การพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเจ็ทไหลปะทะ

Development of Phulae pineapple dryer with jet impingement

ปริญญานิพนธ์

ของ

นัตพล อุโมง 57010310358

กิตติ รัตนบุรม 57010310492

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

การพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเจ็ทไหลปะทะ

Development of Phulae pineapple dryer with jet impingement

ปริญญานิพนธ์

ของ

นัตพล อุโมง 57010310358

กิตติ รัตนบุรม 57010310492

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชิดา สุวแพทย์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ)

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

Mahasarakham University

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากบุคคลหลายท่านได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา แนะนำ ความคิดเห็น และกำลังใจแก่ผู้จัดทำ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ ให้แนวคิดความรู้ทางวิชาการ แนะแนวทางในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ตรวจสอบปริญญานิพนธ์ ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นผลให้ผู้จัดทำมีความสามารถในการทำและพัฒนาปริญญานิพนธ์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชิดา สุวแพทย์ และ
ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.**ธวัฒน์ชัย คุณะโคตร** ประธานและกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ แก้ไข ให้แนวคิดต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ในการจัดสร้างการทดสอบและจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พี่น้องและเพื่อนๆตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากมาย ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของผู้จัดทำ ที่ได้ช่วยส่งเสริมสนับสนุน กระตุ้นเตือน คอยเอาใจใส่ดูแล ให้กำลังใจและทุนทรัพย์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นัตพล อุโมง

กิตติ รัตนบุรม

ชื่อเรื่อง การพัฒนาเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเจ็ทไหลปะทะ
ผู้วิจัย นายนัตพล อุโมง
นายกิตติ รัตนบุรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละมุล วิเศษ
ปริญญา วศ.บ. **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2561

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะสองด้าน ในการทดลองใช้สับปะรดหั่นเป็นแว่นหนา 8 มิลลิเมตร ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 86 ฐานเปียก อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15 ฐานเปียก เงื่อนไขของการอบแห้งคือ อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 1.5, 2 และ 3 เซนติเมตร บันทึกค่าน้ำหนักสับปะรดในระหว่างการอบแห้งทุก 10 นาที การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อน ความเร็วลม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง เงื่อนไขที่เหมาะสม คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 3 เซนติเมตร เป็นเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด และใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด

TITLE Development of Phulae Pineapple Dryer with Jet Impingement

AUTHORS Mr. Nattaphon Umong

Mr. Kitti Rattanaburom

ADVISOR Asst. Prof. Nattapol Poomsa-ad, Ph.D.

CO-ADVISOR Asst. Prof. Lamul Wiset, Ph.D.

DEGREE **B.Eng.** (Mechanical Engineering)

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2018

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the kinetics of Phulae pineapple drying with double jet impingement dryer. An 8 mm-thick pineapple slice was used in the experiment. The initial moisture content of 86% wet basis was dried down to the final of 15% wet basis. The drying conditions were drying temperatures of 60, 70 and 80 °C, air velocity of 15, 20 and 25 m/s and nozzle diameters of 1.5, 2 and 3 cm. Pineapple weight was collected during drying in every 10 minutes. Increasing hot air temperature, air velocity and nozzle diameter resulted in shortening the total time of drying. The optimum condition was the drying temperature of 80 °C with air velocity of 25 m/s and nozzle diameter of 3 cm. This condition obtained the shortest total drying time and the lowest energy consumption.

Mahasarakham University

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
สถานที่ดำเนินการศึกษา	3
2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
สับปะรดพันธุ์ภูแล	4
ทฤษฎีการอบแห้ง	4
ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง	5
การแลกเปลี่ยนความร้อน	6
ความชื้นในวัสดุ	7
ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง	8
การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง	8
โครงสร้างของเจ็ทไหลปะทะ	10
ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิว	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
3 วิธีดำเนินการศึกษา	16
การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ	16
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
วัตถุดิบ	18
วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล	18
การวิเคราะห์คุณภาพ	19
การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง	20

Mahasarakham University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	21
ผลการวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ	21
ผลวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทต่อการอบแห้งสับปะรด	28
ลักษณะสีของสัปปะรดหลังการอบแห้ง	31
วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของสับปะรดหลังการอบแห้ง	33
ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า	34
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	37
สรุปผลการทดลอง	37
ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก ตารางการทดลอง	41
ภาคผนวก ข ภาพประกอบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ	85
ภาคผนวก ค ภาพประกอบอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง	88
ประวัติย่อผู้วิจัย	91

Mahasarakham University

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	การตั้งค่าเครื่อง Texture Analyzer	19
2	ลักษณะสีของสับปะรดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ	31
3	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า	35
4	ตาราง ก 1 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร	42
5	ตาราง ก 1 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)	43
6	ตาราง ก 1 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)	44
7	ตาราง ก 2 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร	45
8	ตาราง ก 2 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)	46
9	ตาราง ก 3 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร	47
10	ตาราง ก 3 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)	48

Mahasarakham University

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

11 ตาราง ก 4 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 49
12 ตาราง ก 4 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ) 50
13 ตาราง ก 5 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 51
14 ตาราง ก 5 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ) 52
15 ตาราง ก 6 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 53
16 ตาราง ก 6 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ) 54
17 ตาราง ก 7 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 55
18 ตาราง ก 7 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ) 56
19 ตาราง ก 8 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 57

Mahasarakham University

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

20 ตาราง ก 8 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ) 58

21 ตาราง ก 9 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 59

22 ตาราง ก 9 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ) 60

23 ตาราง ก 10 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 61

24 ตาราง ก 10 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ) 62

25 ตาราง ก 11 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 63

26 ตาราง ก 11 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ) 64

27 ตาราง ก 12 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 65

28 ตาราง ก 13 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 66

Mahasarakham University

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

29 ตาราง ก 13 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ) 67

30 ตาราง ก 14 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 68

31 ตาราง ก 15 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 69

32 ตาราง ก 15 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ) 70

33 ตาราง ก 16 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 71

34 ตาราง ก 16 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ) 72

35 ตาราง ก 17 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 73

36 ตาราง ก 17 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ) 74

37 ตาราง ก 18 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 75

Mahasarakham University

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

38 ตาราง ก 19 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 76
39 ตาราง ก 20 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 77
40 ตาราง ก 20 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ) 78
41 ตาราง ก 21 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร 78
42 ตาราง ก 22 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 79
43 ตาราง ก 23 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 80
44 ตาราง ก 24 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 81
45 ตาราง ก 25 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 82
46 ตาราง ก 26 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 83

Mahasarakham University

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

47 ตาราง ก 27 ผลการทดลองอบแห้งอุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 84

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1 โครงสร้างของเจ็ทที่ไหลปะทะพื้นผิวระนาบ 10
2 รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วและระดับความปั่นป่วนที่
ปากทางออกหัวฉีดแต่ละแบบ 11
3 เครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ 16
4 โครงสร้างท่อหัวเจ็ทที่ไหลปะทะ 17
5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ทไหลปะทะ 17
6 การกดหาค่าความแข็ง 20
7 จุดในการกดสับปะรด 20
8 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ
25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร 22
9 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ
25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร 24
10 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ
25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร 26
11 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที
และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ 28
12 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที
และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ 29
13 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่
อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที
และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ 30

Mahasarakham University

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

14 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความแข็งกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ท 33
15 แบบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ 86
16 โครงสร้างและขนาดของท่อหัวเจ็ทไหลประทะ 86
17 ขนาดห้องอบผลิตภัณฑ์ 87
18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 87
19 เครื่องวัดความเร็วลม UNI-T UT363 89
20 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทอล 89
21 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) 90
22 มิเตอร์ไฟฟ้า 90

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

สับปะรดเป็นผลไม้ที่คนไทยรู้จักกันดีปลูกได้ทุกพื้นที่ทั่วประเทศโดยเฉพาะภาคตะวันออก และภาคตะวันตก มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตสูงที่สุด สับปะรดออกผลให้เราได้กินตลอดทั้งปีโดยไม่ต้องรอตามฤดูกาล และยังจัดเป็นผลไม้ที่ดีต่อสุขภาพ อุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งขาดไม่ได้ เช่น กรดโฟลิก แคลเซียม โพแทสเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ฯลฯ ซึ่งมีส่วนช่วยในการรักษาโรคได้หลายชนิด เช่น วิตามินซีที่มีอยู่สูงในสับปะรดจะทำให้ร่างกายติดเชื้อยากและต่อสู้กับเชื้อโรคต่างๆได้เป็นอย่างดี และยังช่วยดูแลสุขภาพภายในช่องปากให้แข็งแรงไม่เป็นโรคต่างๆเกี่ยวกับช่องปากหรือโรคเหงือก เป็นต้น สับปะรดจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง ปกติจะเป็นผลไม้ที่มีปริมาณมากเกินความต้องการ ทำให้สับปะรดมีราคาถูก ถ้าจำหน่ายไม่หมดในเวลาอันควรจะเน่าเสีย ก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยเหลือเกษตรกร และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจ จึงได้มีการแปรรูปสับปะรดให้เป็นผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศได้ โดยการทำเป็นสับปะรดอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของวัสดุอาหาร ธัญพืช และผลไม้ที่น่าสนใจ เพราะนอกจากสามารถนำมาใช้ในการถนอมวัสดุแล้ว ยังช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์มาจัดจำหน่ายในช่วงที่มีราคาดี

การอบแห้งสับปะรดนั้นมีหลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อนในเครื่องอบแบบถาด ที่มา : (วรรณิภา ศรีภูธร และ วรรณิษา เหลาแพง, 2551.) การอบแห้งโดยใช้วิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับการพาอากาศร้อน ที่มา : (กมล พลคำ, 2553.) การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่มา : (ปุญญาวีร์ ศิริชัย อรวี คุณพรม, 2560.) เป็นต้น กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร และการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ เกี่ยวกับเทคนิคการใช้งานตัวแปรและองค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงานของเครื่องและประสิทธิภาพของการอบแห้งของอุปกรณ์อบแห้งชนิดต่างๆ ปัจจุบันนี้เทคนิคการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรแบบเจ็ทไหลปะทะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจนำมาศึกษาและพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสมและประยุกต์ใช้ทางการพาณิชย์ได้ด้วย

Mahasarakham University

การใช้เจ็ทไหลปะทะ เป็นวิธีใช้หัวฉีดส่งกระแสลมหรือของไหลที่มีความเร็วสูงบังคับให้ไหลปะทะพื้นผิวโดยตรง เป็นอีกวิธีที่ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวและเหมาะสำหรับใช้ในกระบวนการที่ต้องการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวเนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวสูง ข้อดีของการอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะนั้น สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลง เพิ่มอัตราการผลิตและอบผลิตภัณฑ์ได้แห้งสม่ำเสมอ และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพที่ดี ทางผู้ศึกษางานวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้เทคโนโลยีในการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะเข้าช่วยในการลดความชื้นและศึกษาคุณภาพของสับปะรดที่ผ่านการอบด้วยวิธีดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแบบเจ็ทไหลปะทะ ซึ่งการอบแห้งวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งสับปะรดที่ใช้เครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ
2. เพื่อศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

ขอบเขตการศึกษา

1. สับปะรดที่ใช้ในการทดลองคือ สับปะรดพันธุ์ภูแล
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส
3. ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง 10, 15 และ 20 เมตรต่อวินาที
4. หัวเจ็ทที่ใช้ในเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะมี 2 หัว เป็นแบบหัวบนและหัวล่าง
5. วิเคราะห์คุณภาพเนื้อสัมผัส
6. หาค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง
7. ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งร้อยละ 15 ฐานเปียก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำวิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบเจ็ทไหลปะทะ มาช่วยในการเก็บรักษาสับปะรดไม่ให้เกิดความเสียหายในระยะยาว
2. ช่วยลดระยะเวลาในการทำให้สับปะรดแห้งอย่างมีคุณภาพ

3. ทราบค่าพลังงานที่ใช้ไปในการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

4. ได้ประโยชน์จากการศึกษาค้นคว้า เพื่อนำไปสู่แนวความคิดที่พัฒนาสร้างประโยชน์ และช่วยประหยัดการใช้พลังงาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารด้วยการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถานที่ดำเนินการศึกษา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งโดยใช้ตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่จะกล่าวถึงในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย สับปะรดพันธุ์ภูแล ทฤษฎีการอบแห้ง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การแลกเปลี่ยนความร้อน ความชื้นในวัสดุ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง โครงสร้างของเจ็ทไหลปะทะ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิว และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

สับปะรดพันธุ์ภูแล

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Ananas comosus* (L.) Merr.

อยู่ในวงศ์ : Bromelioideae

สับปะรดภูแล เป็นสับปะรดพันธุ์หนึ่ง อยู่ในจังหวัดเชียงราย เป็นพืชล้มลุก มีทรงพุ่ม มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ลำต้นมีลักษณะกลมๆ มีแก่นแข็งและเหนียว มีสีน้ำตาล ใบมีลักษณะรูปหอกยาวรี ปลายใบเรียวแหลม ขอบใบมีรอยหยักเล็กๆ มีหนามแหลมคมตรงปลายใบ ไม่มีก้านใบ มีสีเขียว ผลมีลักษณะทรงกลม มีขนาดเล็ก มีเปลือกแข็งหนามีตารอบผล มีจุกกลุ่มใบที่ปลายผล ผลอ่อนมีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลือง ข้างในมีเนื้อสีเหลือง จะมีเมล็ดเล็กๆแทรกอยู่ เนื้อนุ่มชุ่มน้ำ มีแกนตรงกลางรับประทานได้ มีรสชาติหวานกรอบ มีกลิ่นหอม จะรับประทานเมื่อสุก มีรสชาติหวานหอมเย็น นำมารับประทาน นำมาประกอบอาหารต่างๆ ได้หลายเมนู ทำเป็นเครื่องดื่มหอมเย็นชื่นใจ จะปลูกมากในจังหวัดเชียงราย มีชื่อเสียงมากเป็นที่รู้จักกันดี

ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดปริมาณความชื้น (moisture content) ของผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาและป้องกันการเน่าเสียในช่วงเวลาหนึ่ง ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ส่วนมากแล้วได้รับมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักอาศัยอากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากอากาศร้อนไปยังวัสดุ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำโดยของเหลวที่อยู่ภายใน

วัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย (capillary flow) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force) ส่วนของไอน้ำในวัสดุจะมีการเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion) และจะมีความดันไอ (partial vapor of pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วยและเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่ และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้งจนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้งความชื้นที่จุดสุดท้ายนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไปกระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปสามารถแบ่งช่วงอัตราการอบแห้งได้ 3 ช่วง คือ

1. ระยะการเริ่มต้นของการอบแห้ง (initial period) ในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน (thermodynamic equilibrium) และจะมีการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ อัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (constant rate period) ระยะนี้อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะมีค่าคงที่ และความชื้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวการกระจายความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้งมายังพื้นผิวของวัสดุ มีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุ อัตราการอบแห้งในระยะนี้จะมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ

3. ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำลดลง (falling-rate period) ระยะนี้จะเริ่มจากเมื่อความชื้นบนพื้นผิวไม่อิ่มตัว อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในของวัสดุอบแห้งไปยังบริเวณพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยที่คงที่มาเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยลดลงเรียกว่า จุดความชื้นวิกฤต (critical moisture content) การระเหยของไอน้ำจะสิ้นสุดลงเมื่อถึงจุดที่เรียกว่า ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่มีความชื้นของวัสดุที่ยังคงมีอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ไม่มีการสูญเสียให้กับอากาศภายนอกในสภาวะนั้น

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

ในการอบแห้ง โดยทั่วไปมีปัจจัยหลายประการที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดขึ้นได้ช้าหรือเร็วซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะความพรุนของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่มีช่องว่างในเนื้อผลิตภัณฑ์น้อยต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีช่องว่างในเนื้อผลิตภัณฑ์มาก

2. ขนาดและรูปร่าง สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทเดียวกันที่ใช้ในการอบแห้งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กกว่า เมื่อทำการอบแห้งจะแห้งเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่

3. ตำแหน่งและลักษณะการวางผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้ง ตำแหน่งการวางที่ใกล้แหล่งความร้อนและมีความชื้นน้อยกว่าจะแห้งเร็วกว่า

