# การอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเทคนิคกระแสลมปะทะ

# Drying of Phulae Pineapple by Air Impingement Technique

ณัฐพล ภูมิสะอาด[1*], ละมุล วิเศษ[2] และ สมเกียรติ ไม้หอม[3]

[1] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [2] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร
[3] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
*ติดต่อ: nattapol.p@msu.ac.th, Tel and Fax 043-754316

***บทคัดย่อ***

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เทคนิคกระแสลมปะทะ ใช้จำนวนหัวฉีด 1 และ 4 หัว การทดลองใช้อุณหภูมิลมร้อน 45 60 และ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลมร้อน 20 เมตรต่อวินาที สับปะรดพันธุ์หั่นเป็นแว่นเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความหนา 0.8 เซนติเมตร ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 82 ให้เหลือร้อยละ 20 อบแห้งครั้งละชิ้นต่อหัวฉีด ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 45 60 และ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 1800 1560 และ 900 นาที โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.21 0.15 และ 0.07 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย ในขณะที่แบบ 1 หัวฉีด ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าในการอบแห้ง โดยใช้เวลาเร็วที่สุด ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 500 นาที โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.23 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย

***คำหลัก:*** สับปะรดพันธุ์ภูแล; กระแสลมปะทะ; จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

*Abstract*

The research aims to study the drying kinetic of “Phulae” pineapple and energy consumption by impingement drying technique using single and 4 nozzles. Drying temperatures of 45, 60 and 75 °C with specific air velocity 20 m/s were conditions used in this study. Pineapple was sliced at a diameter of 7 cm and 0.8 cm thick. The initial moisture content of 82 % wet basis was dried down to 20% wet basis. Each run was 1 piece per 1 nozzle. Results found that the drying time and specific energy consumption of drying at 45, 60 and 75 °C were 1800, 1560 and 900 min and 0.21 0.15 and 0.07 kWh/kg of evaporated water. Single nozzle had a shorter drying time. The fastest condition was drying of 75 °C for 500 min with specific energy consumption of 0.23 kWh/kg of evaporated water.

***Keywords:*** Phulae Pineapple**;** Impingement Drying**;** Drying Kinetic

## 1. บทนำ

สับปะรดภูแล เป็นสับปะรดที่มีผลขนาดเล็ก รูปร่างทรงกลม จุกใหญ่ รับประทานได้ทั้งเนื้อและแกน มีเนื้อสีเหลืองกรอบ กลิ่นหอม แกนสับปะรดกรอบ รับประทานได้ มีความหวานปานกลางปัจจุบันมีการนำสับปะรดพันธุ์ภูแลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ไอศกรีม

สับปะรด สับปะรดอบแห้ง เป็นต้น โดยทั่วไปสับปะรดภูแลผลสดมีราคากิโลกรัมละ 20 – 35 บาท อย่างไรก็ตามในบางฤดูกาลผลผลิตมีมากเกินความต้องการของตลาดส่งผลให้ราคาลดลงเป็นกิโลกรัมละ 10 – 15 บาท ทั้งยังเกิดปัญหาการกระจายผลผลิตไม่ทัน ทำให้เกิดการเน่าเสีย เพื่อลดปัญหาผลผลิตล้นตลาดและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์หากนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งจะมีราคาเพิ่มถึง 600 – 900 บาท โดยการแปรรูปจากวัตถุดิบ 5 กิโลกรัม จะได้สับปะรดภูแลอบแห้งประมาณ 1 กิโลกรัม ปัจจุบันการแปรรูปสับปะรดภูแลอบแห้งยังเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อจำกัด เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น หรือการใช้เตาอบลมร้อน ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 45 – 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้สีของสับปะรดดูน่ารับประทาน ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการทำแห้งไม่ต่ำกว่า 25 ชั่วโมง และต้นทุนสำหรับเตาอบลมร้อนค่อนข้างสูง

การอบแห้งด้วยกระแสลมปะทะ เป็นเทคนิคการอบแห้งที่ใช้กระแสลมร้อนความเร็วสูง พุ่งเข้าปะทะกับผลิตภัณฑ์ ทำให้ชั้นฟิล์มอากาศนิ่งที่ลดการถ่ายโอนความร้อนและมวลนั้นบางลง ส่งผลให้กระบวนการถ่ายโอนความร้อนและมวลสูงขึ้นช่วยลดระยะเวลาของการอบแห้งลงได้[1] โดยปัจจัยที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อน ระยะห่างจากหัวปล่อยลม และความเร็วของอากาศที่พุ่งจากหัวปล่อยลม[2] การถ่ายเทความร้อนที่กระจายอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้นโดยที่ผ่านมามีการนำเทคนิคนี้มาให้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารและการเกษตร เช่น องุ่นไร้เมล็ด[3] ขนมปังฝรั่งเศส[4] และกากถั่วเหลือง[5] เป็นต้น ซึ่งสามารถลดยะระเวลาในการอบแห้ง และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดี

จากลักษณะของสับปะรดภูแล ที่มีผิวเปียกและความชื้นเริ่มต้นสูง และเนื้อมีลักษณะที่มีรูพรุนสามารถถ่ายเทความร้อนและมวลได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำการอบแห้งด้วยเทคนิคลมปะทะมาศึกษาเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาคุณภาพของสับปะรดภูแลหลังการอบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยตู้ลมร้อนแบบถาดต่อไป

## 2. การดำเนินงานวิจัย

### 2.1 เครื่องอบแห้งในการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบกระแสลมปะทะระดับห้องปฏิบัติการถูกสร้างขึ้นที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ดัง รูปที่ 1 ตัวเครื่องอบแห้งประกอบไปด้วยพัดลม (blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เพื่อใช้ในการส่งลม มีชุดอุ่นอากาศโดยขดลวดไฟฟ้า (air heater) ขนาด 10 กิโลวัตต์ ที่ทางออกของอากาศเป็นหัวเป่าลม (Nozzle) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร จำนวน 4 หัว โดยมีระยะห่างของหัวเป่าลมกับสับปะรดที่ใช้ในการอบแห้ง 8 เซนติเมตร ความเร็วของอากาศควบคุมโดยใช้อุปกรณ์ปรับความถี่ของพัดลม (Frequency inverter) อุณหภูมิของอากาศให้อุปกรณ์ความคุมแบบพีไอดี (PID temperature controller)

### 2.2 วัตถุดิบในการทดลอง

สับปะรดภูแลจากจังหวัดเชียงรายที่ปอกเปลือกแล้วนำไปหั่นให้เป็นแผ่นกลมมีความหนา 0.8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร

### 2.3 เงื่อนไขการอบแห้ง

ในการศึกษานี้ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 45 60 และ 75 องศาเซลเซียส สับปะรดที่หั่นแล้วนำไปวางบนถาดสแตนเลสจำนวน 4 ชิ้น ในระหว่างการอบแห้งสับปะรดและถาดถูกนำไปชั่งที่เครื่องชั่งไฟฟ้าทุก 60 นาที เพื่อวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป จนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.01 กรัม ในช่วงเวลา 120 นาที จึงหยุดการทดลอง หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ถูกนำไปหาความชื้นสุดท้าย

โดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 3. การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

น้ำหนักของน้ำที่ระเหยระหว่างการอบแห้ง โดยหาจากน้ำหนักของสับปะรดที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง นำมาคำนวณหาอัตราการอบแห้ง ในหน่วยกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยต่อนาที ดังสมการที่ 1

$$DR = \frac{60\,(M_{p,i}-M_{p,f})}{t} \qquad (1)$$

เมื่อ $M_{p,i}$ และ $M_{p,f}$ คือ มวลของสับปะรดก่อนและหลังการอบแห้ง (กรัม) และ t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (วินาที)

พลังงานที่ใช้ที่พัดลมและอุปกรณ์อุ่นอากาศก่อน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่พัดลม หาได้จาก สมการที่ 2

$$E_b = VIt \qquad (2)$$

แต่เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์อุ่นอากาศเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณพลังงานไฟฟ้า จากพลังงานที่อากาศได้รับดังสมการที่ 3

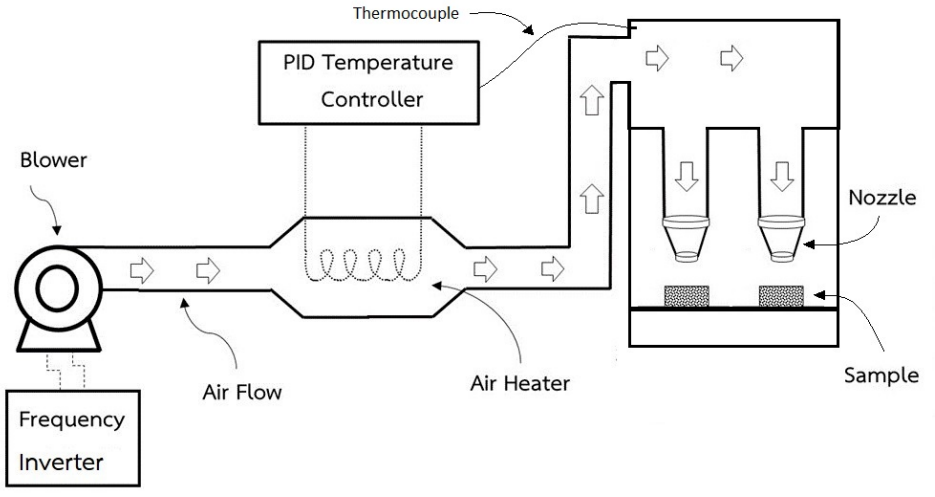
$$E_h = \frac{\rho A_n \nu C_p (T_d - T_{amb})}{\eta_h} t \qquad (3)$$

