้าที่ไม่ได้ราคา

แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาทั้งในและต่างประเทศ จะมีการศึกษาการอบแห้งกล้วย แต่มักจะเป็นการศึกษาและวิจัยในกล้วยสายพันธุ์อื่นมากกว่างานวิจัยด้านการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา อาจะยกตัวอย่างรายงานบางงานได้ เช่น การศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย และคุณภาพของกล้วยหอมทองแผ่นบาง ที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70-100 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ผลการวิจัย พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยหอมแผ่นบางแปรตามอุณหภูมิอบแห้ง และการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูง ทำให้กล้วยหอมแผ่นบางมีความกรอบมากขึ้น ขณะที่ความแข็งแรงน้อยกว่าการอบแห้งกล้วยหอมแผ่นบางโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (จารุวรรณ, 2550) นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อการแพร่ความชื้น และคุณภาพของกล้วยแผ่นบาง (กล้วยหอมทอง) รวมทั้งศึกษาโครงสร้างจุลภาค อุณหภูมิอบแห้ง 70-100 องศาเซลเซียส พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีการสูญเสียของสารระเหยในตัวอย่างแห้ง และโครงสร้างของกล้วยอบแห้งมีความเป็นรูพรุนมาก ผลให้ค่าความแข็งต่ำกว่าค่าที่ได้จากกล้วยอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของอีกกลุ่มหนึ่งที่ทำเนิการตามมาภายหลัง (Thuwapanichayan *et al.*, 2011) และในปี ค.ศ.2014 นักวิจัยต่างประเทศก็ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชิ้นบางของกล้วยหอมด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้ง 40-70 องศาเซลเซียส โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอม สรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page และ Silva *et al.* สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยหอมได้ดี (Wilton *et al.*, 2014) หรืองานวิจัยการพัฒนารวมวิธีการผลิตกล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับคลื่นไมโครเวฟระบบสุญญากาศ พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการ

อบแห้งด้วยลมร้อนเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์เอกติวิตีและปริมาณความชื้นของกล้วยน้ำว้าอบแห้งมีค่าลดลง ส่วนค่าความแข็งของกล้วยอบแห้งมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่อบแห้ง (สุรียา และคณะ, 2551)

จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของกล้วยอบแห้งหรือกล้วยตากแห้ง คือ ค่าความชื้นสุดท้ายหลังการทำแห้ง และกระบวนการเก็บรักษากล้วยเพื่อรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญหลักที่ต้องพิจารณา และเนื่องจากวัสดุอาหาร ผัก ผลไม้แต่ละชนิดแต่ละสายพันธุ์ก็มีลักษณะเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องศึกษาและหาข้อมูลทางด้านต่าง ๆ ไว้เพื่อใช้สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ ในอนาคต นอกจากนี้เรื่องที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในกรณีการอบแห้งเมล็ดพืชหรือผลผลิตทางการเกษตรก็จำเป็นต้องพิจารณาเรื่องความสิ้นเปลืองพลังงานหรือการเลือกใช้พลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยเช่นกัน (อนุรักษ์ และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตามพบว่า ปัจจัยของค่าความชื้นและกระบวนการทำแห้งของกล้วยเล็บมือนาง ยังขาดข้อมูลพื้นฐานและกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ชัดเจนและเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงถูกดำเนินการขึ้นมาเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานจึงควรทำการศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ให้ได้กระบวนการผลิตที่สะอาดและลดระยะเวลาในการอบแห้งลงแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ (สมชาติ, 2540) ที่สำคัญต้นทุนการผลิตไม่สูงจนเกินไป กระบวนการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนที่ได้จากก๊าซหุงต้ม มีข้อดีคือ ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลผลิตกล้วยเล็บมือนางที่ได้มีความสะอาดและแห้งสม่ำเสมอว่าการอบแห้งแบบตากกลางแจ้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีข้อดีของการอบแห้งด้วยเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม คือ เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้มสามารถหาซื้อได้ง่าย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) และมีใช้กันภายในครัวเรือน ราคาไม่แพง เป็นการอบแห้งวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องคำนึงถึงฤดูกาล สามารถอบแห้งกล้วยเล็บมือนางได้ตลอดทั้งปี

ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า โดยจะศึกษาถึงสภาวะอบแห้งต่อคุณภาพทางกายภาพของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกกระบวนการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง ระหว่างใช้การใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม และการใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า และเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มมูลค่าสินค้าและการจำหน่ายกล้วยเล็บมือนางอบแห้งต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

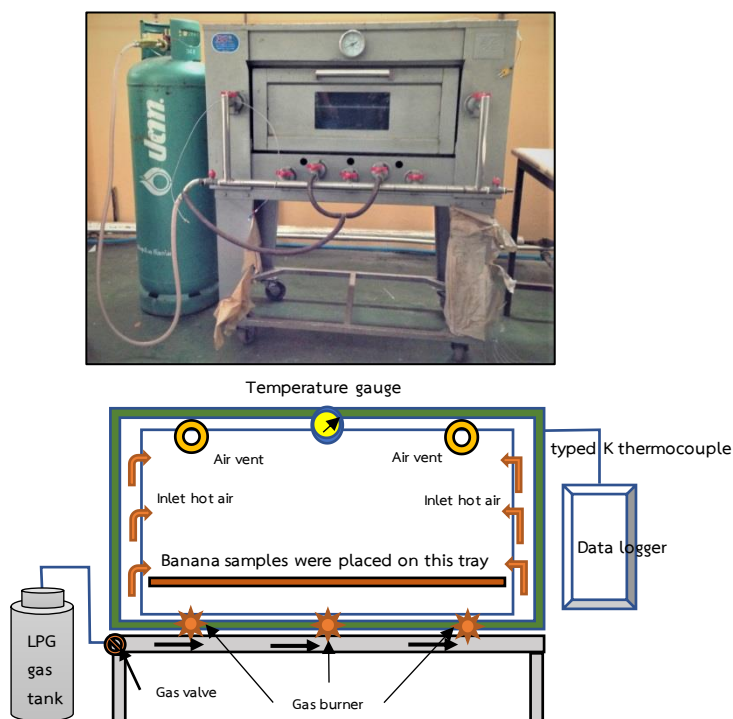
1. วัสดุ

กล้วยเล็บมือนางสุกจะจัดซื้อมาครั้งละหลาย ๆ หวี จากตลาดทวีทรัพย์ อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา จากนั้นนำมาปอกเปลือกและทำความสะอาด และสับตัวอย่างกล้วยเล็บมือนางไปหาค่าความชื้นเริ่มต้นก่อนทำการทดลองการอบแห้ง โดยเลือกวิธีการหาปริมาณความชื้นในเนื้อวัสดุตามวิธีตามมาตรฐาน AOAC (AOAC, 2000) คือ ทำการอบแห้งตัวอย่างที่ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม

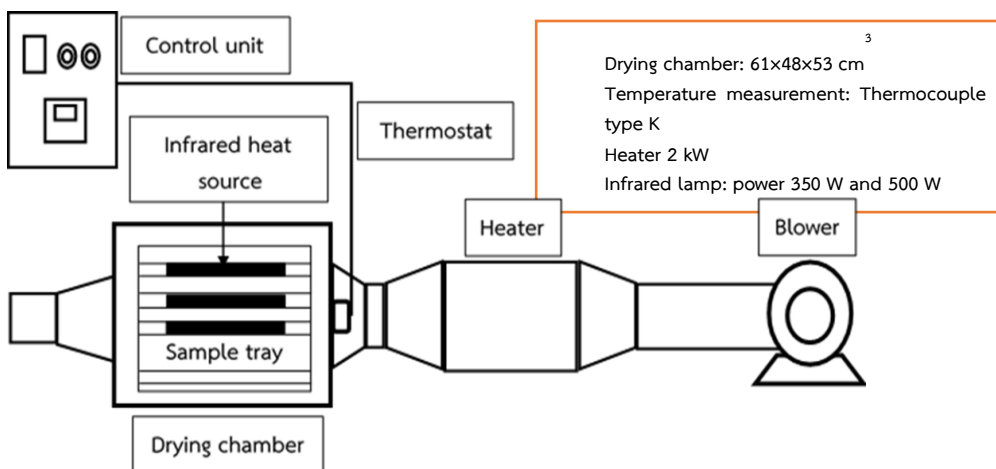
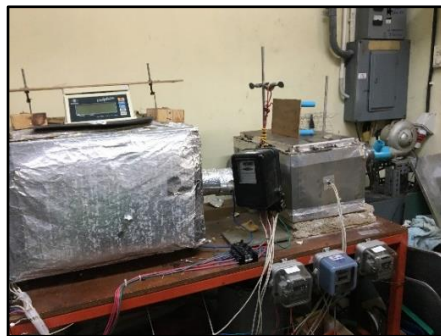
ห้องอบแห้งขนาดกว้าง × ยาว × สูง ($0.4 \times 0.6 \times 0.3$ ลูกบาศก์เมตร) รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแสดงดังรูปที่ 1 ในการทดลองทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ซึ่งมีค่าความละเอียด ± 1 องศาเซลเซียส สำหรับการชั่งน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง จะถูกนำออกมาชั่งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก (ยี่ห้อ A&D รุ่น GF-3000) ค่าความละเอียด ± 0.01 กรัม



รูปที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม LPG

2.2 เครื่องอบแห้งใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า

เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาดประกอบด้วย เครื่องให้ความร้อน (heater) พัดลม และมิเตอร์ไฟฟ้า (watt hour meter) และเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (data logger) ยี่ห้อโยโกกาว่า ซึ่งมีค่าความละเอียด ± 0.5 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิอบแห้งจะใช้ proportional-integral-derivative (PID) controller ที่ติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุม (control unit) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิตัดต่อขดลวดความร้อนไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเข้าได้ตามที่ตั้งค่าในการทดลองไว้ รายละเอียดแสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 รายละเอียดเครื่องอบแห้งแบบภาคพลังงานความร้อนร่วม

(สามารถเลือกใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าและรังสีอินฟราเรด)

3. วิธีการทดลอง

3.1 ขั้นตอนและสภาวะในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง

1) เตรียมกล้วยเล็บมือนาง: ทำการปอกเปลือกกล้วยออกโดยหากมีเส้นใยจากเปลือกกล้วย ต้องนำออกจากผลกล้วยให้หมด มิเช่นนั้นจะเกิดเส้นรอยดำหลังการอบแห้ง

2) เรียงกล้วยเล็บมือนางลงใส่ถาดอบแห้ง 3 ถาด โดยแต่ละถาดมีขนาด 30 X 45 เซนติเมตร

3) สุ่มตัวอย่างถาดละ 5 ลูก วัดความยาว ความหนาของกล้วยก่อนการอบแห้ง และหลังการอบแห้ง ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีความละเอียด ± 0.02 มิลลิเมตร บันทึกข้อมูลนำไปคำนวณหาร้อยละการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางหลังการอบแห้งแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

4) นำกล้วยเข้าตู้อบและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักกล้วยเล็บมือนางระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้อบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิของกล้วย อุณหภูมิลมร้อนทางเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิทางออกของห้องอบแห้งและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง-เปียก จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

3.2 การคำนวณอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงความชื้น (moisture ratio, MR)

การคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$MR = \text{moisture ratio} = \frac{M_t}{M_i} \quad (1)$$

โดยที่ MR คืออัตราส่วนความชื้น, M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (% dry-basis), M_t คือความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (% dry-basis) และ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (% dry-basis)

3.3 การคำนวณอัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

การคำนวณหาอัตราการอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง จะสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) และ (3) ตามลำดับ ดังนี้

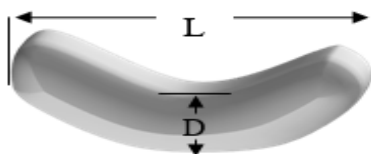
$$\text{drying rate} = \frac{[(M_i - M_f)W_d]}{[\text{drying time}]} \quad (2)$$

$$\text{specific energy consumption (SEC)} = \frac{[E]}{[(M_i - M_f)W_d]} \quad (3)$$