4. อุณหภูมิในการอบแห้ง ถ้าอากาศร้อนมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงด้วยเนื่องจากในช่วงของอัตราการอบแห้งลดลงวัสดุอบแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้น ถ้าอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นอัตราการแพร่ของความชื้นจากภายในไปยังผิวของวัสดุก็จะเร็วขึ้น

5. ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากวัสดุอบแห้ง เมื่อความเร็วของลมร้อนเพิ่มขึ้นไอน้ำจะเคลื่อนที่ได้ดีขึ้นนอกจากนี้ความเร็วลมมีผลต่อการอบแห้ง คือ มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน โดยจะทำให้อากาศร้อนเกิดการปั่นป่วนในเครื่องอบแห้งทำให้อากาศร้อนสัมผัสกับวัสดุอบแห้งได้ดียิ่งขึ้นจึงทำให้การเคลื่อนย้ายของไอน้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นสิ่งสำคัญมากต่อการระเหยน้ำ ปริมาณความชื้นสุดท้ายในผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำจะมีผลช่วยให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง

การแลกเปลี่ยนความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้เป็นอุปกรณ์ ในการทดลองเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อนซึ่งค่าการแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถ หาได้จากสมการที่ (1) และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสมการที่ (2)

$$Q = mc_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_w) \quad \text{...} (1)$$

$$h = Q/A_s(T_s - T_w) \quad \text{..} (2)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน, Watt

m คือ อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, kJ/kg·K

$\#_i$ คือ อุณหภูมิทางเข้า, °C

T_o คือ อุณหภูมิทางออก, °C

h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2·K

A_s คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อน, m^2

T_w คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยผนังร้อน, °C

T_s คือ อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย, °C

ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในวัสดุเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง สามารถนำเสนอได้ 2 ลักษณะ คือ

1. ความชื้นฐานเปียกคำนวณได้จากสมการ (3)

$$M_w = (w - d)/w \times 100 \quad \text{...(3)}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นฐานเปียก, % w.b.

w คือ มวลของวัสดุเปียก, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

2. ความชื้นฐานแห้ง คำนวณได้จากสมการ (4)

$$M_d = (w - d)/d \times 100 \quad \text{...(4)}$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นฐานแห้ง, % d.b.

w คือ มวลของวัสดุเปียก, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้ง, kg

ความชื้นแบบมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะ ช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น เนื่องจากมวลแห้งของวัสดุมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการ อบแห้งจากสมการ (3) และ (4) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น ฐานเปียก และ ความชื้นแบบฐานแห้ง ได้ดังสมการ (5) และ (6)

$$M_w = M_d/(1 - M_d) \quad \text{...(5)}$$

และ

$$M_d = M_w/(1 - M_w) \quad \text{...(6)}$$

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นสับปะรด ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูง และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ชุดทำความร้อนเพื่อสร้างพลังงานความร้อนให้แก่อากาศที่ใช้เป็นตัวกลาง

ในการอบแห้งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specificenergy consumption : SEC) เป็นดัชนี แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นสับปะรด โดยค่า SEC แสดงให้ทราบถึงพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (ความชื้น) จำนวน 1 กิโลกรัม ออกจากสับปะรดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$SEC = E/m_{water} \quad \text{...(7)}$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้ง, MJ/kg_{water}

E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อน (MJ) ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงด้วยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและ

m_{water} คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากสับปะรด, kg_{water} ซึ่งประเมินได้จากความแตกต่างระหว่างน้ำหนักสับปะรดก่อนการอบแห้งและน้ำหนักสับปะรดหลังการอบแห้งตามสมการที่ (8)

m_{water} # (X_i # X_o) ....(8)

เมื่อ X_i น้ำหนักสับปะรดก่อนการอบแห้ง, kg

X_o น้ำหนักสับปะรดหลังการอบแห้ง, kg

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งท้าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและภาวะที่ใช้ในการอบแห้งดังนี้

1. การหดตัว การเสียน้ำท้าให้เซลล์หดตัวจากผิวนอกส่วนที่แข็งจะคงสภาพอยู่ได้ ส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไปอาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวแล้วบิดเบี้ยวมาก การท้าแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการท้าแห้งอย่างช้าๆ

2. การเปลี่ยนสีอาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้น เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีอุณหภูมิสูงและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้น 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะการแข็งที่ผิวอาหารเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งเกิดจากในช่วงแรกน้ำระเหยเร็วเกินไปจึงทำให้น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาลโปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงโดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูง เพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร

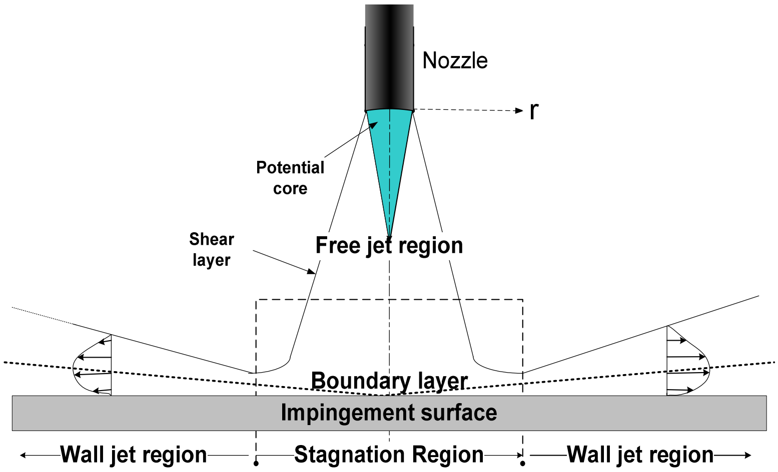
4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ อาหารแห้งบางชนิดต้องนำมาคืนสภาพแต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่ได้สภาพเหมือนเดิม เพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำ อาหารที่ทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพดีที่สุด เพราะไม่ได้ให้ความร้อนที่จะทำลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของโปรตีน

5. การเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหย เกิดจากการเสื่อมสลายของวิตามินซี และแคโรทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นไรโบรฟลาวินจากแสงไทอะมีนจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาทำแห้งนานการสูญเสียก็ยิ่งมาก โปรตีนมีการสูญเสียบางส่วน ด้วยความร้อนเช่นกัน การสูญเสียสารระเหยเนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

6. การเกิดสีน้ำตาลหรือความเสียหายเนื่องจากความร้อน ปัญหาที่สำคัญและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการอบแห้งก็คือ การเปลี่ยนแปลงสี ซึ่งเรียกชื่อต่างกัน เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดสีไหม้หรือความเสียหายอันเนื่องจากความร้อน การเปลี่ยนแปลงนี้บางครั้งเป็นความต้องการ เช่น การเกิดสีน้ำตาลไหม้บนผิวหน้าขนมปัง แต่ในแง่ของการอบแห้งถือว่า เป็นตำหนิทางคุณภาพ ถ้าการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้นมากจะทำให้กลิ่น รส ความสามารถในการคืนตัวและปริมาณกรดแอสคอร์บิคถูกกระทบกระเทือนไปด้วย อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเสียหายในลักษณะนี้มักจะเป็นปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลา เช่น อาหารที่มีความไวต่ออุณหภูมิอาจจะทนอุณหภูมิได้สูงถึง 33 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านี้ได้เพียง 2-3 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหาย แต่สามารถสังเกตเห็นสีน้ำตาลนี้ได้ถ้าหากใช้เวลานาน 8-10 ชั่วโมงที่ 49 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดสีน้ำตาลยังขึ้นกับปริมาณความชื้นในอาหาร ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในระบบที่ซับซ้อนที่มีสารละลายอย่างเจือจาง แต่ถ้าสารละลายนี้เข้มข้นขึ้นอันเนื่องมาจากการอบแห้งปฏิกิริยาก็จะเกิดอย่างรวดเร็ว ในกระบวนการอบแห้งอัตราการเกิดสีน้ำตาลจะสูงสุดที่ความชื้นอยู่ระดับปานกลางคือ ในช่วงระหว่าง 15-20 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออาหารมีลักษณะแห้งอย่างสมบูรณ์การเกิดสีน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ การอบแห้งที่มีความชื้นประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถเก็บได้เป็นเวลานานแม้ว่าจะเก็บที่อุณหภูมิสูงแต่ว่าปฏิกิริยาการเสื่อมเสียอื่นๆ เช่นการเกิดกลิ่นหืนจะกลายเป็นปัจจัยจำกัดของการเก็บอาหารนี้ ที่มา : (กวีวัฒน์ ยอดเยี่ยม และคณะ, 2557.)

โครงสร้างของเจ็ทไหลปะทะ

เจ็ทไหลปะทะ (impinging jets) คือของไหลที่พุงออกจากหัวฉีดถูกบังคับให้ไหลปะทะพื้นผิว ภาพประกอบ 1 แสดงโครงสร้างของเจ็ทที่ไหลปะทะพื้นผิวระนาบ จากรูปลักษณะโครงสร้างของเจ็ทไหลปะทะก่อนจะปะทะพื้นผิวจะมีบริเวณที่เจ็ทปะทะพื้นผิว (impingement region หรือ stagnation region) และหลังจากนั้นเจ็ทจะไหลเรียบบนพื้นผิว เรียกบริเวณนี้ว่าเจ็ทผนัง (wall jet)



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของเจ็ทที่ไหลปะทะพื้นผิวระนาบ

สำหรับโครงสร้างของเจ็ทไหลปะทะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. บริเวณเจ็ทอิสระ (free jet region) เป็นบริเวณที่เจ็ทเพิ่งจะไหลออกจากหัวฉีด ลักษณะโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับระยะพุ่งชนของเจ็ท

2. บริเวณเจ็ทไหลปะทะ (stagnation region) เป็นส่วนที่เจ็ทจะปะทะผนัง ก่อนเจ็ทปะทะผนังความเร็วของเจ็ทจะเริ่มลดลงและมีความเร็วเป็นศูนย์ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของเจ็ทไหลปะทะ หรือ stagnation point บนพื้นผิว หลังจากนั้นเจ็ทจะไหลบนผนังที่ถูกปะทะรอบ stagnation point ภายในบริเวณนี้จะเกิดความเร่งของของไหลรอบ stagnation point บนผนัง เนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางการไหลของเจ็ทกะทันหันหลังจากการปะทะ

3. บริเวณเจ็ทผนัง (wall jet region) จะเป็นการไหลรอบๆ stagnation region บนผนังหลังจากที่เจ็ทไหลปะทะ ในบริเวณนี้ความเร็วของเจ็ทของไหลจะเริ่มลดลงและชั้นขอบเขตการไหลบนผนังจะค่อยๆหนาขึ้น

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของเจ็ทบนพื้นผิว

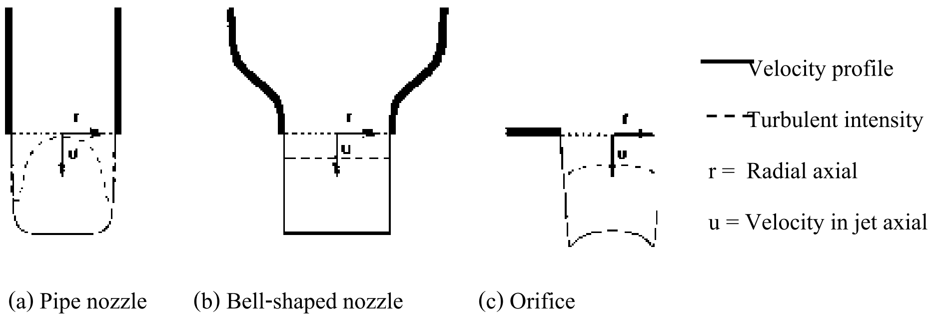
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของเจ็ทไหลปะทะ ได้แก่ ระยะห่างจากปากหัวฉีดถึงพื้นผิวที่เจ็ทไหลปะทะ ชนิดของหัวฉีดเจ็ท กลไกการเกิดความปั่นป่วนในเจ็ทไหลปะทะ

1. ระยะห่างจากปากหัวฉีดถึงพื้นผิวที่เจ็ทไหลปะทะ

โดยทั่วไปบริเวณที่เจ็ทไหลปะทะ โดยตรงจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่จุด stagnation point จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด ซึ่งค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ stagnation point จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างปากหัวฉีดกับพื้นผิวที่ถูกปะทะ และโครงสร้างการไหลของเจ็ทก่อนที่จะปะทะพื้นผิว ในกรณีที่บริเวณปลายของ potential core ปะทะพื้นผนัง จะได้ค่าของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ stagnation point จะสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระยะปะทะอื่นๆ เนื่องจากเจ็ทมีโมเมนตัมและมีค่าความแปรปรวน (turbulent intensity) ที่สูง แต่ถ้าระยะห่างระหว่างปากทางออกกับพื้นผิวมากขึ้นกว่านี้ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ stagnation point จะลดลงตามระยะห่างระหว่างปากทางออกกับพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเมนตัมของเจ็ทที่ปะทะผนังลดลง

2. ชนิดของหัวฉีดเจ็ท

ภาพประกอบ 2 แสดงการกระจายความเร็ว (velocity profile) และระดับความปั่นป่วน (turbulent intensity) ของเจ็ทที่ตำแหน่งปากทางออกของหัวฉีด 3 แบบที่นิยมใช้ทั่วไป จากรูปพบว่าชนิดของหัวฉีดเจ็ทจะมีผลต่อโครงสร้างของเจ็ทของไหลที่ฉีดออกมา



ภาพประกอบ 2 รูปแบบการกระจายตัวของความเร็วและระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกหัวฉีดแต่ละแบบ

กรณีหัวฉีดแบบ pipe nozzle เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากท่อยาวที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ การกระจายตัวของความเร็วที่ปากทางออกจะมีลักษณะเหมือนกับการกระจายความเร็วของของไหลในท่อ ดังแสดงในรูป 2(a) ส่วนระดับความปั่นป่วนจะค่อนข้างสูงบริเวณใกล้ขอบท่อของท่อ

กรณีหัวฉีดแบบ bell-shaped nozzle เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดที่มีลักษณะคล้ายระฆังที่มีการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของหัวฉีดก่อนเจ็ทไหลออกจากปากทางออก จึงมีผลทำให้การกระจายตัวของความเร็วที่ปากทางออกค่อนข้างที่จะสม่ำเสมอ และระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกเจ็ทค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูป 2(b)

กรณีหัวฉีดแบบ orifice เจ็ทของไหลจะถูกฉีดออกจากรูเจ็ทที่เจาะบนแผ่นบาง ที่ปากทางออกเจ็ทความเร็วบริเวณใกล้ขอบเจ็ทจะสูงกว่าบริเวณกลางเจ็ท และเจ็ทของไหลจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นในบริเวณใกล้ปากทางออก เกิดปรากฏการณ์ vena contracta เนื่องจากทำให้พื้นที่หน้าตัดของเจ็ทที่ออกจากปากทางออกลดลง ในกรณีนี้ระดับความปั่นป่วนที่ปากทางออกจะค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับหัวฉีดแบบอื่น ดังแสดงในรูป 2(c)

3. กลไกการเกิดความปั่นป่วนในเจ็ทไหลปะทะ

พฤติกรรมการไหลของเจ็ทสามารถแบ่งประเภทการไหลโดยใช้เรย์โนลด์นัมเบอร์ กล่าวคือที่ Re<1,000 การไหลเป็นแบบราบเรียบ (laminar flow) ที่ Re>3,000 การไหลเจ็ทเป็นแบบปั่นป่วน (turbulent flow) และที่ 1,000<Re<3,000 การไหลอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนผ่าน (transition flow) ซึ่งความปั่นป่วนของเจ็ทจะมีผลเป็นอย่างมากกับอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลบนพื้นผิวที่เจ็ทพุ่งชน คือ การไหลแบบราบเรียบจะมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าการไหลแบบปั่นป่วน จึงมีการใช้งานเจ็ทแบบไหลปั่นป่วนส่วนมากในอุตสาหกรรม