เมื่อ $\rho$ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), $A_n$ คือพื้นที่หน้าตัดของหัวเป่าลม (ตารางเมตร), $\nu$ ความเร็วของอากาศที่หัวเป่าลม (เมตรต่อวินาที), $C_p$ ค่าความจุความร้อนของอากาศ (กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส),$T_d$ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส) $T_{amb}$ คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (องศาเซลเซียส) และ $\eta_h$ คือ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

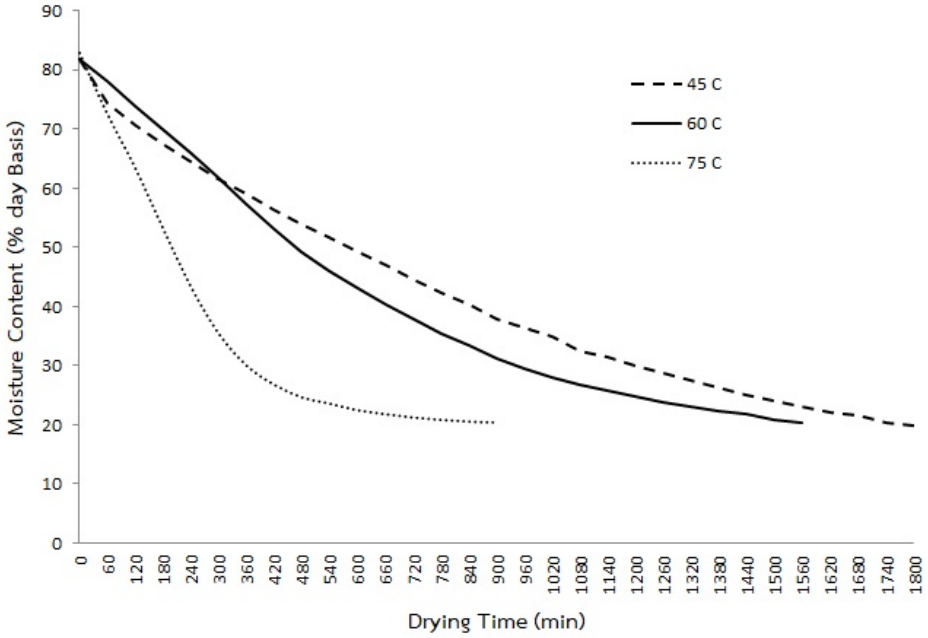
ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) สามารถหาได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$SEC = \frac{E_b+E_h}{(M_{p,i}-M_{p,f})} \qquad (4)$$

$$SMER = \frac{(M_{p,i}-M_{p,f})}{E_b+E_h} \qquad (5)$$




รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบกระแสลมปะทะ




รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นต่อเวลาในการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแบบ 4 หัวฉีด

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำระเหย ระยะเวลาในการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง

| Drying Temperature (°C) | Evaporated Water (g) | Total Drying Time (min) | Drying Rate (g/min) |
|---|---|---|---|
| 45 | 59.04 | 1800 | 0.033 |
| 60 | 78.08 | 1560 | 0.05 |
| 75 | 97.24 | 900 | 0.108 |

ตารางที่ 2 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER)

| Drying Temperature (°C) | Specific Energy Consumption (SEC) (kWh/kg water evap.) | Specific Moisture Extraction Rate (SMER) (kg water evap. /kWh) |
|---|---|---|
| 45 | 0.21 | 4.76 |
| 60 | 0.15 | 7.23 |
| 75 | 0.07 | 15.19 |

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ระหว่างเครื่องอบแบบหัวฉีดเดียวกับแบบ 4 หัวฉีด

| Drying Temperature (°C) | Total Drying Time (min) | | Drying Rate (g/min) | | Specific Energy Consumption (SEC) (kWh/kg water evap.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Single Nozzle[6] | 4 Nozzle | Single Nozzle[6] | 4 Nozzle | Single Nozzle[6] | 4 Nozzle |
| 45 | 1800 | 1800 | 0.012 | 0.033 | 0.52 | 0.21 |
| 60 | 720 | 1560 | 0.031 | 0.05 | 0.29 | 0.15 |
| 75 | 500 | 900 | 0.042 | 0.108 | 0.23 | 0.07 |