โดยที่ E คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kJ), SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (kJ/kg of water evaporated) และ W_d คือ น้ำหนักแห้งของวัสดุ (kg)

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้ง

ก) การทดสอบการหดตัว: วัดการหดตัวของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ โดยทำการวัดขนาดด้านกว้าง (D) และความยาว (L) สุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 ชิ้น ในแต่ละงวด ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ทำการวัดขนาดด้านกว้างและความยาวบนกล้วยเล็บมือนาง



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดด้านกว้างและความยาวของกล้วยเล็บมือนาง

ทำการวัดมิติ L และ D ตามรูปที่ 3 ก่อนและหลังการทดลอง และคำนวณหาร้อยละการหดตัว ตามสมการที่ (4)

$$\% \text{ shrinkage} = \frac{\text{intial length (width)} - \text{final length (width)}}{\text{intial length (width)}} \quad (4)$$

ข) การทดสอบคุณภาพด้านสี

วัดสีด้วยเครื่องวัดสีอาหารรุ่น color flex ค่าสีที่วัดได้ใช้หน่วยระบบสี CIE (L^* , a^* และ b^*) จากนั้นนำค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง มาคำนวณหาความแตกต่างสีโดยรวม ตามสมการที่ (5)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (5)$$

เมื่อ ΔE^* คือ ค่าความแตกต่างสีโดยรวม

L_0^*, a_0^*, b_0^* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยอ้างอิงตามลำดับ

L, a, b คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองของกล้วยอบแห้งตามลำดับ

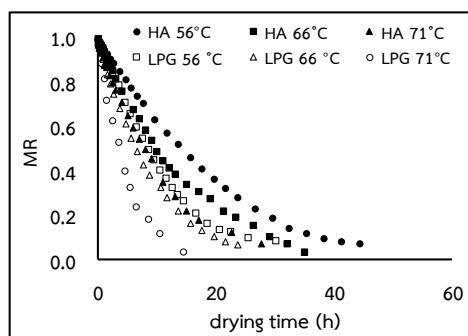
ค) ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัส

สำหรับการทดสอบคุณภาพของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งนี้ จะใช้การประเมินคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสโดยการชิมกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นใน จะดำเนินการทดสอบโดยเลือกผู้ชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 25-30 คน ทำการชิมตัวอย่างและให้คะแนนความชอบแบบ hedonic scale (คะแนน 1-9) (Tirawanichakul *et al.*, 2008) โดยชอบมากที่สุดคือ 9 และชอบน้อยที่สุด คือ 1 โดยทำการทดสอบสี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหวานและความชอบโดยรวมของตัวอย่างกล้วยอบแห้งที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ จากนั้นนำมาหาข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one way analysis of variance ANOVA) โดยมีความเชื่อมั่นของค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ผลการวิจัย**1. จุลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง**

จากกราฟรูปที่ 4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางกับระยะเวลาในการอบแห้ง ที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยจริงอยู่ในช่วง 56-71 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองในกราฟนี้ พบว่า ที่ทุก ๆ ค่าอุณหภูมิการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและการใช้พลังงานความร้อนไฟฟ้า ซึ่งในช่วงแรกของการอบแห้ง จะสังเกตได้ว่า ค่าอัตราส่วนความชื้นของกล้วยเล็บมือนางจะลดลงอย่างรวดเร็ว กล่าวคือเป็นลักษณะกระบวนการอบแห้งแบบลดลง (falling drying rate) (สมชาติ, 2540) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในตอนเริ่มต้นการอบแห้งนั้น ค่าความชื้นของกล้วยเล็บมือนางยังมีปริมาณสูง ดังนั้นการพาความร้อนจากลมร้อนที่ไหลผ่านถาดอบแห้งที่บรรจุกล้วยเล็บมือนาง ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในเนื้อกล้วยเล็บมือนางถูกพาหะลมร้อนนำออกไปจากกล้วยได้อย่างรวดเร็ว โดยถ้าผลต่างอุณหภูมิที่ระหว่างกล้วยและอากาศร้อนในห้องอบแห้งมีค่ามาก ก็จะทำให้้อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพามีค่าสูงขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับสมการการถ่ายเทความร้อนแบบการพา (heat convection) ในเอกสารอ้างอิง (สมชาติ, 2540)