ที่มา : (เอกพจน์ วิเชียรโชติ, 2556.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณิภา ศรีภูธร และ วรรณิษา เหลาแพง (2551 : บทคัดย่อ) ศึกษาผลของการรีดน้ำสับปะรดออกต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของสับประรดที่อุณหภูมิการอบแห้งสภาวะต่างๆ โดยทำการอบแห้งแบบถาดและใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมในห้องอบ 0.5 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งสูงขึ้นที่อุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นจากการอบแห้งสับปะรดจนได้ตัวอย่างที่มีค่า A_W ต่ำกว่า 0.6 เมื่อนำไปวิเคราะห์ค่าสีและค่าแรงเฉือน พบว่าค่าความสว่าง (L*) ของสับปะรดไม่รีดน้ำมีค่าความสว่างสูงกว่าสับปะรดที่รีดน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p \le 0.05$) ณ ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันโดยค่าความสว่างลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น

สำหลับค่าความเป็นสีแดง (a*) พบว่าสับปะรดที่ผ่านการรีดน้ำมีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าสับปะรดที่ไม่รีดน้ำอย่ามีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้ง ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของสับปะรดที่ผ่านการรีดน้ำมีค่าสูงกว่าสับปะรดที่ไม่รีดน้ำอุณหภูมิอบแห้งเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าแรงเฉือน พบว่าสับปะรดที่ผ่านการรีดน้ำจะมีค่าสูงกว่าสับปะรดที่ไม่รีดน้ำในที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

กมล พลคำ (2553 : บทคัดย่อ) ศึกษาค้นคว้าจลนพลศาสตร์การอบแห้งของสับปะรดรูปวงแหวนขณะอบแห้งโดยใช้วิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับการพาอากาศร้อน มีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D) บนพื้นฐานของคำตอบตามแบบจำลองสมการ ทางทฤษฎี Fick’s law มีการเปรียบเทียบระหว่างค่า D ที่พิจารณาการหดตัวกับไม่หดตัวพร้อมทั้งศึกษาจลนพลศาสตร์ทางด้านคุณภาพของสับปะรดอบแห้ง เช่น สี น้ำอิสระ อัตราส่วนแรงเฉือน และการหดตัว โดยการศึกษาจะนำสับปะรด (พันธุ์ Smooth Cayenne) ที่สุกเต็มที่มาปฏิบัติการทางเคมีก่อนเพื่อรักษาสี กลิ่นและรสแบบธรรมชาติโดยไม่ใส่น้ำตาล จากนั้นตัดเป็นรูปวงแหวนแล้วอบแห้งโดยใช้ความเข้มรังสีอินฟราเรดในช่วง 1-5 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร รวมกับอากาศอุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส และความเร็วอากาศ 0.5-1.5 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่า ค่า D จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความเข้ม และค่า D ที่คิดการหดตัวร่วมด้วยจะมีค่าที่ต่ำกว่าค่า D ที่ไม่คิดการหดตัวในทุกเงื่อนไขที่ทดลอง แบบจำลอง ของ Midilli-Kucuk สามารถทำนายผลการอบแห้งได้เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R2) และค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง (EF) สูงที่สุด ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเอนเอียงเฉลี่ย (MBE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าไคสแควร์ (X^2) มีค่าต่ำที่สุด คุณภาพด้านค่าสีพบว่าแบบจำลอง Quartic ให้ผลการทำนายที่ดีกว่าแบบจำลองพหุนามอื่นๆอีกสามแบบ ส่วนแบบจำลองของ Halsey จะเหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายค่าน้ำอิสระ นอกจากนี้จากการดัดแปลงสมการอบแห้งแบบชั้นบางเช่น Page Henderson and Pabis Logarithmic และ MidilliKucuk มาใช้ทำนายค่าอัตราส่วนแรงเฉือน (SFR) การวิเคราะห์ทางสถิติชี้ให้เห็นว่า การดัดแปลงสมการเหล่านี้สามารถนำมาใช้อธิบายค่าอัตราส่วนแรงเฉือนได้ และรูปแบบของ Midilli-Kucuk สามารถทำนายได้เหมาะสมที่สุด ส่วนการหดตัวแบบจำลอง Quadratic สามารถทำนายผลได้เหมาะสมกว่าแบบจำลอง Linear ในทุกๆมิติ (รัศมีภายนอก รัศมีภายใน ความหนา และ ปริมาตร) ของสับปะรดรูปวงแหวน โดยสรุป สับปะรดที่ทำเป็นรูปทรงวงแหวนนั้นสามารถอบแห้งได้ด้วยวิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับการพาอากาศร้อน การเปลี่ยนแปลงของความชื้นและคุณภาพของสับปะรด ขณะทำการอบแห้งสามารถทำนายได้อย่างถูกต้องด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีด้านการอบแห้งและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ได้

Wei et al. (2010 : บทคัดย่อ) ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพขององุ่นไร้เมล็ดในเครื่องอบแบบเจ็ทไหลปะทะ ภายใต้อุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกัน 50, 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 3, 5, 7 และ 9 เมตรต่อวินาที ผลการศึกษาพบว่าผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีเวลาการอบแห้งเป็นที่แตกต่างกันมากกว่าความเร็วลม การกระจายตัวของความชื้นมีค่าตั้งแต่ 1.82×10^{10} ถึง 5.84×10^{10} เมตรต่อวินาที โดยคำนวณโดยใช้กฎข้อที่สองของ Fick ในการแพร่กระจาย พลังงานกระตุ้นที่กำหนดจากสมการ Arrhenius เท่ากับ 67.29 กิโลจูลต่อโมล ความแข็งขององุ่นไร้เมล็ด Monukka เปลี่ยนจาก 9.53 เป็น 17.16 นิวตัน แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการเก็บรักษาวิตามินซีของตัวอย่างแตกต่างกันไปตั้งแต่ 10.26 ถึง 39.73 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับของสด ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมการเก็บรักษาวิตามินซีขณะที่ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของอากาศและการเก็บรักษาวิตามินซี

Li et al. (2013 : บทคัดย่อ) การศึกษาการประมาณค่าการประหยัดพลังงานที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการอบขนมปังโดยใช้เทคโนโลยีการกระแทกของเจ็ท เทคโนโลยีใหม่นี้พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการอบ จากแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกลไกที่ระบุในงานที่ผ่านมาปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพที่ไม่ใช่นูนถูกออกแบบมาโดยคำนึงถึงค่าพลังงานที่ไม่ใช่ศูนย์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีใหม่ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าเราสามารถคาดหวังว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สมมติฐานที่สมเหตุสมผล

ศรัณย์ เพชรชูช่วย และคณะ (2559 : บทคัดย่อ) ศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมโดยเปรียบเทียบระหว่างตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาดในการทดลองอบแห้งได้ใช้กล้วยหอมระดับสุก 5 หั่นตามขวางหนา 4 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ 75, 85, และ 95 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26, และ 0.35 กิโลกรัมต่อวินาที จนความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 25 ฐานเปียก จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี ความแข็ง ความ กรอบ และการหดตัวรวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อนส่งผลให้อัตราการแห้งสูงเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบลดลง และที่เงื่อนไขลมร้อนเดียวกันชิ้นกล้วยหอมที่อบด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะให้อัตราการแห้งสูงกว่าตู้อบแบบถาด และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพหลังการอบด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาด พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมต่ำ ความกรอบต่ำ ความแข็งสูง ร้อยละการหดตัวสูงและการใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับตู้อบแบบถาด

Wang et al. (2016 : บทคัดย่อ) ศึกษาการตอบสนองของพื้นผิวและวิธีการประเมินผลแบบสังเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งกากถั่วเหลือง (Okara) ในเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ (air jet impingement drier-AJID) อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ (50-70 องศาเซลเซียส), ความเร็วลม 1.3-2.3 เมตรต่อวินาที ความหนาแน่นของโหลดตัวอย่าง 3-4 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ถือเป็นปัจจัยการรักษาในการเพิ่มประสิทธิภาพ ในขณะที่อัตราการอบแห้ง, สี, สารยับยั้งเอนไซม์กิจกรรมเนื้อหาและกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระได้รับการประเมินเป็นพารามิเตอร์ตัวแปรที่ใช้ในการบำบัดทั้งหมดมีผลต่ออัตราการอบแห้งและปริมาณโซเดียมฟลูออไรด์ ($p<0.05$) อุณหภูมิที่สูงขึ้นความเร็วอากาศที่สูงขึ้นและความหนาแน่นของโหลดลดลงทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น อุณหภูมิและความเร็วลมแสดงให้เห็นว่ามีผลต่อสมรรถภาพการต้านอนุมูลอิสระของโอคาร่า เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับ (AJID) ของกากถั่วเหลือง Okara คือ 70 องศาเซลเซียส,ความเร็วลม 2.3 เมตรต่อวินาที และความหนาแน่นการโหลด 3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร การศึกษาการควบคุมกระบวนการนี้ให้ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพของกากถั่วเหลือง Okara โดยใช้ (AJID)

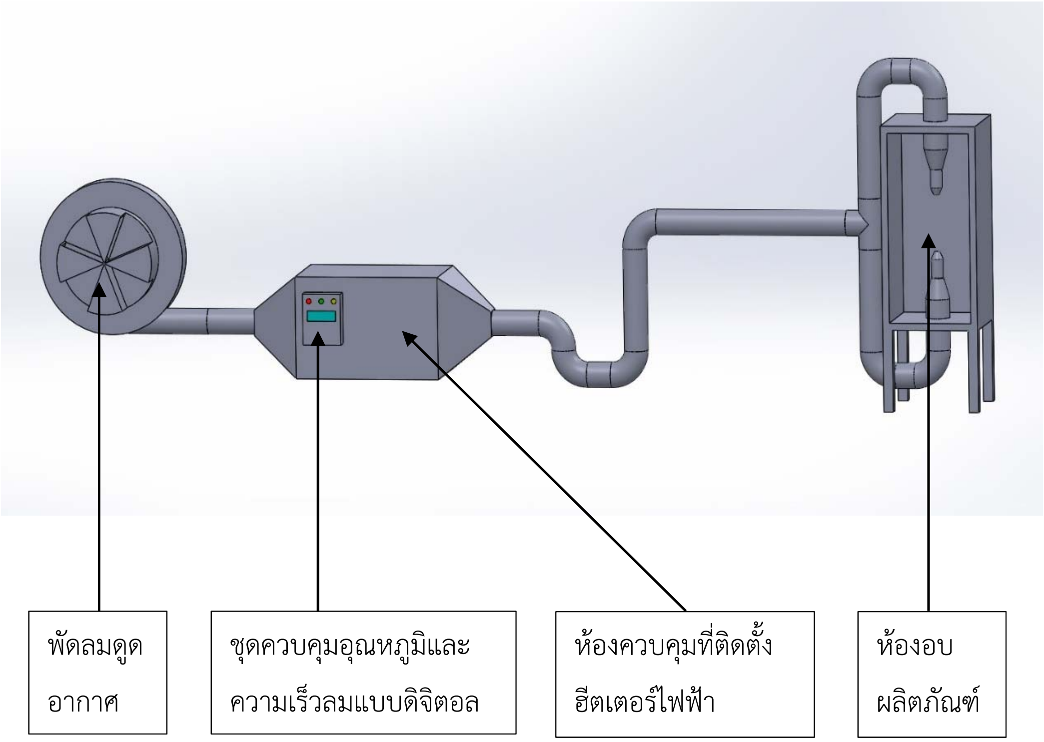
Wang et al. (2017 : บทคัดย่อ) ศึกษาผลของการลดความชื้นด้วยการปะทะของอากาศร้อนสูง (HHAIB) ในช่วงเวลาต่างกัน 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 วินาที ที่มีผลต่อการอบแห้งและคุณภาพของพริกแดง ในส่วนของสีผิว, สีแดง, ปริมาณเม็ดสี โครงสร้างจุลภาคและเนื้อสัมผัส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการตกค้างโพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ของตัวอย่างลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่ลดลงเหลือ 7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากผ่านไป 120 วินาที แบบจำลองเศษส่วนในลำดับแรกอธิบายการใช้งาน PPO ได้ดี เวลา HHAIB ที่เหมาะสมสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้อย่างกว้างขวางสีผิวของพริกแตกต่างกัน ในแง่ของปริมาณเม็ดสีแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระยะเวลา 120 วินาที ขณะที่ใช้เวลา 150 วินาที สามารถลดปริมาณเม็ดสีแดงได้อย่างมีนัยสำคัญการ สังเกตโครงสร้างจุลภาคแสดงให้เห็นว่ามีรอยแตกขนาดเล็กที่เกิดขึ้นซึ่งอธิบายได้ว่าทำไม HHAIB จึงช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้ง ความแข็งความกระด้างและความวาวของตัวอย่างลดลงเมื่อเพิ่มเวลา HHAIB

จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่า ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อบแห้งนั้น การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงและความเร็วลมสูงทำให้ลดอัตราความชื่นของผลิตภัณฑ์มากขึ้น และมีการเปรียบเทียบการอบแบบตู้อบแบบถาดและตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ ซึ่งพบว่าการอบแบบตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่มีคุณภาพดีกว่าตู้อบแบบถาด และยังไม่มีงานวิจัยไหนศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเจ็ทไหลปะทะ ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะเพื่ออบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแล เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางด้านอุตสหกรรมการแปรรูปอาหาร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

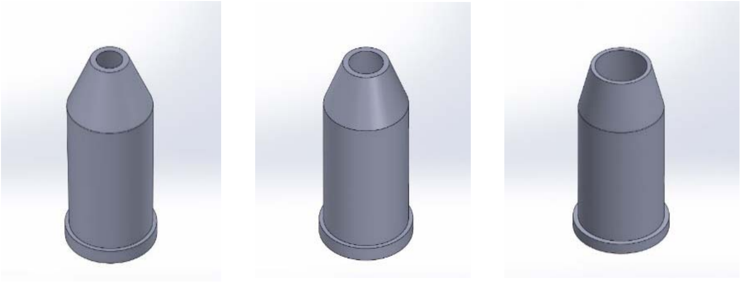
การออกแบบเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ



ภาพประกอบ 3 เครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

ภาพประกอบ 3 แสดงภาพของชุดทดลองเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ เจ็ทลมร้อนจะถูกสร้างโดยพัดลมดูดอากาศผ่านห้องควบคุมที่ติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมแบบดิจิตอล เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อน หลังจากนั้นลมร้อนไหลผ่านท่อเข้าสู่ห้องอบที่ต่อกับท่อหัวเจ็ทจำนวน 2 ท่อ

ภาพประกอบ 4 โครงสร้างท่อหัวเจ็ทไหลปะทะ



ก ข ค

ภาพประกอบ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ทไหลปะทะ และขนาดความยาวของท่อหัวฉีดเจ็ท 15 เซนติเมตร ก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร ค) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร

รายละเอียดของชุดทดลองเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ทมี 3 ขนาด คือ 1.5, 2 และ 3 เซนติเมตร
2. ท่อหัวเจ็ทมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว
3. ท่อต่อจากปากทางออกฮีตเตอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว

4. ท่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 4 นิ้ว เป็น 2 นิ้ว

5. ห้องอบผลิตภัณฑ์มีขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดความเร็วลม
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
3. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ชุดคอมพิวเตอร์จำนวน 1 ชุด เพื่อแสดงผลข้อมูล และบันทึกข้อมูลผลการทดลอง

วัตถุดิบ

สับปะรดพันธุ์ภูแลที่ผ่านการปอกเปลือกนำมาหั่นตามขวางเป็นชิ้นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-8 เซนติเมตร ความหนา 0.8-1 เซนติเมตร สุ่มตัวอย่างไปหาความชื้นเริ่มต้น

วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

1. เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยเปิดเครื่องอบแห้งจนเครื่องทำอุณหภูมิถึงที่ตั้งไว้ คือ 70 องศาเซลเซียส และปรับอัตราการไหลของอากาศที่ความเร็วลมที่กำหนด

2. นำสับปะรด ใส่ตะแกรงครั้งละ 1 ชิ้น ชั่งน้ำหนักพร้อมตะแกรง แล้วนำไปใส่ในห้องอบ

3. ทดลองอบแห้งสับปะรด ที่อุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร อบแห้งจนความชื้นสุดท้ายคงที่

4. ระหว่างการทดลองทุก 10 นาที จะยกตะแกรงที่วางสับปะรดออกมาชั่งบันทึกน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล จนกระทั่งสับปะรดมีความชื้นร้อยละ 15 ฐานเปียก หรือจนกว่าความชื้นสุดท้ายคงที่ แล้วนำสับปะรดที่อบแห้งมาเก็บไว้ในถุงปิดสนิท เพื่อนำไปทดสอบคุณภาพ ได้แก่ ความแข็งและค่าความชื้นของสับปะรด