**4. ผลการทดลองและวิจารณ์**

ใน รูปที่ 2 แสดงว่าอุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลต่ออัตราการอบแห้งและความชื้นสุดท้ายอย่างเห็นได้ชัด อุณหภูมิอบแห้งที่สูงส่งผลให้ความชื้นสุดท้ายต่ำ และมีอัตราการอบแห้งที่สูงในช่วงแรก โดยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 900 นาที ก็สามารถอบลดความชื้นของสับปะรดให้เหลือประมาณร้อยละ 20 ฐานเปียก

จาก ตารางที่ 1 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุด และมีอัตราการอบแห้งที่ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่มีอัตราการอบแห้งที่สูงที่สุดคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบกับผลการทดลองของเครื่องอบแห้งด้วยกระแสลมปะทะแบบหัวฉีดเดี่ยวกลับพบว่า แบบ 4 ฉีดใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่า คาดว่าเป็นผลมาจากการเกิดอากาศวนที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างชิ้นผลิตภัณฑ์ทั้ง 4 ชิ้น จึงทำให้อากาศที่มีความชื้นสูงวนอยู่ระหว่างชิ้นงาน เป็นสาเหตุให้ระยะเวลาอบแห้งนานขึ้น แต่เนื่องด้วยมีการอบแห้งในจำนวนชิ้นที่มากกว่า จึงทำให้อัตราการอบแห้งสูงกว่า และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ต่ำกว่าเครื่องอบแบบหัวฉีดเดี่ยว

เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ จาก ตารางที่ 2 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดที่ 0.07 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย ในส่วนของอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงที่สุดที่ 15.19 กิโลกรัมของน้ำที่ระเหยต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของณัฐพล ภูมิสะอาดและคณะ [6] ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้เงื่อนไขการทดลองเดียว แต่ใช้หัวฉีดเพียงหนึ่งหัว พบว่าระยะเวลาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกัน แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 75 องศาเซลเซียส การอบแห้งเพียงหนึ่งหัวฉีดจะสามารถอบแห้งได้รวดเร็วกว่าการใช้ 4 หัวฉีด ทั้งนี้เนื่องมากจากการใช้เพียงหัวฉีดนั่น กระแสอากาศเมื่อกะทบกับผลิตภัณฑ์แล้วสมารถเคลื่อนที่ออกไปรอบ ๆ ได้อย่างอิสระ ต่างจากกรณี

ที่ใช้สี่หัวฉีด ที่กระแสอากาศ เมื่อผ่านผลิตภัณฑ์แล้วจะเกิดการชนกัน ทำให้ อย่างไหลผ่านได้ไม่สะดวก แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งโดยใช้ 4 หัวฉีดจะมีการใช้พลังงานจำเพาะที่น้อยกว่ากรณีหัวฉีดเดียวเนื่องจากพลังงานในส่วนของพัดลมที่ใช้ในการส่งอากาศน้อยกว่า

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยการอบแห้งแบบปะทะ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งคือ 45 60 และ 75 องศาเซลเซียส สามารถสรุปผลการศึกษาและมีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ในการศึกษาดังนี้ เงื่อนไขการอบแห้งที่ให้อัตราการอบแห้งที่สูงที่สุดและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด คือ อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 900 นาที และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.07 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Moreira, R. G. (2001). Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. Journal of Food Engineering, 49(4), 291-295.

[2] Kurnia, J. C., Sasmito, A. P., Xu, P., & Mujumdar, A. S. (2017). Performance and potential energy saving of thermal dryer with intermittent impinging jet. Applied Thermal Engineering, 113, 246-258.

[3] Xiao, H.W., Pang, C.L., Wang, L.H., Bai, J.W., Yang, W.X. and Gao, Z.J. (2010). Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer. Biosystems Engineering, 105: 233-240.

[4] Li, X.D., Alamir, M., Witrant, E., Della-Valle, G., Rouaud, O., Boillereaux, L. and Josset, C. (2013). Further investigations on energy saving by jet impingement in bread baking process. 5th Symposium on System Structure and Control, 696-701, Grenoble, France, February 4-6: 2013

[5] Wang, J., Fang, X.M., Mujumdar A.S., Qian, J.Y., Zhang, Q., Yang, X.H., Liu, Y.H., Gao, Z.J., Xiao, H.W., (2016). Effect of High-Humidity Hot Air Impingement Blanching (HHAIB) on Drying and Quality of Red Pepper (Capsicum annuum L.). Food Chemistry, 220: 145-152.

[6] ณัฐพล ภูมิสะอาด, สมเกียรติ ไม้หอม และละมุล วิเศษ (2561) การอบแห้งสัปปะรดภูแลด้วยกระแสลมปะทะ: จลนพลศาสตร์การอบแห้งและสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ ปีที่ 14, 127-133