และจากกราฟรูปที่ 4 นี้ ยังพบว่า ผลการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) นั้น ในช่วงแรกของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยก๊าซหุงต้มและขดลวดความร้อนไฟฟ้า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยต่อหน่วยเวลามีค่าค่อนข้างสูงมาก โดยสังเกตได้จากค่าความชันของกราฟนี้ เนื่องจากว่า กราฟผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 0-10 ชั่วโมงแรก ซึ่งปริมาณความชื้นในเนื้อกล้วยเล็บมือนางได้ถูกพาหะความร้อน (คือ ลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง) เป็นพาหะพาความร้อนมายังเนื้อกล้วยเล็บมือนาง และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในเนื้อกล้วยและระเหยออกไป และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น ปริมาณความชื้นของกล้วยเล็บมือนางมีค่าน้อยกว่าในช่วงแรกของการอบแห้ง ทำให้การถ่ายเทมวลน้ำจากภายในเนื้อกล้วยเล็บมือนางไปที่ผิวกล้วยมีค่าน้อยลง อัตราส่วนความชื้นต่อหน่วยเวลาในช่วงหลังจึงลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นในกล้วยเล็บมือนางช่วงนี้ จะเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้า โดยเฉพาะการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิต่ำ (56 องศาเซลเซียส) จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานเมื่อเทียบกับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิสูง (66 และ 71 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของกล้วยกับระยะเวลาอบแห้ง ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

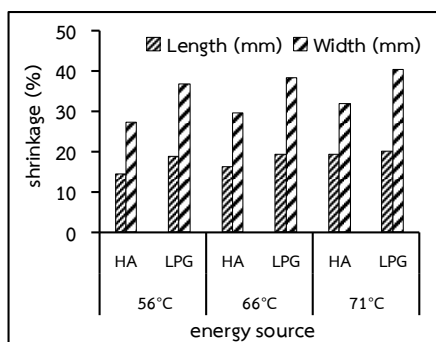
หมายเหตุ: HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

สำหรับการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (66 และ 71 องศาเซลเซียส) จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากกว่าการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (56 องศาเซลเซียส) และจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งคงที่ค่าหนึ่ง ๆ การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เร็วกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มนั้น จะสามารถรักษาอุณหภูมิอบแห้งในห้อง

อบแห้งให้คงที่ได้ดีกว่าการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้า เนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิในระหว่างช่วงการปิดเปิดวงจรจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนไฟฟ้าด้วย PID controller ต่างกันหลายองศาเซลเซียส

2. การหดตัวของกล้วยอบแห้ง

ร้อยละการหดตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และด้านความยาว (L) ของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ร้อยละการหดตัวของกล้วยอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และที่ใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสองกรณี และเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะมีค่าการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า เนื่องจากในการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม ในระหว่างการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งตลอดการทดลองค่อนข้างจะสม่ำเสมอและคงที่มากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้า ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1 เนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบแห้งค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ การถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนไปยังกล้วยเล็บมือนางจึงเกิดขึ้นต่อเนื่องตลอดเวลา ทำให้การดึงน้ำออกจากกล้วยได้มากกว่าการอบแห้งกล้วยด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้า รวดเร็วกว่า ซึ่งส่งผลให้การหดตัวมีแนวโน้มจะสูงกว่ากรณีหลัง สอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยอื่น ๆ ในเมล็ดพืช ดังนั้นหากพิจารณาถึงร้อยละการหดตัว อาจส่งผลต่อผลการทดสอบโดยประสาทสัมผัส (รายละเอียดการอภิปรายอยู่ในหัวข้อย่อย 4.4 ต่อไป) จึงควรระมัดระวังในการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ๆ ในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง เนื่องจากอาจทำให้สีของกล้วยอบแห้งเปลี่ยนไปจากปฏิกิริยาการคาราเมลไลเซชันที่เกิดขึ้นกับวัสดุอาหาร เมล็ดพืช หรือผลไม้ที่มีน้ำตาล ดังที่มีกล่าวไว้ในงานวิจัยที่ผ่านมา (สมชาติ, 2540, จารุวรรณ และคณะ, 2550, สุริยา และคณะ, 2551; Tirawanichakul *et al.*, 2008; Thuwapanichayanan *et al.*, 2011)