5. บันทึกค่าการใช้พลังงานในการอบแห้งจากการอ่านค่า กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

6. ทำการเปลี่ยนอุณหภูมิจากเริ่มต้นที่ 60 เป็น 70 และ 80 องศาเซลเซียส เปลี่ยนความเร็วลมจากเริ่มต้นที่ 15 เป็น 20 และ 25 เมตรต่อวินาที เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ท

จากเริ่มต้น 1.5 เป็น 2 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-5 อีกครั้ง โดยมีทั้งหมด 27 สภาวะ

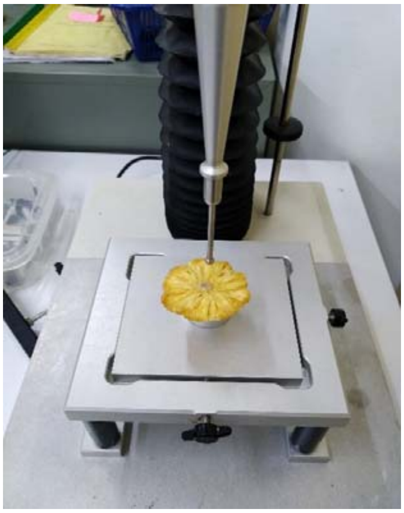
การวิเคราะห์คุณภาพ

1. การหาค่าความชื้น นำสับปะรดมาชั่งน้ำหนัก โดยชั่งสับปะรดรวมภาชนะ และบันทึกค่า จากนั้นนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักรวมภาชนะ บันทึกค่า จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่า คำนวณความชื้นของสับปะรด โดยใช้สูตร

2. ค่าความแข็ง วัดค่าโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer โดยตั้งค่าเครื่องดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการกดสับปะรด 5 จุด ดังนี้ คือกดบริเวณแกนกลางสับปะรด 1 จุด และกดบริเวณขอบห่างจากแกนกลางสับปะรดรัศมี 1 เซนติเมตร 4 จุด อ่านค่าที่ได้จากเครื่องหน่วยเป็นนิวตัน
มาวิเคราะห์

ตาราง 1 การตั้งค่าเครื่อง Texture Analyzer

Probe	p/5s
Mode	Measure Force Compression
Option	Return To Start
Tese Speed	1.0 mm/s
Post-Test Speed	2.0 mm/s
Distance	50.00%
Trigger Force	100 g
Data Acquisition Rate	500 pps



ภาพประกอบ 6 การกดหาค่าความแข็ง

ภาพประกอบ 7 จุดในการกดสับปะรด

การหาค่าพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด

อ่านค่าจากเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ คำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$E = W \times hr \quad \text{.......}(9)$$

เมื่อ E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ

W คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

hr คือ เวลา (ชั่วโมง)

บทที่ 4

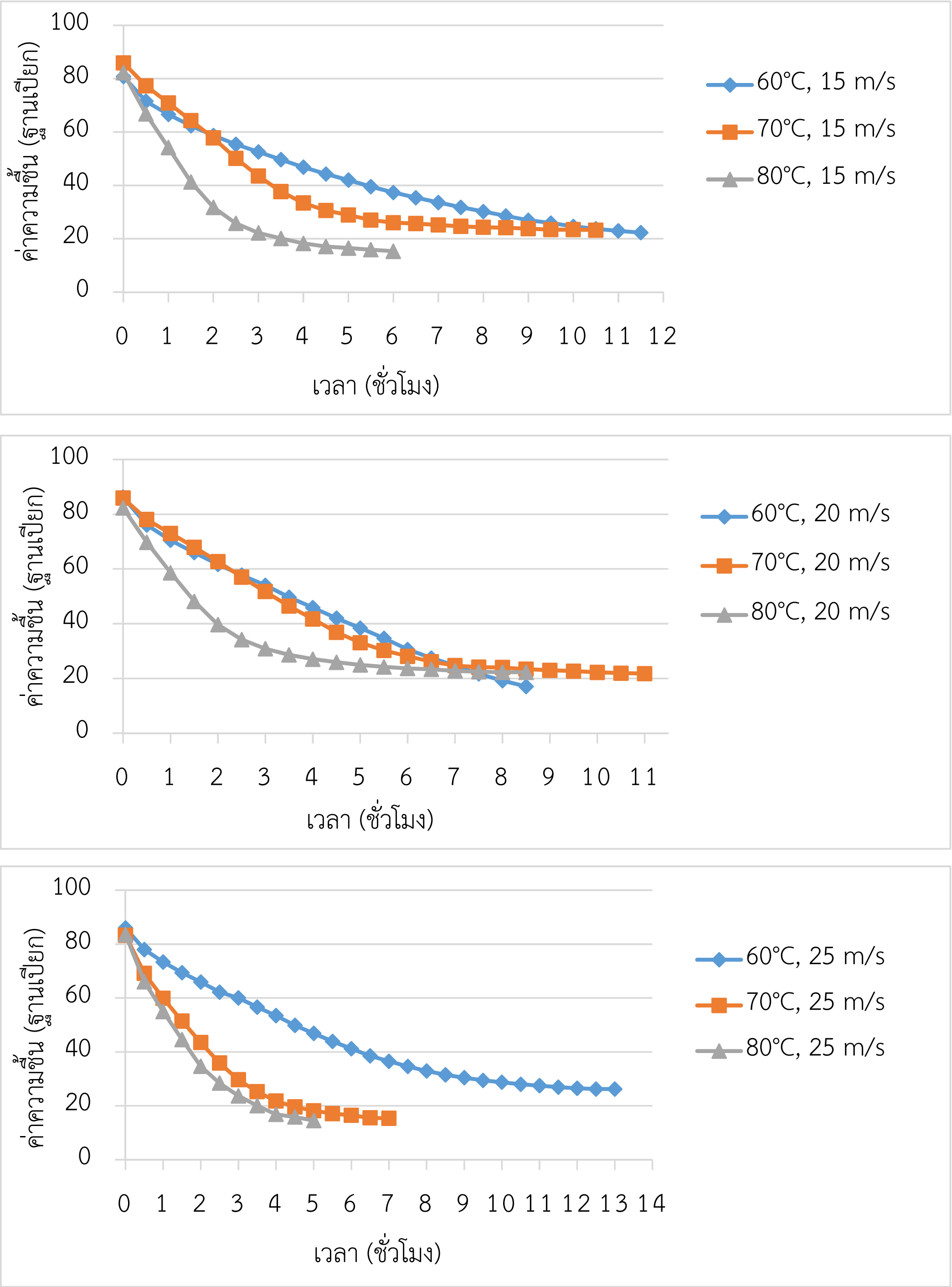
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

การทดลองศึกษาการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ในเงื่อนไขการอบแห้งที่ต่อเนื่อง ที่ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของสับปะรดพันธุ์ภูแลที่ร้อยละ 86 ฐานเปียก อบจนได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 15 ฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5, 2 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความชื้นของสับปะรด

พบว่าเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากัน การอบด้วยอุณหภูมิและความเร็วลมสูงสุดทำให้ความชื้นลดลงได้เร็วกว่าเสมอ ซึ่งในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยมาก และค่อยๆลดลงจนมีค่าคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง เนื่องจากอุณหภูมิและความเร็วลมที่สูงสุดทำให้เกิดผลต่างระหว่างอากาศภายนอกและภายในเนื้อผลิตภัณฑ์มากส่งผลให้โมเลกุลของน้ำมีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากสับปะรดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มมากขึ้นความชื้นจึงลดลงอย่างรวดเร็ว

เห็นได้ว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์จนถึงระดับหนึ่ง แต่ไม่เกินอุณหภูมิที่ฮีตเตอร์ป้อนเข้าไปและเริ่มคงที่จนกระทั่งถึงช่วงเวลาสุดท้าย เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างลมร้อนกับผลิตภัณฑ์ โดยที่ลมร้อนถ่ายเทความร้อนให้กับผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำให้อุณภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นได้ไม่เกินจากอุณหภูมิลมร้อนป้อนเข้าไป

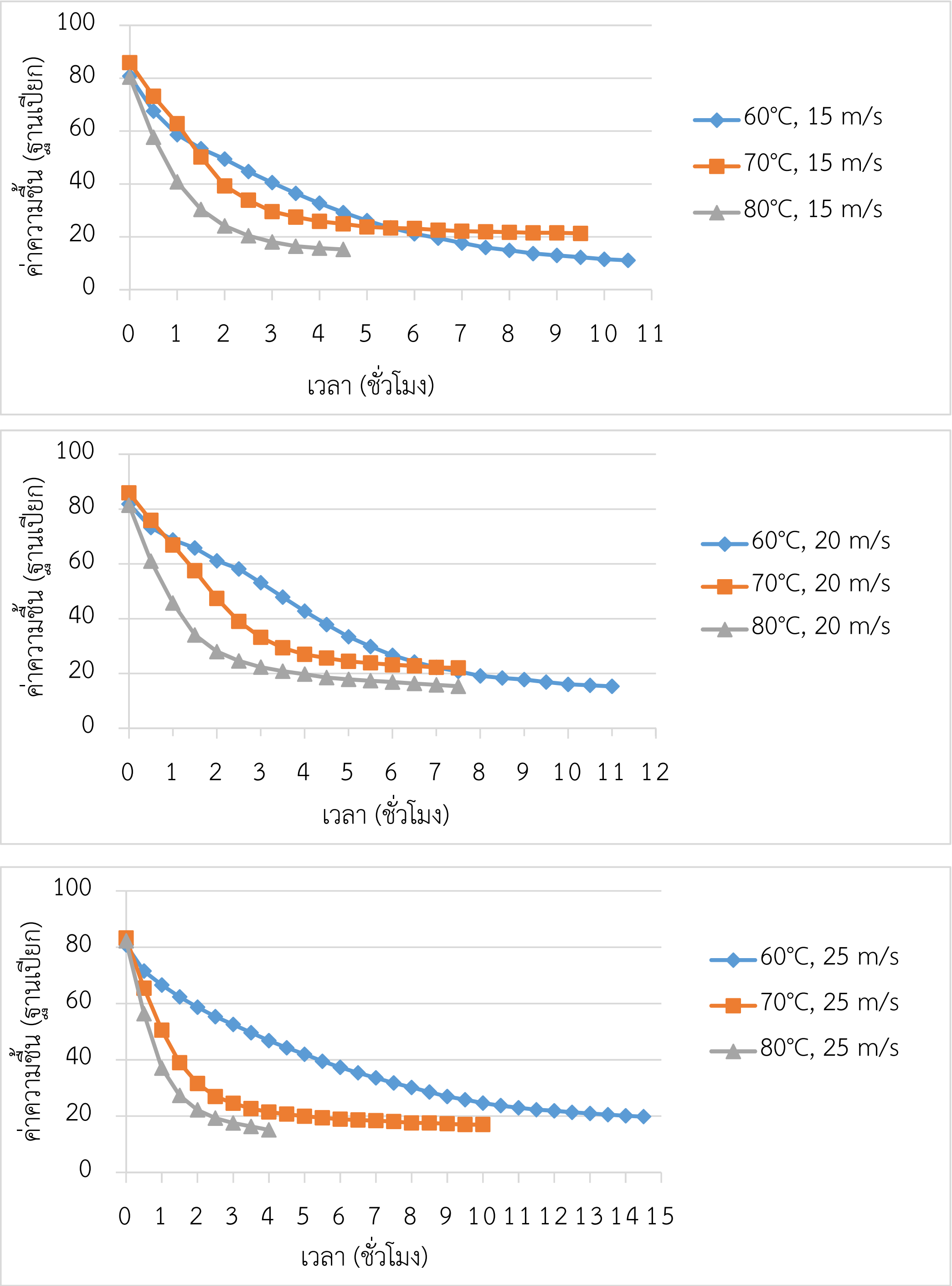


ภาพประกอบ 8 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่ อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร

Mahasarakham University

จากภาพประกอบ 8 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่อความชื้น พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความชื่นจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความชื้นของสับปะรดจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ในช่วงแรกความชื่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อยลดลงอย่างคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง แต่ในกรณีอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาทีการลดลงของความชื้นที่เวลาเริ่มต้นถึงเวลา 7 ชั่วโมง มีความใกล้เคียงกันมาก

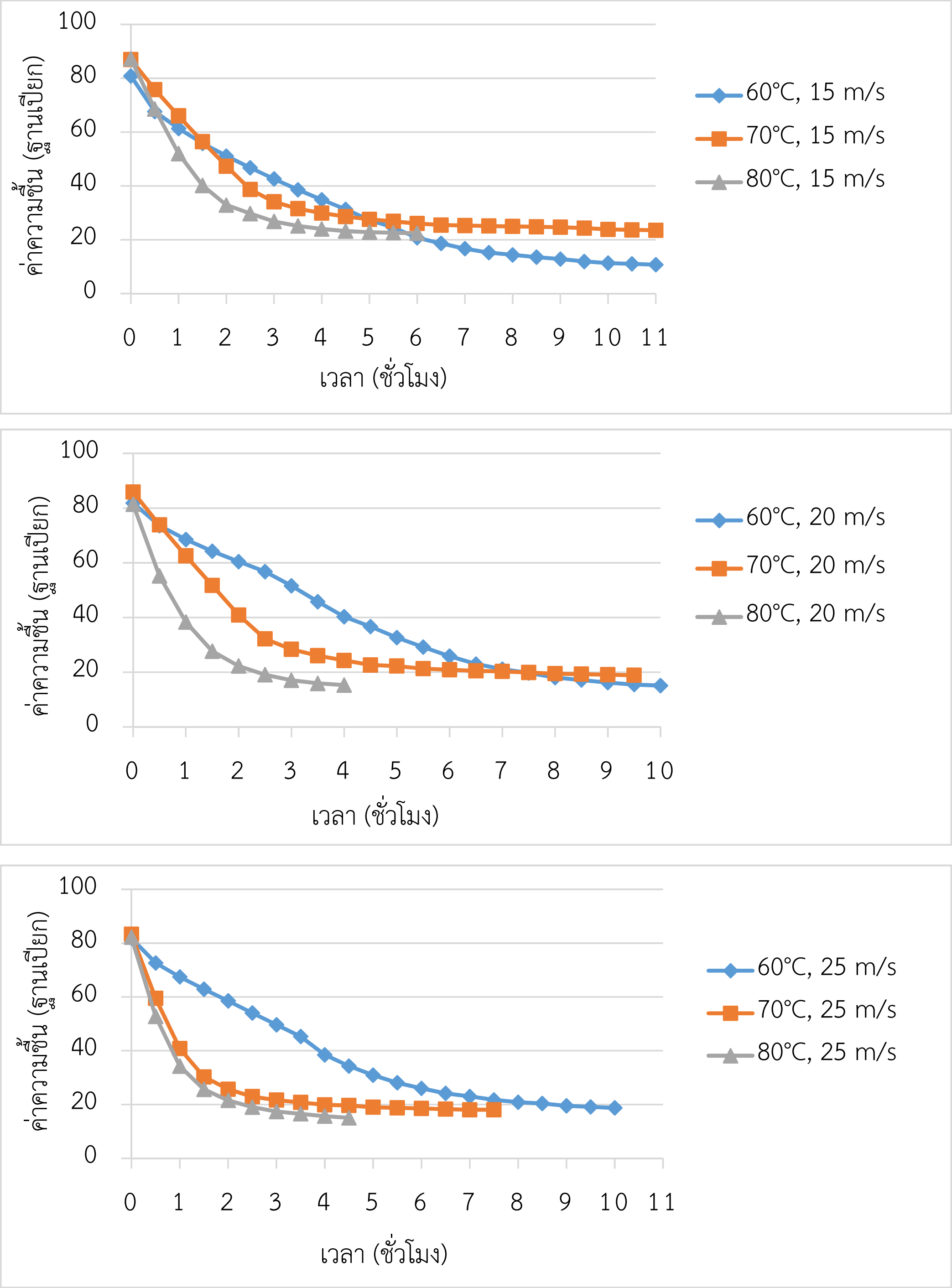
เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วลมร้อนต่อความชื้นพบว่า การเพิ่มความเร็วลมมีผลทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้น ซึ่งในช่วงแรกความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยมาก หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆลดลง แต่ในกรณีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การเพิ่มความเร็วลมมีผลต่อการลดลงของความชื้นน้อย



ภาพประกอบ 9 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้น พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความชื่นจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความชื้นของสับปะรดจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อน 70 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนสูงใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่า ในช่วงแรกความชื่นจะลดลงอย่างรวดเร็วและค่อยลดลงอย่างคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง แต่ในกรณีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที การลดลงขอความชื้นมีความใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วลมร้อนต่อความชื้นพบว่า การเพิ่มความเร็วลมมีผลทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้น ซึ่งในช่วงแรกความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยมาก หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆลดลง แต่ในกรณีที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การเพิ่มความเร็วลมมีผลต่อการลดลงของความชื้นน้อยในกรณีเพิ่มความเร็วลมจาก 15 เมตรต่อวินาที เป็น 20 เมตรต่อวินาที

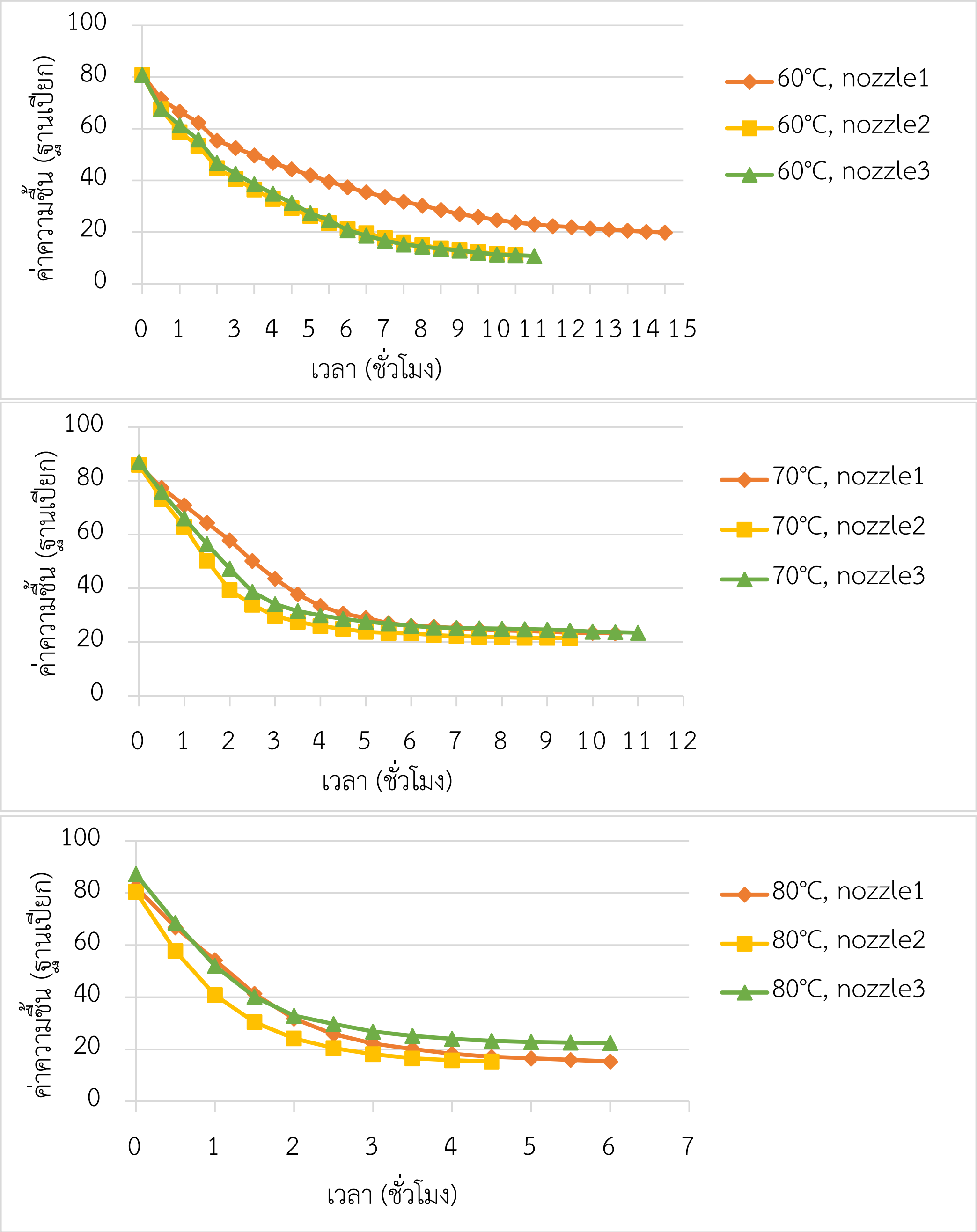


ภาพประกอบ 10 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

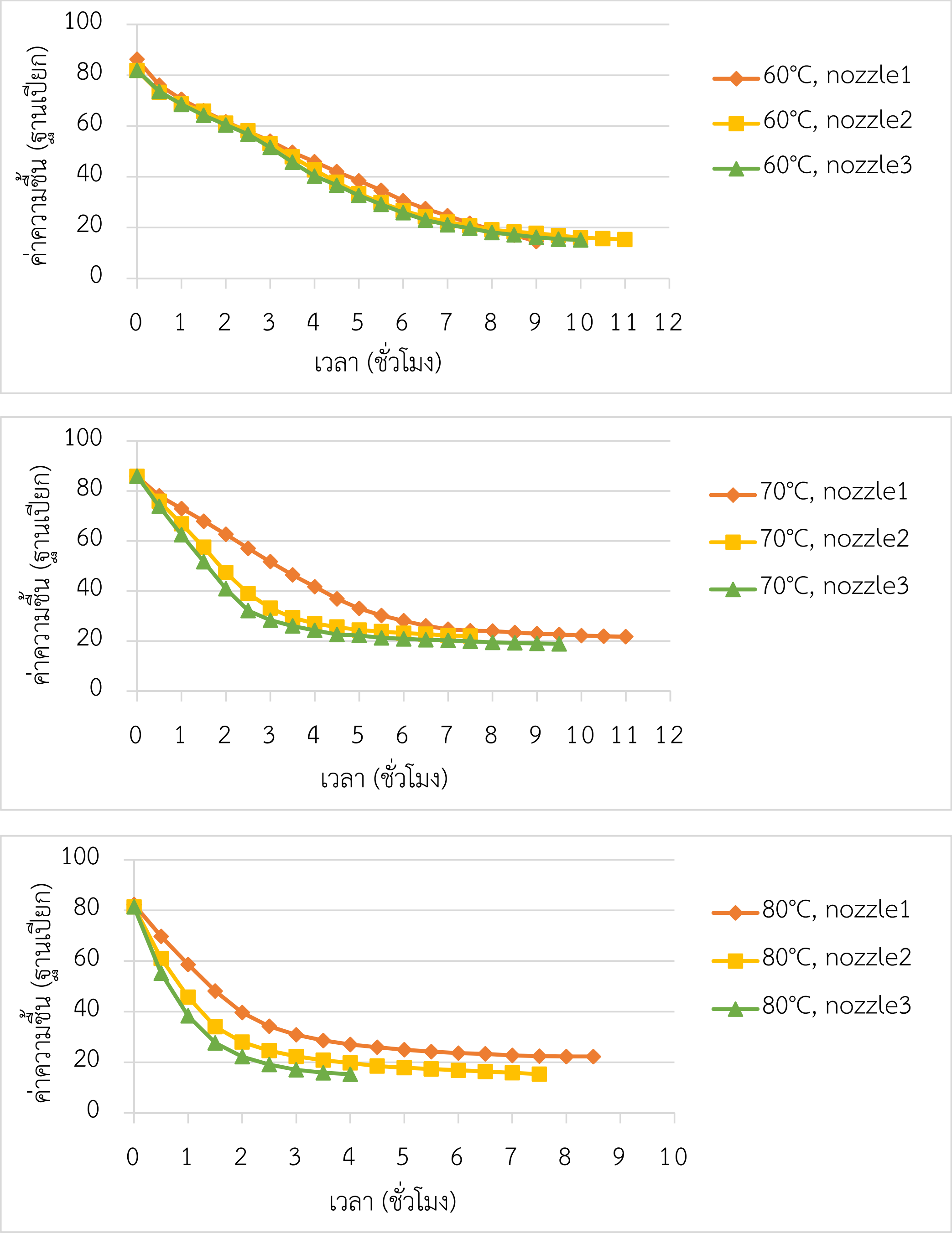
จากภาพประกอบ 10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้น พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงความชื่นจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความชื้นของสับปะรดจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อน 70 และ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนสูงใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่า ในช่วงแรกความชื่นจะลดลงอย่างรวดเร็วและค่อยลดลงอย่างคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วลมร้อนต่อความชื้นพบว่า การเพิ่มความเร็วลมมีผลทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้น ซึ่งในช่วงแรกความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยมาก หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆลดลง แต่ในกรณีที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การเพิ่มความเร็วลมมีผลต่อการลดลงของความชื้นน้อยในกรณีเพิ่มความเร็วลมจาก 20 เมตรต่อวินาที เป็น 25 เมตรต่อวินาที และพบว่าที่ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที การลดลงของความชื้นเร็วกว่าที่ความเร็วลม 20 และ 25 เมรตต่อวินาที

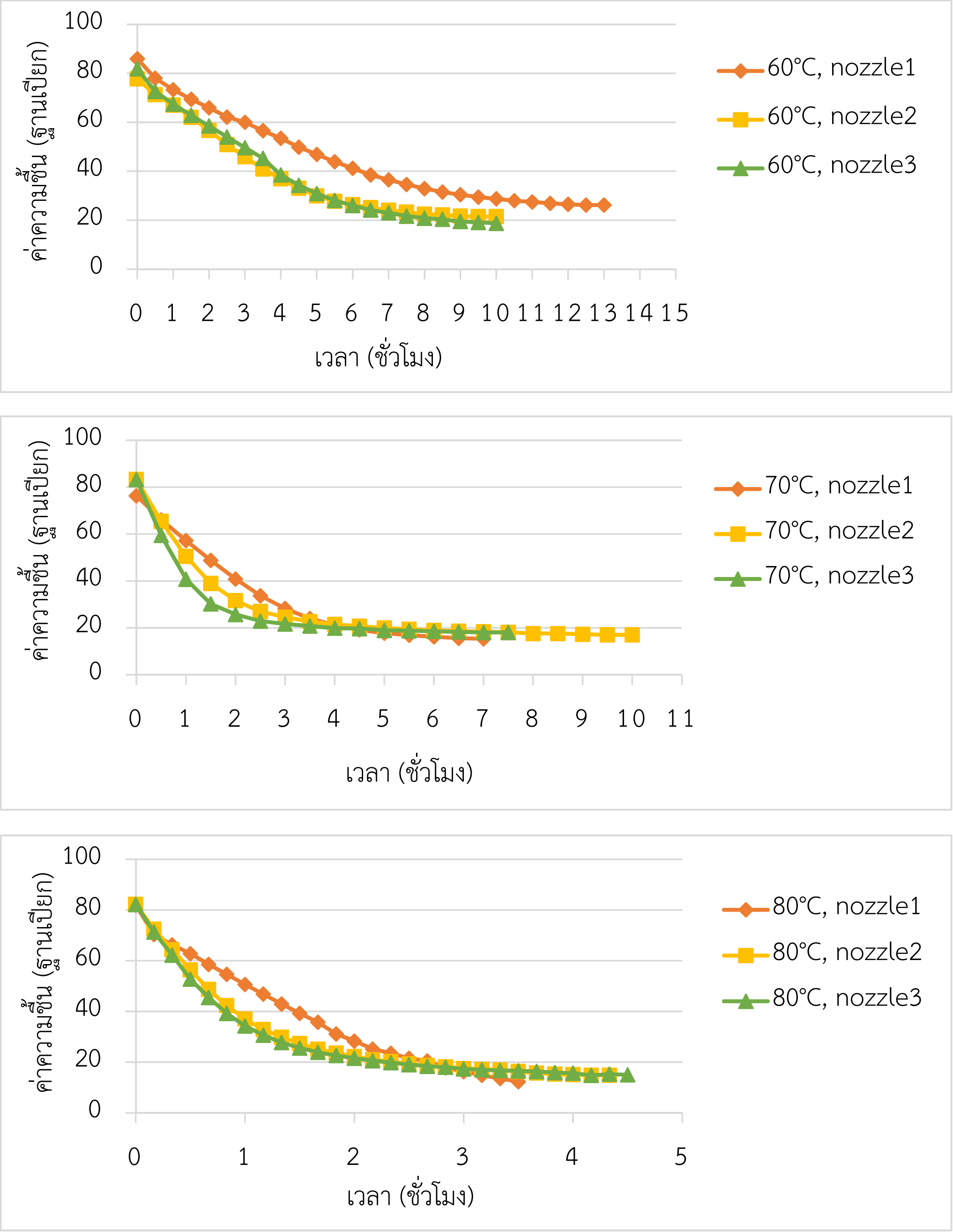
ผลวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทต่อการอบแห้งสับปะรด



ภาพประกอบ 11 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาทีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ



ภาพประกอบ 12 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาทีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ



ภาพประกอบ 13 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ

จากภาพประกอบ 11, 12 และ 13 แสดงให้เห็นว่า ที่สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนและความเร็วลมเดียวกัน การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดท่อหัวฉีดเจ็ทมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้น โดยที่ท่อหัวฉีดเจ็ทที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดมาก ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความชื้นลดลงเร็วกว่าท่อหัวเจ็ทที่มีขนาดน้อยกว่า

หมายเหตุ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

ลักษณะสีของสัปปะรดหลังการอบแห้ง

ลักษณะสีของสับปะรดหลังการอบแห้งทั้ง 27 สภาวะ

ตาราง 2 ลักษณะสีของสับปะรดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ

อุณภูมิ (˚C)	ความเร็วลม (m/s)	หัว nozzle		
		1	2	3
	15			
60	20			
	25			

Mahasarakham University

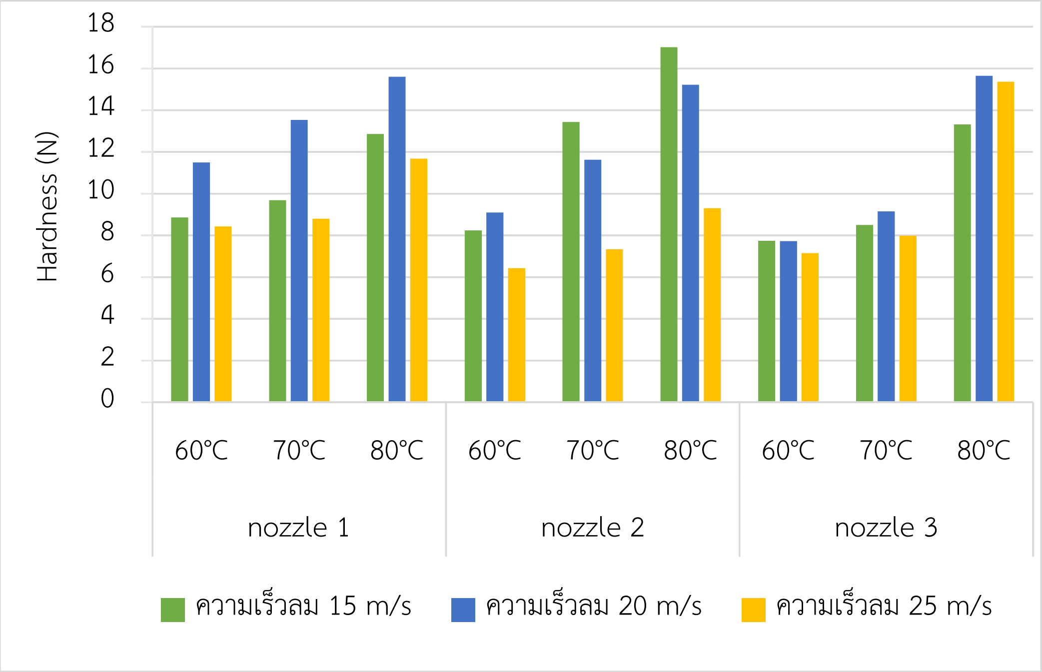
ตาราง 2 ลักษณะสีของสับปะรดที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทขนาดต่างๆ (ต่อ)

อุณภูมิ (°C)	ความเร็วลม (m/s)	หัว nozzle		
		1	2	3
70	15			
	20			
	25			
80	15			
	20			
	25			

หมายเหตุ : ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ทหัวที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