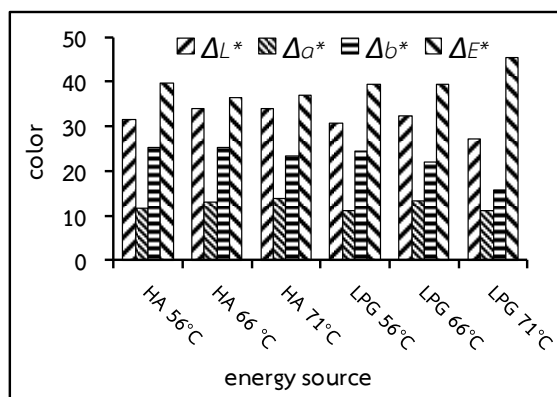
รูปที่ 5 ร้อยละการหดตัวของกล้วย ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

3. การทดสอบสีของกล้วยอบแห้ง

ค่าความแตกต่างของสีของกล้วยอบที่สภาวะต่าง ๆ เมื่อเทียบกับกล้วยอ้างอิงที่ซื้อมาจากตลาดทรัพย์สิน อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงาน

ความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า

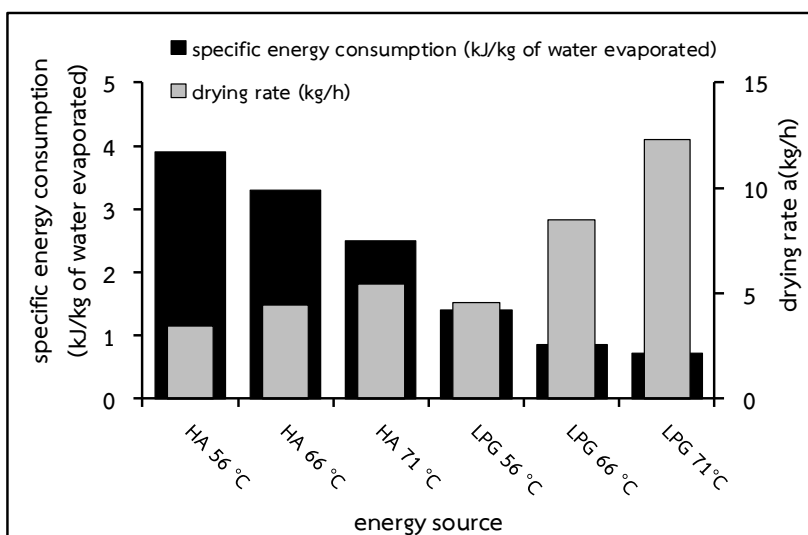
และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นทั้งกรณีการอบแห้งด้วยโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) โดยจะมีความสว่าง (ΔL^*) ความเป็นสีแดง (Δa^*) ความเป็นสีเหลือง (Δb^*) มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และกรณีโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม (LPG) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 71 องศาเซลเซียส จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^* ที่คำนวณโดยใช้สมการที่ 5) มีค่าสูงที่สุด มีความหมายทางกายภาพว่า กล้วยอบแห้งมีสีน้ำตาลเข้มกว่าการอบแห้งกล้วยด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่ต่ำกว่า โดยมีสาเหตุของความเข้มสีที่สูง มาจากการเปลี่ยนแปลงจากน้ำตาลในผลกล้วยที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยระหว่างกระบวนการอบแห้งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Tasara, 2011; สมชาติ, 2540)

4. ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง

จากรูปที่ 7 แสดงผลของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) กราฟรูปที่ 7 แกนตั้งซ้ายมือแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ขณะที่แกนตั้งทางขวามือแสดงอัตราการอบแห้งของแต่ละการทดลอง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในแต่ละการทดลองอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า จะแทนด้วยกราฟแท่งสีดำเข้ม ส่วนผลของการคำนวณค่าอัตราการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนางทั้งสองแหล่งพลังงาน จะแทนด้วยกราฟ

แท่งสี่เหลี่ยม จากผลการศึกษาแสดงตามกราฟรูปที่ 7 พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่มีค่าสูงเพิ่มขึ้นทั้งการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และแหล่งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม จะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งต่ำลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ (ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง มีหน่วยเป็นพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่อการระเหยน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางมวล 1 กิโลกรัม (kg) ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ กิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg) ของน้ำที่ระเหย หรือค่าแสดงในกราฟ คือ kJ/kg of water evaporated) และส่งผลให้อัตราการอบแห้ง (drying rate) กล้วยเล็บมือนางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง ดังแสดงผลในกราฟแท่งสี่เหลี่ยม ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/h)



รูปที่ 7 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง

โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

หมายเหตุ: energy source หมายถึงแหล่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

HA, LPG หมายถึง พลังงานความร้อนในการอบแห้งจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า

และพลังงานความร้อนในการอบแห้งจากก๊าซหุงต้ม ตามลำดับ

5. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการชิม

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิม และการรับรู้รสโดยประสาทสัมผัสถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาลักษณะของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ และได้ให้ผู้ทดสอบการชิมให้คะแนนตามประสาทสัมผัสรับรู้รส กลิ่น สี และความชอบโดยรวม เลือกใช้คะแนน 1-9 ตาม hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คนแสดงผลการประเมินการรับรู้โดยประสาทสัมผัส ดังตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบเมื่อเทียบกับกล้วยอ้างอิงที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ที่ตลาดหิรัญทรัพย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่า กล้วยเล็บมือนางที่ได้

จากการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG) มีค่าระดับคะแนนในช่วงที่มากกว่า 5 สูงสุด คือ เท่ากับ 7.03 คะแนน โดยมีระดับความชอบอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบปานกลาง เมื่อเทียบกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิงที่ซื้อจากตลาด ค่าระดับคะแนนในช่วงที่มากกว่า 6.6 สูงสุดคือเท่ากับ 7.23 คะแนน อย่างไรก็ตาม พบว่า ความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางที่อบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม (LPG) ทุกอุณหภูมิอบแห้งนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไปเมื่อเทียบกับกล้วยอบแห้งอ้างอิง ซึ่งเป็นกล้วยอบแห้งเล็บมือนางที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 56-71 องศาเซลเซียส โดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า (HA) และความร้อนก๊าซหุงต้ม (LPG)

ผลการทดสอบประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า						
อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง (องศาเซลเซียส)	สี (color)	กลิ่นรส (aroma)	ความนุ่ม (softness)	ความเหนียว (toughness)	ความหวาน (sweetness)	ความยอมรับโดยรวม (overall acceptability)
56	6.13 ^b	6.53 ^{ab}	5.90 ^b	6.27 ^b	6.83 ^a	7.00 ^a
66	6.57 ^{ab}	6.67 ^{ab}	6.17 ^b	6.67 ^{ab}	6.93 ^a	7.00 ^a
71	6.17 ^b	6.67 ^{ab}	6.17 ^b	6.23 ^b	6.80 ^a	6.73 ^a
ผลการทดสอบประสาทสัมผัสของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม						
56	6.23 ^b	6.5 ^{ab}	6.17 ^b	6.43 ^{ab}	7.13 ^a	7.00 ^a
66	5.83 ^b	6.43 ^b	5.47 ^{bc}	6.07 ^b	6.53 ^{ab}	6.47 ^{ab}
71	5.37 ^c	6.30 ^b	6.20 ^b	6.30 ^b	7.03 ^a	6.77 ^a
Ref	7.07 ^a	7.07 ^a	6.60 ^{ab}	6.70 ^a	7.07 ^a	7.23 ^a