จากภาพประกอบ 14 ลักษณะสีของสับปะรดหลังการอบแห้งทั้ง 27 สภาวะ พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที สับปะรดจะมีสีเข้มกว่าที่สภาวะอื่นๆ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สัปปะรดจะมีสีอ่อนกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และการบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สัปปะรดจะมีสีอ่อนกว่าการอบแห้งทุกสภาวะ

วิเคราะห์ค่าความแข็งของสับปะรดหลังการอบแห้ง



ภาพประกอบ 14 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความแข็งกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ท ด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตร

จากภาพประกอบ 14 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร พบว่าที่อุณหภูมิลมร้อนสูงสูงจะมีค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ และการอบแห้งที่ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที จะมีค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่มากกว่าความเร็วลม 15 และ 25 เมตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ทขนาดเส้นผ่านศูนย์ 2 เซนติเมตร พบว่าค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งมีค่าความแข็งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำเช่นกัน แต่ในกรณีที่ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 และ 80 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแข็งที่มากกว่าการอบแห้งที่ความเร็วลม 20 และ 25 เมตรต่อวินาทีที่สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิเดียวกัน

เมื่อพิจารณาที่หัวฉีดเจ็ทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิลมร้อนสูงสูงจะมีค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำเช่นกันกับหัวฉีดเจ็ทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 และ 3 เซนติเมตร

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการทดลองวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมิเตอร์ไฟฟ้าของการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ พบว่า สภาวะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดใน 1 ชั่วโมง คือ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 12 – 14 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ถัดมาที่สภาวะ 70 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 10 – 11 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 9 – 9.3 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ทำให้ทราบว่า การเพิ่มอุณภูมิให้สูงขึ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากฮีตเตอร์จะเป็นตัวทำให้อุณภูมิลมร้อนสูงขึ้น ซึ่งฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟมาก

ตาราง 3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะทั้ง 27 สภาวะ

อุณหภูมิ (˚C)	ความเร็วลม (m/s)	หัว Nozzle	เวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)	กิโลวัตต์ชั่วโมง
60	15	1	15.00	135.00
		2	10.50	95.55
		3	11.50	104.65
	20	1	9.00	82.80
		2	11.50	105.80
		3	10.00	92.00
	25	1	13.00	120.90
		2	10.00	93.00
		3	10.00	93.00
70	15	1	11.00	110.00
		2	10.00	100.00
		3	11.50	115.00
	20	1	11.00	112.20
		2	7.50	78.75
		3	9.50	100.70
	25	1	7.00	77.00
		2	10.00	108.00
		3	7.50	82.50

Mahasarakham University

ตาราง 3 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะทั้ง 27 สภาวะ (ต่อ)

อุณหภูมิ (˚C)	ความเร็วลม (m/s)	หัว Nozzle	เวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)	กิโลวัตต์ชั่วโมง
80	15	1	6.00	72.00
		2	5.00	61.00
		3	6.00	75.60
	20	1	8.50	110.50
		2	7.50	98.25
		3	4.00	54.00
	25	1	3.50	47.95
		2	4.50	61.20
		3	4.50	63.00

จากตาราง 3 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละสภาวะการอบแห้งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการใช้พลังงานในแต่ละระดับต่างกัน จะสังเกตว่า การอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อนสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่า ทำให้ค่าพลังงานที่ใช้น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณภูมิต่ำที่ใช้เวลาในการอบแห้งนาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะที่อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15, 20 และ 25 เมตรต่อวินาที และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหัวฉีดเจ็ท 1.5, 2 และ 3 เซนติเมตร สามารถสรุปได้ว่า

1. การอบแห้งสับปะรดด้วยอุณหภูมิลมร้อนสูงจะมีอัตราการอบแห้ง และมีความสามารถในการลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยอุณภูมิลมร้อนต่ำ

2. การเพิ่มความเร็วลมร้อนมีผลทำให้ความชื้นลดลงเร็วขึ้น ซึ่งในช่วงแรกความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและใช้เวลาน้อยมาก หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆลดลงจนมีค่าคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง

3. จากลักษณะปรากฏของสับปะรดหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งสับปะรดด้วยอุณหภูมิต่ำทำให้สับปะรดมีสีเข้มกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

4. จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของสับปะรดหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนสูงที่ความเร็วลมเดียวกันทำให้สับปะรดมีความแข็งมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำที่ความเร็วลมเดียวกัน

5. จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนสูง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งใช้เวลาในการอบนาน ทำให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณภูมิต่ำ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มจำนวนการทำซ้ำในการทดลองมากขึ้นอีกเพื่อความละเอียดถูกต้องในการทดลอง

2. เมื่อถึงเวลาที่กำหนดควรนำวัสดุตัวอย่างออกมาชั่งให้เร็วที่สุดเพื่อไม่ให้วัสดุสูญเสียความชื้น

3. ควรมีการประเมินความคุ้มค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าหากมีการพัฒนานำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

4. ควรมีการศึกษาถึงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กมล พลคำ. *การอบแห้งสับปะรดโดยใช้วิธีการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับการพาอากาศร้อน.* ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2553.

กวีวัฒน์ ยอดเยี่ยม และคณะ. *การอบแห้งกล้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.* ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 2557.

ณัฐศักดิ์ เสน่ดี และ โสภณ ตั้งใจ. *การอบแห้งแมคคาเดเมียด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน.* ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.

วรรณิภา ศรีภูธร และ วรรณิษา เหลาแพง. *ผลของการรีดน้ำสับประรดออกต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพสับประรด.* ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561.

ศรายุทธ แผงอ่อน และ วิทยา ทองภู. *การอบแห้งเมล็ดกาแฟดิบด้วยปั๊มความร้อน.* ปริญญานิพนธ์ วศ.บ. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2557.

ศรัณย์ เพชรชูช่วย และคณะ. *การเปรียบเทียบคุณลักษณะการแห้งของกล้วยหอมในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2559.

เอกพจน์ วิเชียรโชติ. *การเพิ่มความสามารถการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวโดยใช้เจ็ทแบบไหลเป็นจังหวะพุ่งชน.* วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556.

Li, X., Alami, M., Witrant, E., Valle, G., Rouaud, o., Boillereaux, L. and Josset, C. *Further investigations on energy saving by jet impingement in bread baking Process*. IFAC Proceedings Volumes 2013; 46(2) : 701-706.

Wang, G., Deng, Y., Xu, X., He, X., Zhao, Y., Zou, Y., Liu, Z. and Yue., J. *Optimization of air jet impingement drying of okara using response surface methodology.* Food Control 2016; 59 : 743-749.

Wang, J., Fong, X., Mujumdar, A., Qian, J., Zhang, Q., Yang, X., Liu, Y., Gao, Z. and Xiao, H. *Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annuum *L.).* Food Chemistry 2017; 220 : 145-152.

Xiao, H., Pang, C., Wang, L., Bai, J., Yang, W. and Gao, Z. *Drying kinetics and quality of Monukka seedless grapes dried in an air-impingement jet dryer.* Biosytems Engineering 2010; 105(2) : 233-240.

ภาคผนวก

Mahasarakham University

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

Mahasarakham University

ตาราง ก 1 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	23.64	80.84	220	8.83	48.70
10	19.15	76.35	230	8.68	47.81
20	17.23	73.71	240	8.52	46.83
30	15.92	71.55	250	8.39	46.01
40	14.96	69.72	260	8.25	45.09
50	14.20	68.10	270	8.13	44.28
60	13.56	66.59	280	8.02	43.52
70	12.95	65.02	290	7.90	42.66
80	12.51	63.79	300	7.81	42.00
90	12.04	62.38	310	7.68	41.02
100	11.64	61.08	320	7.59	40.32
110	11.30	59.91	330	7.49	39.52
120	10.97	58.71	340	7.40	38.78
130	10.69	57.62	350	7.31	38.03
140	10.44	56.61	360	7.23	37.34
150	10.15	55.37	370	7.15	36.64
160	9.94	54.43	380	7.08	36.02
170	9.76	53.59	390	7.01	35.38
180	9.55	52.57	400	6.94	34.73
190	9.35	51.55	410	6.87	34.06
200	9.17	50.60	420	6.82	33.58
210	9.00	49.67	430	6.75	32.89

Mahasarakham University

ตาราง ก 1 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.69	32.29	660	5.88	22.96
450	6.64	31.78	670	5.86	22.70
460	6.59	31.26	680	5.84	22.43
470	6.54	30.73	690	5.83	22.30
480	6.49	30.20	700	5.82	22.17
490	6.44	29.66	710	5.81	22.03
500	6.39	29.11	720	5.80	21.90
510	6.34	28.55	730	5.79	21.76
520	6.29	27.98	740	5.78	21.63
530	6.24	27.40	750	5.76	21.35
540	6.20	26.94	760	5.75	21.22
550	6.17	26.58	770	5.74	21.08
560	6.14	26.22	780	5.73	20.94
570	6.11	25.86	790	5.72	20.80
580	6.08	25.49	800	5.71	20.67
590	6.04	25.00	810	5.70	20.53
600	6.01	24.63	820	5.69	20.39
610	5.99	24.37	830	5.68	20.25
620	5.97	24.12	840	5.67	20.11
630	5.94	23.74	850	5.67	20.11
640	5.92	23.48	860	5.66	19.97
650	5.90	23.22	870	5.65	19.82

Mahasarakham University

ตาราง ก 1 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
880	5.64	19.68	890	5.64	19.68

ตาราง ก 2 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	34.66	86.27	220	9.27	48.65
10	26.06	81.73	230	8.99	47.05
20	22.30	78.66	240	8.80	45.91
30	19.91	76.09	250	8.64	44.91
40	18.17	73.80	260	8.42	43.47
50	17.12	72.20	270	8.21	42.02
60	16.14	70.51	280	7.97	40.28
70	15.05	68.37	290	7.86	39.44
80	14.61	67.42	300	7.73	38.42
90	14.00	66.00	310	7.58	37.20
100	13.43	64.56	320	7.43	35.94
110	12.90	63.10	330	7.29	34.71
120	12.42	61.68	340	7.17	33.61
130	12.01	60.37	350	6.97	31.71
140	11.61	59.00	360	6.86	30.61
150	11.27	57.76	370	6.76	29.59
160	10.97	56.61	380	6.64	28.31
170	10.62	55.18	390	6.56	27.44
180	10.36	54.05	400	6.47	26.43
190	9.96	52.21	410	6.40	25.63
200	9.80	51.43	420	6.32	24.68
210	9.46	49.68	430	6.24	23.72

Mahasarakham University

ตาราง ก 2 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.15	22.60	570	5.46	12.82
450	6.08	21.71	580	5.43	12.34
460	6.01	20.80	590	5.40	11.85
470	5.95	20.00	600	5.37	11.36
480	5.89	19.19	610	5.35	11.03
490	5.84	18.49	620	5.34	10.86
500	5.80	17.93	630	5.33	10.69
510	5.74	17.07	640	5.31	10.36
520	5.68	16.20	650	5.29	10.02
530	5.62	15.30	660	5.27	9.68
540	5.57	14.54	670	5.25	9.33
550	5.53	13.92	680	5.24	9.16
560	5.49	13.30	690	5.23	8.99

ตาราง ก 3 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	27.92	86.00	220	8.80	55.57
10	21.68	81.97	230	8.60	54.54
20	19.16	79.59	240	8.40	53.45
30	17.76	77.98	250	8.19	52.26
40	16.56	76.39	260	8.01	51.19
50	15.54	74.84	270	7.80	49.87
60	14.68	73.37	280	7.63	48.76
70	13.97	72.01	290	7.50	47.87
80	13.35	70.71	300	7.36	46.88
90	12.79	69.43	310	7.22	45.85
100	12.31	68.24	320	7.09	44.85
110	11.87	67.06	330	6.97	43.90
120	11.48	65.94	340	6.86	43.00
130	11.08	64.71	350	6.76	42.16
140	10.70	63.46	360	6.65	41.20
150	10.34	62.19	370	6.56	40.40
160	10.18	61.59	380	6.47	39.57
170	10.05	61.10	390	6.36	38.52
180	9.78	60.02	400	6.28	37.74
190	9.50	58.84	410	6.23	37.24
200	9.26	57.78	420	6.16	36.53
210	9.01	56.60	430	6.09	35.80

Mahasarakham University

ตาราง ก 3 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1.5 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.02	35.05	620	5.45	28.26
450	5.98	34.62	630	5.43	27.99
460	5.92	33.95	640	5.41	27.73
470	5.87	33.39	650	5.40	27.59
480	5.83	32.93	660	5.39	27.46
490	5.78	32.35	670	5.38	27.32
500	5.75	32.00	680	5.36	27.05
510	5.71	31.52	690	5.35	26.92
520	5.67	31.04	700	5.34	26.78
530	5.64	30.67	710	5.33	26.64
540	5.62	30.43	720	5.32	26.50
550	5.59	30.05	730	5.31	26.37
560	5.57	29.80	740	5.31	26.37
570	5.54	29.42	750	5.30	26.23
580	5.53	29.30	760	5.30	26.23
590	5.50	28.91	770	5.30	26.23
600	5.49	28.78	780	5.30	26.23
610	5.48	28.65			

ตาราง ก 4 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	27.88	80.81	220	8.25	35.15
10	20.64	74.08	230	8.08	33.79
20	18.08	70.41	240	7.96	32.79
30	16.50	67.58	250	7.82	31.59
40	15.36	65.17	260	7.68	30.34
50	14.49	63.08	270	7.56	29.23
60	12.94	58.66	280	7.45	28.19
70	12.23	56.26	290	7.35	27.21
80	11.71	54.31	300	7.25	26.21
90	11.48	53.40	310	7.16	25.28
100	11.30	52.65	320	7.06	24.22
110	10.91	50.96	330	6.99	23.46
120	10.58	49.43	340	6.90	22.46
130	10.26	47.86	350	6.86	22.01
140	9.96	46.29	360	6.79	21.21
150	9.68	44.73	370	6.74	20.62
160	9.44	43.33	380	6.68	19.91
170	9.21	41.91	390	6.65	19.55
180	9.00	40.56	400	6.58	18.69
190	8.78	39.07	410	6.54	18.20
200	8.59	37.72	420	6.50	17.69
210	8.42	36.46	430	6.46	17.18

Mahasarakham University

ตาราง ก 4 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.41	16.54	540	6.15	13.01
450	6.37	16.01	550	6.14	12.87
460	6.34	15.62	560	6.12	12.58
470	6.31	15.21	570	6.10	12.30
480	6.29	14.94	580	6.08	12.01
490	6.26	14.54	590	6.06	11.72
500	6.22	13.99	600	6.05	11.57
510	6.20	13.71	610	6.04	11.42
520	6.18	13.43	620	6.03	11.28
530	6.17	13.29	630	6.02	11.13

Mahasarakham University

ตาราง ก 5 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	32.67	81.88	220	11.00	46.18
10	27.78	78.69	230	10.66	44.47
20	23.92	75.25	240	10.34	42.75
30	22.15	73.27	250	10.05	41.10
40	20.91	71.69	260	9.78	39.47
50	19.78	70.07	270	9.53	37.88
60	18.94	68.74	280	9.28	36.21
70	18.23	67.53	290	9.08	34.80
80	17.58	66.33	300	8.89	33.41
90	17.31	65.80	310	8.72	32.11
100	16.37	63.84	320	8.56	30.84
110	15.52	61.86	330	8.44	29.86
120	15.23	61.13	340	8.29	28.59
130	14.77	59.92	350	8.18	27.63
140	14.45	59.03	360	8.07	26.64
150	14.15	58.16	370	7.97	25.72
160	13.62	56.54	380	7.89	24.97
170	13.12	54.88	390	7.81	24.20
180	12.63	53.13	400	7.73	23.42
190	12.18	51.40	410	7.67	22.82
200	11.75	49.62	420	7.61	22.21
210	11.36	47.89	430	7.55	21.59

Mahasarakham University

ตาราง ก 5 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	7.52	21.28	570	7.12	16.85
450	7.47	20.75	580	7.10	16.62
460	7.44	20.43	590	7.07	16.27
470	7.35	19.46	600	7.05	16.03
480	7.32	19.13	610	7.04	15.91
490	7.29	18.79	620	7.03	15.79
500	7.27	18.57	630	7.02	15.67
510	7.25	18.35	640	7.01	15.55
520	7.25	18.35	650	7.00	15.43
530	7.22	18.01	660	6.99	15.31
540	7.20	17.78	670	6.98	15.19
550	7.17	17.43	680	6.97	15.07
560	7.14	17.09			

Mahasarakham University

ตาราง ก 6 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	26.61	86.02	220	6.48	42.59
10	19.88	81.288	230	6.30	40.95
20	16.76	77.80	240	6.15	39.51
30	15.18	75.49	250	6.03	38.31
40	13.96	73.35	260	5.90	36.95
50	12.98	71.34	270	5.70	34.74
60	12.11	69.28	280	5.65	34.16
70	12.06	69.15	290	5.56	33.09
80	11.30	67.08	300	5.43	31.49
90	10.73	65.33	310	5.37	30.73
100	10.25	63.71	320	5.31	29.94
110	9.81	62.08	330	5.26	29.28
120	9.39	60.38	340	5.20	28.46
130	9.00	58.67	350	5.15	27.77
140	8.59	56.69	360	5.11	27.20
150	8.17	54.47	370	5.08	26.77
160	7.86	52.67	380	5.05	26.34
170	7.58	50.92	390	5.01	25.75
180	7.34	49.32	400	4.99	25.45
190	7.10	47.61	410	4.97	25.15
200	6.88	45.93	420	4.94	24.70
210	6.66	44.14	430	4.91	24.24

Mahasarakham University

ตาราง ก 6 ผลการทดลองการอบแห้งสับประรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	4.90	24.08	540	4.77	22.01
450	4.88	23.77	550	4.76	21.85
460	4.86	23.46	560	4.75	21.68
470	4.85	23.30	570	4.75	21.68
480	4.84	23.14	580	4.75	21.68
490	4.83	22.98	590	4.74	21.52
500	4.80	22.50	600	4.74	21.52
510	4.80	22.50	610	4.74	21.52
520	4.79	22.34	620	4.74	21.52
530	4.78	22.18			

ตาราง ก 7 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	27.40	80.84	220	8.37	37.28
10	20.63	74.55	230	8.20	35.98
20	17.86	70.61	240	8.06	34.86
30	16.21	67.61	250	7.91	33.63
40	15.11	65.26	260	7.77	32.43
50	14.26	63.18	270	7.64	31.28
60	13.57	61.31	280	7.49	29.91
70	12.90	59.30	290	7.37	28.77
80	12.34	57.46	300	7.22	27.29
90	11.89	55.85	310	7.13	26.37
100	11.45	54.15	320	7.04	25.43
110	11.08	52.62	330	6.96	24.57
120	10.73	51.07	340	6.78	22.57
130	10.42	49.62	350	6.66	21.17
140	10.12	48.12	360	6.62	20.70
150	9.86	46.76	370	6.59	20.33
160	9.61	45.37	380	6.51	19.36
170	9.36	43.91	390	6.45	18.61
180	9.15	42.62	400	6.40	17.97
190	8.93	41.21	410	6.35	17.32
200	8.73	39.86	420	6.30	16.67
210	8.54	38.53	430	6.25	16.00

Mahasarakham University

ตาราง ก 7 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.22	15.60	570	5.96	11.91
450	6.19	15.19	580	5.94	11.62
460	6.17	14.91	590	5.93	11.47
470	6.15	14.63	600	5.92	11.32
480	6.13	14.36	610	5.91	11.17
490	6.12	14.22	620	5.91	11.17
500	6.09	13.79	630	5.90	11.02
510	6.07	13.51	640	5.89	10.87
520	6.06	13.37	650	5.89	10.87
530	6.04	13.08	660	5.88	10.71
540	6.02	12.79	670	5.87	10.56
550	5.99	12.35	680	5.87	10.56
560	5.97	12.06			

Mahasarakham University

ตาราง ก 8 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	32.57	81.89	220	10.49	43.76
10	27.05	78.19	230	10.23	42.33
20	24.06	75.48	240	9.88	40.28
30	22.35	73.60	250	9.75	39.49
40	20.92	71.80	260	9.53	38.09
50	19.74	70.11	270	9.32	36.70
60	18.74	68.52	280	9.11	35.24
70	17.90	67.04	290	8.95	34.08
80	17.19	65.68	300	8.76	32.65
90	16.50	64.24	310	8.62	31.56
100	15.96	63.03	320	8.47	30.34
110	15.36	61.59	330	8.33	29.17
120	14.91	60.43	340	8.17	27.79
130	14.44	59.14	350	8.05	26.71
140	14.01	57.89	360	7.96	25.88
150	13.65	56.78	370	7.84	24.75
160	13.05	54.79	380	7.74	23.77
170	12.56	53.03	390	7.66	22.98
180	12.19	51.60	400	7.60	22.37
190	11.67	49.44	410	7.55	21.85
200	11.20	47.32	420	7.48	21.12
210	10.88	45.77	430	7.43	20.59

Mahasarakham University

ตาราง ก 8 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	7.40	20.27	660	7.06	16.43
450	7.35	19.73	670	7.04	16.19
460	7.29	19.07	680	7.02	15.95
470	7.24	18.51	690	7.00	15.71
480	7.20	18.06	700	6.98	15.47
490	7.18	17.83	710	6.97	15.35
500	7.15	17.48	720	6.96	15.23
510	7.12	17.14	730	6.95	15.11
520	7.09	16.78			

ตาราง ก 9 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	28.27	81.89	220	9.13	43.92
10	22.56	77.31	230	8.54	40.05
20	20.34	74.83	240	8.32	38.46
30	18.71	72.64	250	8.13	37.02
40	17.50	70.74	260	7.93	35.44
50	16.53	69.03	270	7.79	34.28
60	15.73	67.45	280	7.66	33.16
70	15.00	65.87	290	7.53	32.01
80	14.37	64.37	300	7.41	30.90
90	13.79	62.87	310	7.30	29.86
100	13.26	61.39	320	7.20	28.89
110	12.76	59.88	330	7.12	28.09
120	12.34	58.51	340	7.06	27.48
130	11.92	57.05	350	6.99	26.75
140	11.53	55.59	360	6.92	26.01
150	11.14	54.04	370	6.84	25.15
160	10.80	52.59	380	6.79	24.60
170	10.47	51.10	390	6.75	24.15
180	10.17	49.66	400	6.71	23.70
190	9.95	48.54	410	6.68	23.35
200	9.62	46.78	420	6.65	23.01
210	9.36	45.30	430	6.62	22.66

Mahasarakham University

ตาราง ก 9 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	6.58	22.19	660	6.38	19.75
450	6.54	21.71	670	6.36	19.50
460	6.51	21.35	680	6.34	19.24
470	6.49	21.11	690	6.33	19.12
480	6.47	20.87	700	6.33	19.12
490	6.45	20.62	710	6.32	18.99
500	6.44	20.50	720	6.31	18.86
510	6.43	20.37	730	6.30	18.73
520	6.40	20.00			

ตาราง ก 10 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	23.22	85.92	220	5.07	35.50
10	18.19	82.02	230	5.01	34.73
20	15.74	79.23	240	4.91	33.40
30	14.43	77.34	250	4.84	32.44
40	13.19	75.21	260	4.76	31.30
50	12.13	73.04	270	4.71	30.57
60	11.23	70.88	280	4.67	29.98
70	10.43	68.65	290	4.63	29.37
80	9.77	66.53	300	4.60	28.91
90	9.16	64.30	310	4.55	28.13
100	8.65	62.20	320	4.52	27.66
110	8.13	59.78	330	4.48	27.01
120	7.75	57.81	340	4.45	26.52
130	7.37	55.63	350	4.43	26.19
140	6.94	52.88	360	4.42	26.02
150	6.56	50.15	370	4.41	25.85
160	6.28	47.93	380	4.41	25.85
170	6.03	45.77	390	4.40	25.68
180	5.79	43.52	400	4.39	25.51
190	5.60	41.61	410	4.38	25.34
200	5.41	39.56	420	4.37	25.17
210	5.25	37.71	430	4.36	25.00

Mahasarakham University

ตาราง ก 10 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	4.35	24.83	660	4.28	23.60
450	4.34	24.65	670	4.28	23.60
460	4.34	24.65	680	4.27	23.42
470	4.33	24.48	690	4.27	23.42
480	4.32	24.31	700	4.27	23.42
490	4.32	24.31	710	4.27	23.42
500	4.31	24.13	720	4.26	23.24
510	4.31	24.13	730	4.26	23.24
520	4.30	23.95	740	4.26	23.24
530	4.30	23.95	750	4.26	23.24
540	4.29	23.78	760	4.26	23.24

Mahasarakham University

ตาราง ก 11 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	28.34	85.92	220	7.26	45.04
10	22.70	82.42	230	7.03	43.24
20	20.01	80.06	240	6.85	41.75
30	18.21	78.09	250	6.68	40.27
40	16.83	76.29	260	6.50	38.62
50	15.74	74.65	270	6.32	36.87
60	14.76	72.97	280	6.19	35.54
70	13.88	71.25	290	6.06	34.16
80	13.11	69.57	300	5.96	33.05
90	12.43	67.90	310	5.85	31.80
100	11.79	66.16	320	5.79	31.09
110	11.22	64.44	330	5.72	30.25
120	10.70	62.71	340	5.67	29.63
130	10.19	60.84	350	5.63	29.13
140	9.71	58.91	360	5.55	28.11
150	9.29	57.05	370	5.51	27.59
160	8.85	54.92	380	5.47	27.06
170	8.62	53.71	390	5.40	26.11
180	8.27	51.75	400	5.35	25.42
190	7.97	49.94	410	5.32	25.00
200	7.70	48.18	420	5.30	24.72
210	7.45	46.44	430	5.28	24.43

ตาราง ก 11 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	5.28	24.43	560	5.17	22.82
450	5.26	24.14	570	5.16	22.67
460	5.27	24.29	580	5.15	22.52
470	5.25	24.00	590	5.14	22.37
480	5.25	24.00	600	5.13	22.22
490	5.24	23.86	610	5.11	21.92
500	5.23	23.71	620	5.11	21.92
510	5.21	23.42	630	5.11	21.92
520	5.20	23.27	640	5.10	21.77
530	5.19	23.12	650	5.10	21.77
540	5.18	22.97	660	5.10	21.77
550	5.17	22.82			

Mahasarakham University

ตาราง ก 12 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	19.16	83.30	220	4.21	23.99
10	13.54	76.37	230	4.15	22.89
20	11.64	72.51	240	4.09	21.76
30	10.37	69.14	250	4.06	21.18
40	9.44	66.10	260	4.02	20.40
50	8.63	62.92	270	3.98	19.60
60	7.98	59.90	280	3.96	19.19
70	7.48	57.22	290	3.94	18.78
80	7.01	54.35	300	3.91	18.16
90	6.59	51.44	310	3.89	17.74
100	6.25	48.80	320	3.87	17.31
110	5.93	46.04	330	3.86	17.10
120	5.66	43.46	340	3.85	16.88
130	5.41	40.85	350	3.84	16.67
140	5.20	38.46	360	3.83	16.45
150	4.99	35.87	370	3.82	16.23
160	4.83	33.75	380	3.81	16.01
170	4.70	31.91	390	3.79	15.57
180	4.55	29.67	400	3.79	15.57
190	4.46	28.25	410	3.78	15.34
200	4.37	26.77	420	3.78	15.34
210	4.28	25.23	430	3.78	15.34

Mahasarakham University

ตาราง ก 13 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	20.91	85.89	220	4.03	26.80
10	14.96	80.28	230	4.00	26.25
20	12.82	76.99	240	3.98	25.88
30	11.00	73.18	250	3.95	25.32
40	9.85	70.05	260	3.95	25.32
50	8.86	66.70	270	3.93	24.94
60	7.94	62.85	280	3.91	24.55
70	7.21	59.09	290	3.89	24.17
80	6.61	55.37	300	3.87	23.77
90	5.93	50.25	310	3.87	23.77
100	5.53	46.66	320	3.86	23.58
110	5.06	41.70	330	3.85	23.38
120	4.86	39.30	340	3.85	23.38
130	4.73	37.63	350	3.84	23.18
140	4.58	35.59	360	3.84	23.18
150	4.46	33.86	370	3.83	22.98
160	4.35	32.18	380	3.82	22.78
170	4.28	31.08	390	3.81	22.57
180	4.19	29.59	400	3.80	22.37
190	4.15	28.92	410	3.80	22.37
200	4.12	28.40	420	3.79	22.16
210	4.07	27.52	430	3.79	22.16

ตาราง ก 13 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	3.79	22.16	520	3.76	21.54
450	3.78	21.96	530	3.76	21.54
460	3.78	21.96	540	3.76	21.54
470	3.78	21.96	550	3.75	21.33
480	3.77	21.75	560	3.75	21.33
490	3.77	21.75	570	3.75	21.33
500	3.77	21.75	580	3.75	21.33
510	3.76	21.54	590	3.75	21.33

Mahasarakham University

ตาราง ก 14 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	22.84	85.90	230	4.44	27.48
10	17.60	81.71	240	4.41	26.98
20	15.03	78.58	250	4.38	26.48
30	13.35	75.88	260	4.36	26.15
40	12.01	73.19	270	4.33	25.64
50	10.81	70.21	280	4.30	25.12
60	9.72	66.87	290	4.28	24.77
70	8.83	63.53	300	4.26	24.41
80	8.19	60.68	310	4.25	24.24
90	7.58	57.52	320	4.23	23.88
100	6.94	53.60	330	4.23	23.88
110	6.52	50.61	340	4.22	23.70
120	6.12	47.39	350	4.20	23.33
130	5.80	44.48	360	4.19	23.15
140	5.49	41.35	370	4.18	22.97
150	5.28	39.02	380	4.17	22.78
160	5.08	36.61	390	4.17	22.78
170	4.94	34.82	400	4.16	22.60
180	4.82	33.20	410	4.15	22.41
190	4.70	31.49	420	4.14	22.22
200	4.62	30.30	430	4.13	22.03
210	4.56	29.39	430	4.13	22.03
220	4.47	27.96	440	4.13	22.03

Mahasarakham University

ตาราง ก 15 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	14.92	83.31	220	3.21	22.43
10	10.41	76.08	230	3.20	22.19
20	8.43	70.46	240	3.17	21.45
30	7.21	65.47	250	3.16	21.20
40	6.22	59.97	260	3.14	20.70
50	5.39	53.80	270	3.14	20.70
60	5.03	50.50	280	3.13	20.45
70	4.68	46.80	290	3.12	20.19
80	4.33	42.49	300	3.11	19.94
90	4.08	38.97	310	3.11	19.94
100	3.90	36.15	320	3.10	19.68
110	3.75	33.60	330	3.09	19.42
120	3.64	31.59	340	3.09	19.42
130	3.54	29.66	350	3.08	19.16
140	3.47	28.24	360	3.07	18.89
150	3.41	26.98	370	3.07	18.89
160	3.35	25.67	380	3.06	18.63
170	3.33	25.23	390	3.06	18.63
180	3.30	24.55	400	3.06	18.63
190	3.27	23.85	410	3.06	18.63
200	3.25	23.39	420	3.05	18.36
210	3.22	22.67	430	3.05	18.36

Mahasarakham University

ตาราง ก 15 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	3.04	18.09	530	3.01	17.28
450	3.04	18.09	540	3.01	17.28
460	3.03	17.82	550	3.00	17.00
470	3.03	17.82	560	3.00	17.00
480	3.02	17.55	570	3.00	17.00
490	3.02	17.55	580	3.00	17.00
500	3.02	17.55	590	3.00	17.00
510	3.02	17.55	600	3.00	17.00
520	3.02	17.55			

ตาราง ก 16 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	26.93	86.93	220	5.09	30.85
10	19.47	81.92	230	5.05	30.30
20	16.62	78.82	240	5.02	29.88
30	14.53	75.77	250	4.99	29.46
40	12.80	72.50	260	4.96	29.03
50	11.47	69.31	270	4.93	28.60
60	10.36	66.02	280	4.90	28.16
70	9.48	62.87	290	4.89	28.02
80	8.68	59.45	300	4.86	27.57
90	8.08	56.44	310	4.85	27.42
100	7.48	52.94	320	4.83	27.12
110	7.01	49.79	330	4.81	26.82
120	6.68	47.31	340	4.80	26.67
130	6.39	44.91	350	4.79	26.51
140	6.15	42.76	360	4.76	26.05
150	5.74	38.68	370	4.75	25.90
160	5.54	36.46	380	4.73	25.58
170	5.45	35.41	390	4.72	25.42
180	5.34	34.08	400	4.72	25.42
190	5.25	32.95	410	4.71	25.27
200	5.20	32.31	420	4.71	25.27
210	5.14	31.52	430	4.71	25.27