หมายเหตุ

1. ตัวอักษรห้อยที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน (column) หมายถึง ค่าข้อมูลนั้น ๆ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)
2. ระดับคะแนน 1=ไม่ชอบมากที่สุด 3=ไม่ชอบปานกลาง 5=เฉยๆ 7=ชอบปานกลาง 9=ชอบมากที่สุด และ Ref. หมายถึง กล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิง ซึ่งเป็นกล้วยอบแห้งเล็บมือนางที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งแหล่งพลังงานความร้อนกล้วยเล็บมือนางนั้น สามารถเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มได้ทั้งสองแหล่งพลังงาน โดยการใช้ก๊าซหุงต้มจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้าทุก ๆ ค่าอุณหภูมิอบแห้งในช่วง 55-70 องศาเซลเซียส และปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งโดยตรง กล่าวคือ อัตราการระเหยน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูงจะมีค่าสูงกว่าอัตราการระเหยน้ำของกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ส่งผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และเมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของกล้วยอบแห้งในช่วงอุณหภูมิอบแห้งไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส ในเทอมของค่าร้อยละการหดตัวของกล้วยเล็บมือนาง พบว่า ร้อยละของการหดตัวจะเกิดขึ้นกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งทุกค่าอุณหภูมิอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยกรณีการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะมีความการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากไฟฟ้าเล็กน้อยเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้คงที่มากกว่า ทำให้การดึงน้ำออกจากกล้วยเล็บมือนางเร็วกว่า สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าสีมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับกล้วยเล็บมือนางอบแห้งอ้างอิงซึ่งมีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ โดยมีแนวโน้มระดับความยอมรับโดยรวมของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้มและพลังงานความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า อยู่ในระดับปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทำารวัดสี และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และงบประมาณในการทำงานวิจัยขึ้นนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *กล้วยเล็บมือนาง*. สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2562, จาก: <http://www.most.go.th/main/index.php/summarytechnology/food-processing-technology/1312-2010-02-03-05-25-39.html>.
- จารุวรรณ กุลวิศว สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และสมชาติ โสภณรณฤทธิ. (2550). ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 30(4)(ฉบับพิเศษ), 611-621.
- พรพรรณ รพี. (2530). *ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยของกองโภชนาการ กรมอนามัย*. สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2562, จาก: http://www.booktime.co.th/new/articledetail.php?t_id=1403000022#.VGluYvmsXoE.

- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2551). *ก๊าซ LPG พลังงานสำหรับการหุงต้ม*. สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2562, จาก: http://www.eppo.go.th/encon./Publication/word_files/AW_LPG_Update.pdf.
- สุริยา อติวิทยากรณ์ กมลวรรณ แจ่มชัด และอนุวัตร แจ่มชัด. (2551). การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยตากแบบลมร้อนร่วมกับการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟระบบสุญญากาศ. ใน *การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46* (หน้า 612-620). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อนุรักษ์ ตรีเพชร ปริญา หม่อมพิบูลย์ เฉลิมขวัญ สมใจ มนตรี เรืองประดับ เปมิกา แซ่เตียว และณปภัช จันทร์เมือง. (2559). เชื้อเพลิงแก๊สซิฟิเคชันจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตไฟฟ้า: อีกทางเลือกของพลังงานทดแทนของภาคใต้. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 35(1), 13-25.
- AOAC. (2000). *Official method of analysis*. (16th ed). Washington D.C.: Association of Official Agricultural Chemists.
- Tasara, J. (2011). *Optimum drying of standard Thai rubber (STR)*. Ph.D. Thesis in Chemical Engineering. Prince of Songkla University, Songkhla.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J. and Soponronnarit, S. (2011). Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1502-1510.
- Tirawanichakul, S., Na Phatthalung, W. and Tirawanichakul, Y. (2008). Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation and hot air convection. *Walailak Journal of Science and Technology*, 5(1), 77-100.
- Wilton, P., Cleide, M., Fernando, J. and Josivanda, P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1), 67-74.