Mahasarakham University

ตาราง ก 16 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	4.70	25.11	560	4.66	24.46
450	4.70	25.11	570	4.65	24.30
460	4.69	24.95	580	4.63	23.97
470	4.69	24.95	590	4.63	23.97
480	4.69	24.95	600	4.62	23.81
490	4.68	24.79	610	4.62	23.81
500	4.68	24.79	620	4.61	23.64
510	4.68	24.79	630	4.61	23.64
520	4.67	24.63	640	4.60	23.48
530	4.67	24.63	650	4.60	23.48
540	4.67	24.63	660	4.60	23.48
550	4.66	24.46	670	4.60	23.48

Mahasarakham University

ตาราง ก 17 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	22.54	85.89	220	4.26	25.35
10	16.47	80.69	230	4.23	24.82
20	13.92	77.16	240	4.20	24.29
30	12.17	73.87	250	4.18	23.92
40	10.54	69.83	260	4.12	22.82
50	9.41	66.21	270	4.11	22.63
60	8.49	62.54	280	4.10	22.44
70	7.70	58.70	290	4.10	22.44
80	7.06	54.96	300	4.09	22.25
90	6.59	51.75	310	4.08	22.06
100	6.17	48.46	320	4.06	21.68
110	5.67	43.92	330	4.04	21.29
120	5.38	40.89	340	4.04	21.29
130	5.04	36.91	350	4.03	21.09
140	4.82	34.03	360	4.02	20.90
150	4.69	32.20	370	4.01	20.70
160	4.57	30.42	380	4.00	20.50
170	4.50	29.33	390	4.00	20.50
180	4.44	28.38	400	4.00	20.50
190	4.38	27.40	410	3.99	20.30
200	4.32	26.39	420	3.99	20.30
210	4.30	26.05	430	3.99	20.30

Mahasarakham University

ตาราง ก 17 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	3.97	19.90	520	3.93	19.08
450	3.97	19.90	530	3.93	19.08
460	3.96	19.70	540	3.93	19.08
470	3.96	19.70	550	3.92	18.88
480	3.95	19.49	560	3.92	18.88
490	3.95	19.49	570	3.92	18.88
500	3.94	19.29	580	3.92	18.88
510	3.94	19.29			

ตาราง ก 18 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	17.10	83.28	220	3.59	20.33
10	11.17	74.40	230	3.59	20.33
20	8.56	66.59	240	3.57	19.89
30	7.06	59.49	250	3.57	19.89
40	6.03	52.57	260	3.56	19.66
50	5.33	46.34	270	3.56	19.66
60	4.83	40.79	280	3.55	19.44
70	4.51	36.59	290	3.54	19.21
80	4.26	32.86	300	3.53	18.98
90	4.10	30.24	310	3.53	18.98
100	3.98	28.14	320	3.52	18.75
110	3.92	27.04	330	3.52	18.75
120	3.85	25.71	340	3.51	18.52
130	3.79	24.54	350	3.51	18.52
140	3.76	23.94	360	3.51	18.52
150	3.71	22.91	370	3.50	18.29
160	3.69	22.49	380	3.50	18.29
170	3.67	22.07	390	3.50	18.29
180	3.65	21.64	400	3.50	18.29
190	3.63	21.21	410	3.49	18.05
200	3.62	20.99	420	3.49	18.05
210	3.61	20.78	430	3.49	18.05

Mahasarakham University

ตาราง ก 19 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	19.94	82.25	190	4.50	21.33
10	14.47	75.54	200	4.46	20.63
20	12.20	70.98	210	4.43	20.09
30	10.67	66.82	220	4.39	19.36
40	9.43	62.46	230	4.36	18.81
50	8.51	58.40	240	4.33	18.25
60	7.73	54.20	250	4.31	17.87
70	7.05	49.79	260	4.30	17.67
80	6.50	45.54	270	4.27	17.10
90	6.03	41.29	280	4.26	16.90
100	5.69	37.79	290	4.25	16.71
110	5.40	34.44	300	4.24	16.51
120	5.19	31.79	310	4.22	16.11
130	5.00	29.20	320	4.22	16.11
140	4.88	27.46	330	4.21	15.91
150	4.77	25.79	340	4.20	15.71
160	4.69	24.52	350	4.19	15.51
170	4.61	23.21	360	4.18	15.31
180	4.55	22.20	370	4.17	15.11

Mahasarakham University

ตาราง ก 20 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	22.27	82.31	220	5.47	27.97
10	17.11	76.97	230	5.43	27.44
20	14.80	73.38	240	5.40	27.04
30	13.03	69.76	250	5.37	26.63
40	11.63	66.12	260	5.34	26.22
50	10.47	62.37	270	5.32	25.94
60	9.53	58.66	280	5.29	25.52
70	8.75	54.97	290	5.26	25.10
80	8.10	51.36	300	5.25	24.95
90	7.60	48.16	310	5.23	24.67
100	7.16	44.97	320	5.21	24.38
110	6.81	42.14	330	5.20	24.23
120	6.53	39.66	340	5.19	24.08
130	6.31	37.56	350	5.18	23.94
140	6.12	35.62	360	5.16	23.64
150	5.99	34.22	370	5.15	23.50
160	5.87	32.88	380	5.14	23.35
170	5.77	31.72	390	5.14	23.35
180	5.70	30.88	400	5.12	23.05
190	5.64	30.14	410	5.11	22.90
200	5.57	29.26	420	5.10	22.75
210	5.52	28.62	430	5.09	22.59

Mahasarakham University

ตาราง ก 20 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร (ต่อ)

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
440	5.09	22.59	480	5.07	22.29
450	5.08	22.44	490	5.07	22.29
460	5.08	22.44	500	5.07	22.29
470	5.07	22.29	510	5.07	22.29

ตาราง ก 21 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 1 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	26.48	81.95	100	7.44	35.75
10	16.15	70.40	110	6.94	31.12
20	14.16	66.24	120	6.67	28.34
30	12.85	62.80	130	6.39	25.20
40	11.54	58.58	140	6.25	23.52
50	10.54	54.65	150	6.09	21.51
60	9.68	50.62	160	6.01	20.47
70	8.99	46.83	170	5.81	17.73
80	8.38	42.96	180	5.71	16.29
90	7.87	39.26	190	5.61	14.80

Mahasarakham University

ตาราง ก 22 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	24.10	80.46	150	5.92	20.44
10	16.70	71.80	160	5.85	19.49
20	13.24	64.43	170	5.79	18.65
30	11.14	57.72	180	5.75	18.09
40	9.70	51.44	190	5.72	17.66
50	8.67	45.68	200	5.68	17.08
60	7.96	40.83	210	5.64	16.49
70	7.38	36.18	220	5.62	16.19
80	7.07	33.38	230	5.60	15.89
90	6.77	30.43	240	5.59	15.74
100	6.50	27.54	250	5.58	15.59
110	6.34	25.71	260	5.57	15.44
120	6.21	24.16	270	5.56	15.29
130	6.09	22.66	280	5.55	15.14
140	6.00	21.50	290	5.54	14.98

ตาราง ก 23 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	22.28	81.42	220	5.21	20.54
10	15.69	73.61	230	5.18	20.08
20	12.76	67.56	240	5.16	19.77
30	10.62	61.02	250	5.14	19.46
40	9.35	55.72	260	5.11	18.98
50	8.35	50.42	270	5.08	18.50
60	7.63	45.74	280	5.07	18.34
70	6.99	40.77	290	5.06	18.18
80	6.53	36.60	300	5.04	17.86
90	6.28	34.08	310	5.03	17.69
100	6.07	31.80	320	5.01	17.37
110	5.91	29.95	330	5.01	17.37
120	5.75	28.00	340	5.00	17.20
130	5.62	26.34	350	4.99	17.03
140	5.52	25.00	360	4.98	16.87
150	5.49	24.59	370	4.97	16.70
160	5.44	23.90	380	4.96	16.53
170	5.38	23.05	390	4.95	16.36
180	5.33	22.33	400	4.94	16.19
190	5.30	21.89	410	4.93	16.02
200	5.26	21.29	420	4.92	15.85
210	5.23	20.84	430	4.91	15.68

ตาราง ก 24 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 2 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	19.33	82.26	130	4.34	20.97
10	12.48	72.52	140	4.30	20.23
20	9.63	64.38	150	4.25	19.29
30	7.87	56.42	160	4.22	18.72
40	6.69	48.73	170	4.19	18.14
50	5.95	42.35	180	4.16	17.55
60	5.45	37.06	190	4.14	17.15
70	5.11	32.88	200	4.13	16.95
80	4.89	29.86	210	4.10	16.34
90	4.72	27.33	220	4.07	15.73
100	4.58	25.11	230	4.05	15.31
110	4.49	23.61	240	4.04	15.10
120	4.41	22.22	250	4.04	15.10

ตาราง ก 25 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	23.33	87.23	190	4.04	26.24
10	17.18	82.65	200	4.01	25.69
20	11.29	73.61	210	3.98	25.13
30	9.49	68.60	220	3.96	24.75
40	8.19	63.61	230	3.94	24.37
50	6.93	57.00	240	3.92	23.98
60	6.21	52.01	250	3.91	23.79
70	5.64	47.16	260	3.90	23.59
80	5.27	43.45	270	3.88	23.20
90	4.98	40.16	280	3.87	23.00
100	4.75	37.26	290	3.86	22.80
110	4.58	34.93	300	3.86	22.80
120	4.44	32.88	310	3.85	22.60
130	4.35	31.49	320	3.85	22.60
140	4.26	30.05	330	3.85	22.60
150	4.24	29.72	340	3.84	22.40
160	4.17	28.54	350	3.84	22.40
170	4.12	27.67	360	3.84	22.40
180	4.07	26.78	370	3.84	22.40

Mahasarakham University

ตาราง ก 26 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 20 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์ (w.b.)
0	18.44	82.21	140	4.09	19.80
10	11.46	71.38	150	4.05	19.01
20	8.69	62.26	160	4.02	18.41
30	6.94	52.74	170	4.00	18.00
40	6.02	45.52	180	3.97	17.38
50	5.40	39.26	190	3.95	16.96
60	4.99	34.27	200	3.94	16.75
70	4.73	30.66	210	3.93	16.54
80	4.54	27.75	220	3.92	16.33
90	4.41	25.62	230	3.90	15.90
100	4.31	23.90	240	3.89	15.68
110	4.24	22.64	250	3.85	14.81
120	4.18	21.53	260	3.87	15.25
130	4.13	20.58	270	3.86	15.03

Mahasarakham University

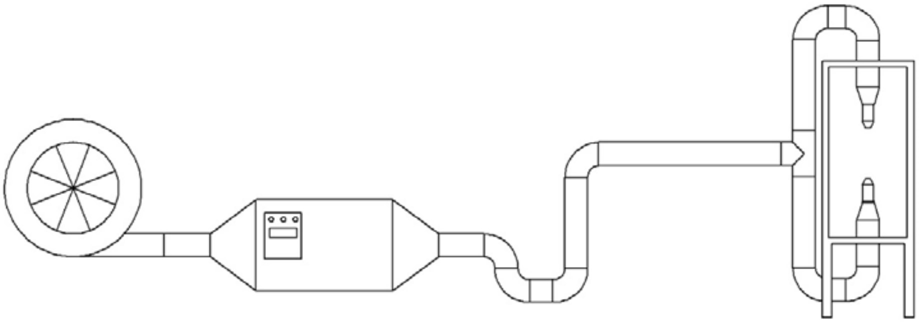
ตาราง ก 27 ผลการทดลองการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ ที่อุณหภูมิลมร้อน 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 25 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดเจ็ท 3 เซนติเมตร

เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์	เวลา (นาที)	มวลหลังอบ (กรัม)	ความชื้น เปอร์เซ็นต์
0	19.38	81.42	130	4.55	20.88
10	11.93	69.82	140	4.49	19.82
20	9.58	62.42	150	4.45	19.10
30	8.04	55.22	160	4.41	18.37
40	7.03	48.79	170	4.37	17.62
50	6.34	43.22	180	4.34	17.05
60	5.84	38.36	190	4.31	16.47
70	5.44	33.82	200	4.29	16.08
80	5.21	30.90	210	4.28	15.89
90	4.98	27.71	220	4.27	15.69
100	4.84	25.62	230	4.26	15.49
110	4.72	23.73	240	4.25	15.29
120	4.63	22.25	250	4.24	15.09

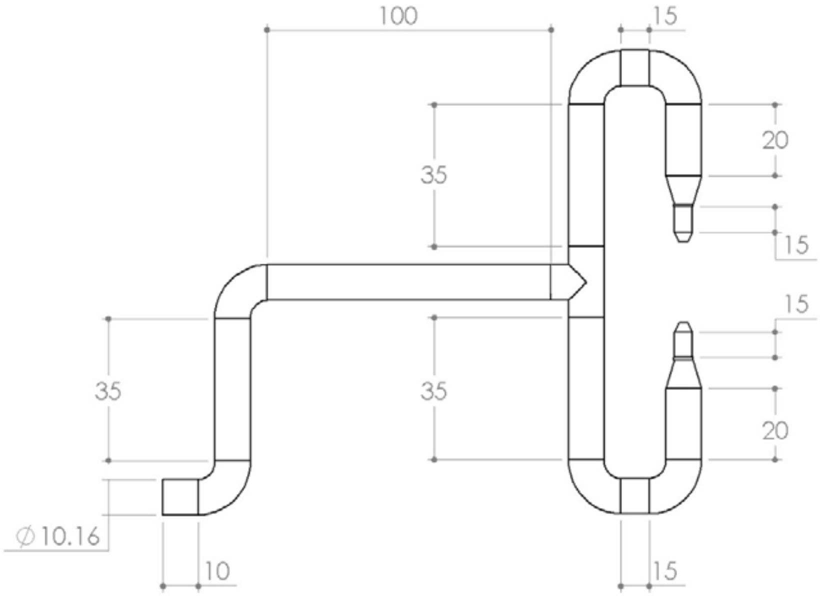
ภาคผนวก ข

ภาพประกอบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

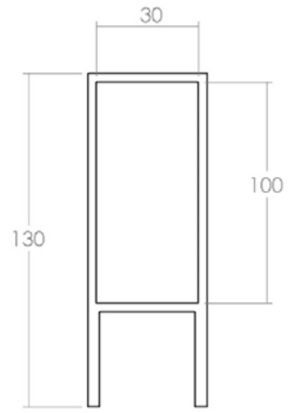
Mahasarakham University



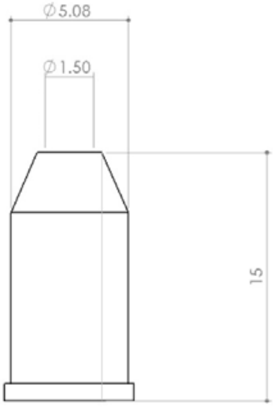
ภาพประกอบ 15 แบบโครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ



ภาพประกอบ 16 โครงสร้างและขนาดของท่อหัวเจ็ทไหลประทะ (หน่วยเซ็นติเมตร)



ภาพประกอบ 17 ขนาดห้องอบผลิตภัณฑ์ (หน่วยเซ็นติเมตร)



ภาพประกอบ 18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด (หน่วยเซ็นติเมตร)

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

Mahasarakham University

ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดความเร็วลม UNI-T UT363

ภาพประกอบ 20 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทอล

ภาพประกอบ 21 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer)

ภาพประกอบ 22 มิเตอร์ไฟฟ้า

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายนัตพล อุโมง
วันเกิด	วันที่ 23 มีนาคม 2538
สถานที่เกิด	อำเภอกันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 230 หมู่ที่ 2 ตำบลกระแชง อำเภอกันทรลักษ์ จังหวัดศรีสะเกษ รหัสไปรษณีย์ 33110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกระแชงวิทยา จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2557	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกระแชงวิทยา จังหวัดศรีสะเกษ
พ.ศ. 2560	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายกิตติ รัตนบุรม
วันเกิด	วันที่ 4 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 9 หมู่ที่ 8 ตำบลคอนสวรรค์ อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ รหัสไปรษณีย์ 36140

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2557	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแก้งค้อวิทยา จังหวัดชัยภูมิ
พ.ศ. 2560	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม