ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพของกล้วยแผ่น

จารุวรรณ กุลวิศว [1] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร [2] และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ [3]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการสูญเสียง่าย การแปรรูปกล้วยเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสีย นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า การแปรรูปกล้วยเป็นกล้วยอบแผ่นเป็นแนวทางหนึ่ง อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอบแห้งที่มีต่อผลคุณภาพของกล้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย ได้แก่ isoamyl acetate, isobutyl butanoate และ butyl butyrate และคุณภาพของกล้วยแผ่นทางด้านการหดตัว สี และเนื้อสัมผัส โดยใช้กล้วยหอมทองระยะสุก 5 หั่นตามขวางหนา 3 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 ˚C จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นขณะอบแห้ง กล้วยแผ่นมีการหดตัวน้อย กรอบมากและความแข็งน้อยลงเมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง ในขณะที่กล้วยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น โดยเฉพาะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 ˚C สำหรับปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่ายพบว่า isoamyl acetate ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับความร้อน ในขณะที่ butyl butyrate และ isobutyl butanoate มีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิอย่างไม่มีนัยสำคัญในช่วงของอุณหภูมิที่ศึกษา

คำสำคัญ : กล้วยหอม / การอบแห้ง / สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล / สารประกอบที่ระเหยง่าย

---

[1] *นักศึกษา*

[2] *รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์*

[3] *ศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*

Effect of Drying Temperature on Volatile Compounds and Physical Qualities of Banana Slices

Jaruwan Kunwisawa [1], Somkait Prachayawarakorn [2], and Somchat Soponronnarith [3]
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

Bananas are very fast deterioration after harvesting and the banana production process can reduce their losses and add value to them. Banana chips are one of the most favorite products that can be produced by a drying method. To obtain high product quality, an appropriate drying temperature is important parameter. Therefore, the influences of drying temperature on the moisture diffusivity and the dried banana qualities i.e. volatile compounds (isoamyl acetate, isobutyl butanoate and butyl butyrate), shrinkage, color and texture property were studied. Banana with a maturity stage of 5 was sliced into 3 mm thickness and dried at four temperatures of 70, 80, 90 and 100 ^{o}C. The experimental results showed that the effective moisture diffusivity depended on the temperature and moisture content. The samples dried at high temperature were less shrinkage, lower hardness and more crispness values than those dried at low temperature. However, the high temperature caused the red-brown product in particular at 100 ^{o}C. Isoamyl acetate volatile compound was found to be very sensitive to heat whilst the changes of butyl butyrate and isobutyl butanoate with the drying temperature were insignificant.

Keywords : Banana / Drying / Effective Moisture Diffusivity / Volatile Compounds

---

[1] *Graduated Student*

[2] *Associate Professor, Faculty of Engineering.*

[3] *Professor, School of Energy Enviroment and Materials.*

1. บทนำ

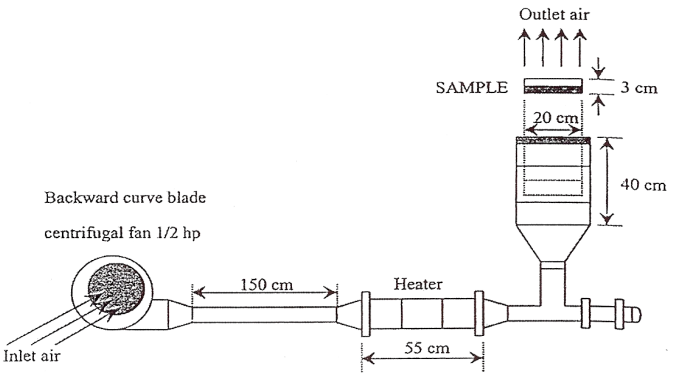
กล้วยเป็นผลไม้ที่มีมากเกินความต้องการอีกทั้งภายหลังการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงได้มีวิธีการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ วิธีการอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหาร แต่เป็นกระบวนการที่ควบคุมได้ยากเพราะว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาในการอบแห้งนาน เป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียรสชาติ สี สารอาหาร และความสามารถในการดูดคืนน้ำของผลิตภัณฑ์อบแห้ง [1] นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียสารประกอบที่ให้กลิ่นระหว่างการอบแห้งของผลไม้ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นจะต้องปรับปรุงเพื่อควบคุมให้สินค้ามีคุณภาพ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสารประกอบที่ให้กลิ่นประกอบไปด้วย ความดันไอของแต่ละสารประกอบ อุณหภูมิการอบแห้ง และองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ [2] สารประกอบที่ระเหยง่าย ได้แก่ เอสเทอร์ กรด และแอลกอฮอล์ อาจเกิดการระเหยได้ระหว่างการอบแห้งเป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเปลี่ยนแปลง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพทางกายภาพของกล้วย เช่น สี เนื้อสัมผัส การหดตัว และปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพของกล้วยแผ่นใช้เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง ดังรูปที่ 1.ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ อุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อให้ความร้อนกับอากาศ พัดลมเป็นแบบเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง อัตราการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งควบคุมโดยการปรับวาล์ว



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง

การทำงานของระบบเริ่มโดยการเปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนและพัดลม รอจนกระทั่งอุณหภูมิของระบบเท่ากับที่ต้องการอบแห้งจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ถาดเข้าห้องอบแห้ง อากาศร้อนจะไหลผ่านห้องอบแห้งในแนวตั้งฉากกับวัสดุ อบแห้งกล้วยแผ่นให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 4 d.b.

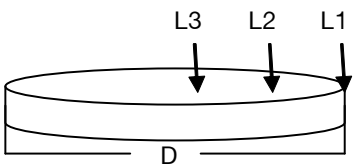
2.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองใช้กล้วยหอมทองระยะสุกที่ 5 ซึ่งพิจารณาได้จากสีของเปลือกเป็นสีเหลืองแต่ปลายยังเป็นสีเขียว ปอกเปลือกแล้วหั่นตามขวางด้วยเครื่องหั่นกำหนดความหนาไว้ที่ 3 มิลลิเมตร แช่ด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 0.1% w/v 1 นาที [3] นำมาอบด้วยอากาศร้อน

ที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 ˚C ความเร็วลม 1.3 m/s ชั่งน้ำหนักกล้วยแผ่นทุกๆ 5 นาที จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้าย 4% (d.b.) หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ไปทดสอบคุณภาพในด้านสี เนื้อสัมผัส การหดตัวและปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย (หาน้ำหนักแห้งของกล้วยแผ่นก่อนการอบแห้งโดยนำไปอบด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 103 ˚C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง)

2.2.1 การทดสอบการหดตัว

ในการทดสอบการหดตัวของกล้วยแผ่นจะวัดทางด้านความหนาด้วย Caliper ซึ่งจะทำการวัดที่ระยะต่างๆเป็นจำนวน 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2 โดยใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนีย (vernier) โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 2 การวัดการหดตัวของกล้วยแผ่น

2.2.2 การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์

สีของกล้วยแผ่นวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น ColorFlex สีของกล้วยแผ่นแสดงในเทอมของตัวแปร L, a และ b โดยค่า L (lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง ค่า a (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว และค่า b (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน ก่อนวัดสีของตัวอย่างได้ทำการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องวัดสีอาหารก่อนด้วยการวัดสีแผ่นสีขาวมาตรฐานซึ่งมีค่า L*=96.98, a*=0.03 และ b*=1.84 ในการวัดสีจะใช้จำนวนตัวอย่างกล้วย 10 ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างวัด 3 ครั้ง

2.2.3 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังการอบแห้งทดสอบโดยใช้เครื่อง Taxture Analyser รุ่น TA.XT.Plus ค่าความถูกต้อง ± 0.001 N โดยจะทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด โดยใช้หัวกดชนิดหัวตัด และความเร็วในการกด 2 mm/s โดยกดจนกระทั่งกล้วยแผ่นแตกออกจากกัน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นพิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) จำนวนยอด (Number of Peaks) ที่มีค่า Threshold force ตั้งแต่ 30 g ขึ้นไป และความชันเริ่มต้น (Initial Slope) ในการทดสอบคุณภาพเนื้อสัมผัสจะใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง

2.2.4 การแยกสารระเหยง่ายจากตัวอย่าง

การหาสารประกอบที่ระเหยง่าย ทำได้โดยนำกล้วยสด 5 g บดให้เป็นเนื้อเดียวกันผสมน้ำกลั่น 5 ml ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 20 ml ที่มีสารละลาย internal standard ที่ประกอบไปด้วย caproic acid ethyl ester 0.2 µl ใน methanol 0.1% (v/v) ส่วนกล้วยแผ่นอบแห้งใช้ 1 g บดให้ละเอียด ผสมกับน้ำกลั่น 9 ml ใส่ลงในขวดแก้วที่มีสารละลาย internal standard จากนั้นปิดด้วย silicone Teflon-lined septum ใช้ส่วนเข็มของ Solid-Phase Microextraction (SPME) ที่ภายในเข็มมีเส้นใยของสาร Carboxen/Polydimethylsiloxen (PDMS) ความเข้มข้น 85 µl เจาะลงบน septum ให้อยู่เหนือตัวอย่าง จากนั้นกวนตัวอย่างด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 ˚C เพื่อทำการดูดซับสารจากนั้น นำไปฉีดเข้าเครื่อง GC-MS [4]

2.2.5 การวิเคราะห์หาสารประกอบที่ระเหยง่าย

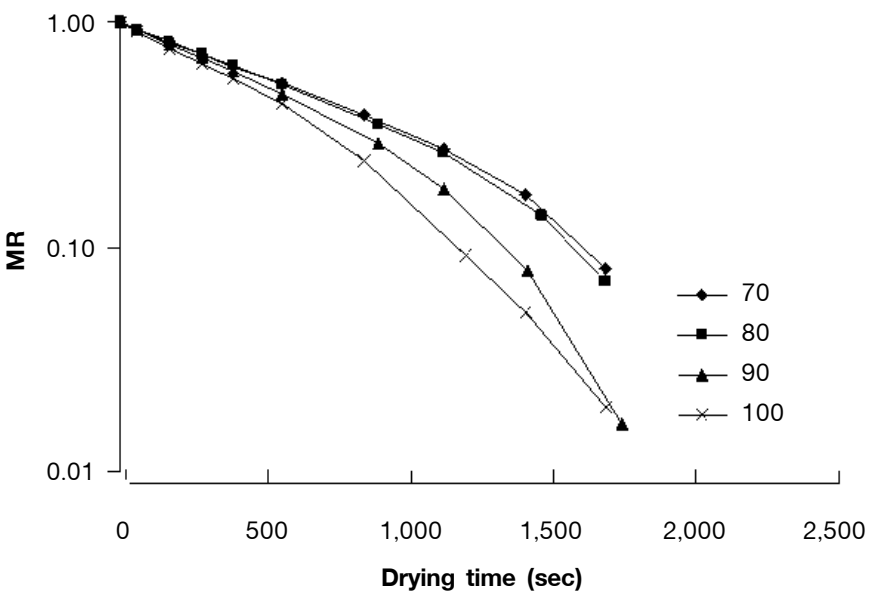
การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยง่ายจะวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟรุ่น HP 6890 ต่อกับเครื่องตรวจวัดแบบแมสซีเลคทีฟรุ่น HP 5973 บริษัท HEWLETT คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกสารประกอบระเหยง่ายเป็นซิลิกาแคปปิลารีคอลัมน์ชนิด HP-5 ที่มีขนาดความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm ความหนาของฟิล์ม 0.25 µm นำ SPME ที่ดูดซับสารประกอบที่ระเหยง่ายเจาะลงบน injector port ที่มีอุณหภูมิ 200 ˚C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการคายซับสาร ส่วนระบบที่ใช้ในการนำสารเข้าคอลัมน์เป็นแบบ split โดยปริมาตรสารเข้าคอลัมน์ 1 ส่วนในปริมาณสารทั้งหมด 10 ส่วน อุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้

ตอนเริ่มต้นอยู่ที่ 40 ˚C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิคอลัมน์เป็น 120˚C ด้วยอัตรา 3˚C/min และหลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิคอลัมน์ด้วยอัตรา 20˚C/min จนคอลัมน์มีอุณหภูมิ 180˚C คงที่อุณหภูมิไว้เป็นเวลา 11 นาที แก๊สที่ใช้ในการพาสารเข้าคอลัมน์คือฮีเลียมโดยใช้อัตราการไหล 1 ml/min

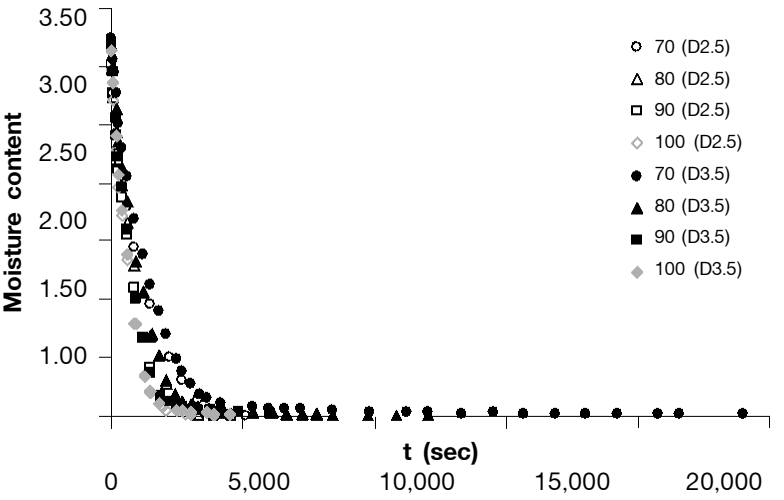
3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยอากาศร้อนสามารถทราบความชื้นได้โดยการชั่งมวลของตัวอย่างขณะอบแห้งที่เวลาต่างๆ พบว่าในช่วง 60 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นของกล้วยแผ่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความชื้นสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการถ่ายเทมวลของความชื้นจากภายในชิ้นกล้วยไปที่ผิวกล้วยและระเหยไปสู่อากาศ หลังจากนั้นความชื้นของชิ้นตัวอย่างเหลืออยู่น้อยทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในชิ้นกล้วยไปที่ผิวกล้วยลดลงและใช้เวลานานเป็นผลให้อัตราการอบแห้งลดลง จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลามีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลเป็นฟังก์ชันกับความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของกล้วยแผ่นได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนกับกล้วยแผ่น ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงกว่า ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวระเหยน้ำได้เร็วกว่า มีระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ100˚C เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4 d.b. เท่ากับ 400, 190, 100 และ 75 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นกล้วยที่อุณหภูมิต่างๆ (ความเร็วลม 1.3 m/s)



รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความชื้นกล้วยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 และ 3.5 เซนติเมตร (ความเร็วลม 1.3 m/s, ความหนาของกล้วย 3 mm)

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 3.5 เป็น 2.5 เซนติเมตร การเปลี่ยนแปลงอัตราความชื้นของกล้วยแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันมีค่าไม่แตกต่างกันแสดงว่าความชื้นมีการแพร่ทางด้านรัศมีน้อยมาก จากผลที่ได้แสดงว่าการแพร่ความชื้นอยู่ในทิศทางตามความหนา

3.2 การหาสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล

เมื่อทำการทดลองวัดการหดตัวของกล้วยแผ่น พบว่าการหดตัวของกล้วยในทิศทางรัศมีมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับทางด้านความหนาดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นการแพร่ความชื้นของกล้วยแผ่นในรูปของสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล (Effective diffusion coefficient) จะพิจารณารูปทรงของกล้วยแผ่นมีลักษณะเป็นแผ่นแบนซึ่งกว้างและยาวมาก (infinite slab) การถ่ายเทความชื้นและการหดตัวเกิดขึ้นในทิศทางความหนาเพียงทิศทางเดียว

ในกรณีที่ทำการพลอตกราฟระหว่าง ln MR กับเวลา ได้กราฟเป็นเส้นตรงแสดงว่าค่าสัมประสิทธิการแพร่ของความชื้นไม่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น การเปลี่ยนแปลงความชื้นสามารถอธิบายด้วยสมการที่ 1 [5]

$$\mathrm{MR}=\frac{M(t)-M_{eq}}{M_0-M_{eq}}=\frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left[-\frac{(2n+1)^2\pi^2 D^{eff}t}{4L^2}\right] \quad \textbf{(1)}$$

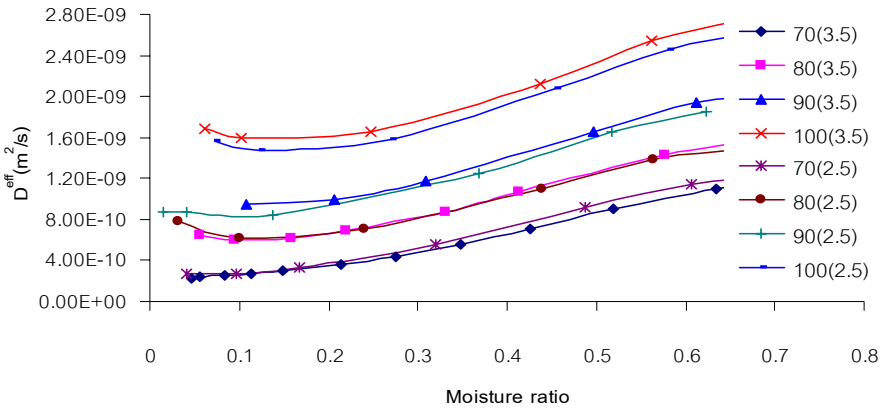
เมื่อ D^{eff} คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล *(m^2/s)* MR คืออัตราส่วนความชื้น *M(t)* M_{eq} และM_0 เป็นความชื้นเฉลี่ยในเวลาใดๆ ความชื้นสมดุล และความชื้นเริ่มต้น (อ้างอิงมวลแห้ง) ตามลำดับ L คือความหนากล้วยครึ่งแผ่น (m)

ในกรณีที่กราฟไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นฟังก์ชันกับความชื้น การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่แปรตามความชื้นนั้นจะใช้วิธีการของความชัน (Karathanos et al., 1990) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและอัตราการอบแห้งทางทฤษฎี ณ ความชื้นเดียวกัน แสดงดังสมการ (2)

$$D^{eff} = [(dMR/dt)_{exp} / (dMR/dFo)_{th}] L^2 \quad \textbf{(2)}$$

เมื่อ Fo คือ the Fourier number (Fo = $D^{eff} t/L^2$) และ MR คือ อัตราส่วนความชื้นของกล้วยแผ่น

หมายเหตุ สำหรับความหนาของแผ่นกล้วย (L) จะเป็นความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้น



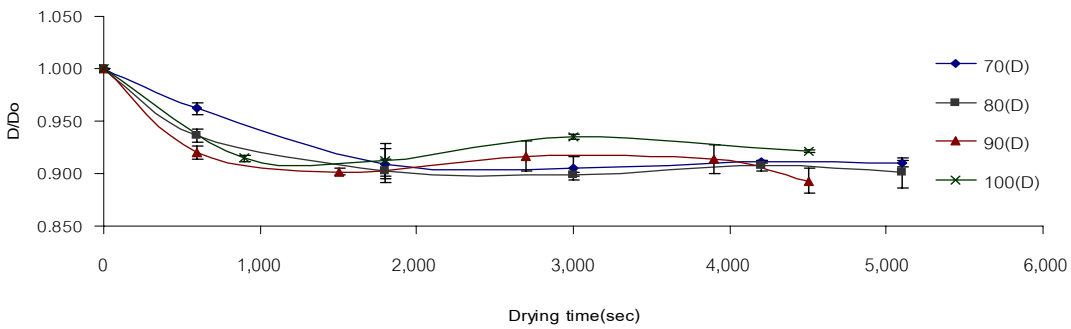
รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยแผ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิการแพร่กับความชื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยเท่ากับ 3.5 และ 2.5 เซนติเมตร พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วยแผ่นขึ้นอยู่กับความชื้น และอุณหภูมิการอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลจะลดลงเมื่อความชื้นลดลง เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลสูงขึ้น สำหรับผลเส้นผ่านศูนย์กลางของกล้วยแผ่นที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลพบว่ามีค่าน้อย

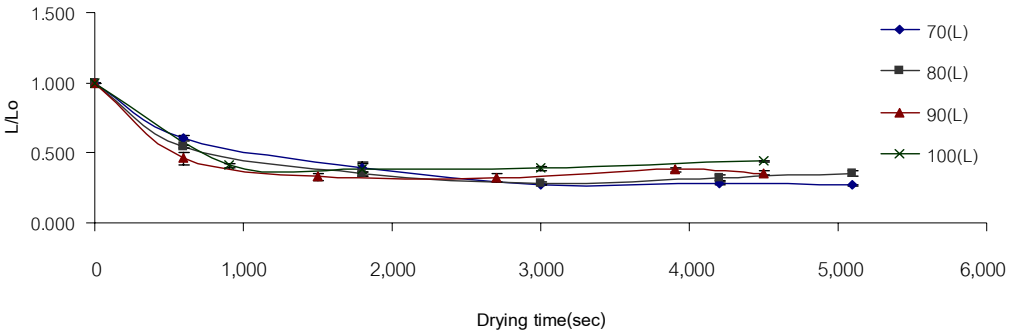
3.3 คุณภาพของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้ง

3.3.1 การหดตัวของกล้วยแผ่น

การหดตัวของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งนั้นเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนของตัวกลางของการอบแห้งที่กล้วยแผ่นได้รับขณะทำการอบแห้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง และส่งผลให้เกิดความเครียดขึ้นภายในวัสดุ ทำให้กล้วยแผ่นเหี่ยวย่นและมีปริมาตรลดลง การสูญเสียน้ำทำให้เซลล์ของกล้วยแผ่นหดตัวจากผิวนอก โดยบริเวณขอบของกล้วยแผ่นเป็นส่วนที่แข็งจะคงสภาพไว้ และจะเว้าลงไปบริเวณรอบๆ จุดศูนย์กลางซึ่งเป็นส่วนที่เนื้อกล้วยอ่อนกว่าส่วนที่เป็นขอบ กล้วยเป็นอาหารที่มีน้ำมากจึงเกิดการหดตัวบิดเบี้ยวได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ซึ่งพบว่ากล้วยมีการหดตัวเมื่อความชื้นลดลง โดยทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางจะหดตัวประมาณ 10% ส่วนทางด้านความหนามีการหดตัว 60% เมื่อทำการลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้นจนเหลือร้อยละ 4 d.b.



รูปที่ 6 การหดตัวของกล้วยแผ่นทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ



รูปที่ 7 การหดตัวของกล้วยแผ่นทางด้านความหนาที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงผลของการวัดการหดตัวของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งพบว่ากล้วยแผ่นมีการหดตัวมากเมื่อทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง และมีการหดตัวน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากกล้วยแผ่นที่อบแห้งภายใต้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการอบแห้งที่รวดเร็วน้ำที่อยู่ที่ผิวของกล้วยแผ่นจะระเหยไปอย่างรวดเร็วทำให้ผิวที่อยู่ข้างนอกแห้งและเกิดการแข็งตัวที่ผิว ซึ่งการแข็งตัวที่ผิวนี้จะช่วยรักษาสภาพรูปทรงและปริมาตรของกล้วยแผ่นไม่ให้มีการหดตัวมาก นอกจากนี้จากตารางที่ 1 พบว่ากล้วยแผ่นมีการหดตัวทางด้านความหนามากกว่าทางด้านรัศมี เนื่องจากการระเหยของน้ำส่วนใหญ่อยู่ในทิศทางรัศมี

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของกล้วยหลังการอบแห้งทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) และทางด้านความหนา (L)

Temperature (°C)	% Shrinkage (D)	% Shrinkage (L)
70	9.52±0.25	73.11±0.79
80	9.92±1.41	64.56±2.04
90	10.72±1.19	64.39±1.49
100	7.32±0.45	56.17±0.24

3.3.2 สีของกล้วยแผ่น

สำหรับการอบแห้งกล้วยแผ่นที่ได้หลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 - 100 °C เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะพบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C กล้วยแผ่นโดยรวมแล้วเริ่มจะมีสีน้ำตาลปรากฏและมีสีน้ำตาลค่อนข้างแดงที่อุณหภูมิ 100 °C สีของกล้วยตัวอย่างไม่ค่อยสม่ำเสมอโดยมีความอ่อน-เข้มที่แตกต่างกันซึ่งสีน้ำตาลเข้มที่สุดบริเวณรอบจุดศูนย์กลางของกล้วยเนื่องจากบริเวณนี้มีปริมาณน้ำตาลมากกว่าบริเวณอื่น จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 - 90 °C สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันโดยดูจากค่าในเทอมของตัวแปร L และ a แต่จะเริ่มมีความแตกต่างกันโดยมีสีน้ำตาลมากขึ้นที่อุณหภูมิ 100 °C สังเกตได้จากค่า L ที่ลดลง และค่า a ที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเทียบสีของกล้วยแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งกับสีมาตรฐาน R.H.S. Color Charts จะพบว่าสีของกล้วยแผ่นที่ได้หลังการอบแห้ง สำหรับอุณหภูมิการอบแห้งที่ 100 °C จัดอยู่ในกลุ่ม GREYED-ORANGE 163C โดยให้สีน้ำตาลเข้มมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนั้นอิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ แม้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าก็ตาม และ GREYED-YELLOW 162C สำหรับอุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 และ 80 °C ส่วน 90 °C อยู่ในกลุ่ม GREYED-YELLOW 162B

ตารางที่ 2 สีของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature(˚C)	L-value	a-value	b-value
70	64.34±1.49[a]	4.55±0.73[a]	24.11±0.58[c]
80	63.16±0.72[a]	4.59±0.45[a]	24.81±0.58[c]
90	63.11±1.44[a]	4.39±0.48[a]	21.78±0.97[a]
100	59.27±1.70[b]	7.06±0.95[b]	23.30±0.45[b]

หมายเหตุ : อักขระที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

3.3.3 เนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่น

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นจะพิจารณาจากค่าความแข็ง จำนวนยอด ซึ่งจำนวนยอดและค่าความชันเริ่มต้น จะแสดงถึงความกรอบของอาหาร หากมีจำนวนยอดมากและความชันเริ่มต้นมากก็แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบมาก เนื่องจากยอดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความชันที่เกิดจากผลิตภัณฑ์มีช่องว่างหรือโพรงอากาศภายใน

ตารางที่ 3 ความแข็ง จำนวนยอดและค่าความชันเริ่มต้น

Temperature (˚C)	Hardness (N)	Number of peaks	Initial slope(N/mm)
70	N/A	N/A	N/A
80	74.03±26.84[b]	18.00±6.00[ab]	9.24±4.57[a]
90	41.31±22.49[c]	18.00±4.00[ab]	9.39±9.87[a]
100	24.49±4.09[c]	20.00±3.00[b]	9.23±5.35[a]

หมายเหตุ : อักขระที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%
N/A หมายถึง ไม่ข้อมูลการทดลอง

จากตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็ง จำนวนยอด และความชันเริ่มต้นหลังการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิการอบแห้งมีแนวโน้มว่าไม่มีผลต่อความกรอบโดยสังเกตได้จากจำนวนยอด และความชันเริ่มต้นที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% แต่มีผลต่อความแข็งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าให้ค่าความแข็งน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับที่อุณหภูมิ 70˚C ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากความชื้นของกล้วยแผ่นมากกว่าร้อยละ 4 d.b.

3.3.4 สารประกอบที่ระเหยง่าย

ในกล้วยหอมมีสารประกอบที่ให้กลิ่นอยู่มากโดยส่วนมากสารประกอบที่พบคือ ester, alcohols และ carbonyls โดยสารประกอบที่ระเหยง่ายที่สนใจที่จะวิเคราะห์ ทางด้านปริมาณในงานวิจัยนี้เป็นสารประกอบพวก ester ประกอบด้วย Isoamyl acetate, Isobutyl butanoate และ Butyl butyrate

ตารางที่ 4 พื้นที่พีคของกล้วยสดและกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

Temperature (°C)	Peak area of volatile compound					
	Isoamyl acetate ($x10^5$)		Isobutyl butanoate ($x10^5$)		Butyl butyrate ($x10^5$)	
	Fresh banana	Dried banana	Fresh banana	Dried banana	Fresh banana	Dried banana
70	40.67±9.07	16.86±4.23^b	53.99±8.44	52.02±4.67^b	52.99±6.34	42.82±6.76^{ab}
80		25.66±4.07^c		40.53±6.51^b		48.86±7.61^b
90	9.15±4.19	2.45±1.96^a	11.41±2.18	8.86±2.07^a	27.83±4.28	29.45±7.87^a
100		6.07±0.33^a		8.41±1.82^a		39.73±3.92^{ab}

ตารางที่ 4 แสดงพื้นที่พีคของสารประกอบที่ระเหยง่ายของกล้วยแผ่นระยะการสุกที่ 5 หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าสารประกอบที่ระเหยง่ายแต่ละชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกันโดย isoamyl acetate ซึ่งเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับ isobutyl butanoate และ butyl butyrate ทำให้อัตราการแพร่ของสารดังกล่าวเร็วจึงเป็นผลให้สารระเหยง่าย isoamyl acetate มีปริมาณการสูญเสียมากที่สุดขณะที่ isobutyl butanoate และ butyl butyrate มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของสารระเหยง่ายในกล้วยสด

จากผลในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยง่าย isoamyl acetate คงเหลือที่อุณหภูมิการอบแห้ง 70 - 80 °C หรือ 90 - 100 °C (การอบแห้งที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมาจากชุดตัวอย่างคนละชุด) มีแนวโน้มว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดปริมาณการสูญเสียสารระเหยง่ายในกล้วยได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าทั้งอาจเป็นผลมาจากการที่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดผิวแข็งที่บริเวณผิวกล้วยซึ่งอาจจะช่วยให้การแพร่ของสารระเหยง่ายเป็นไปได้ยากกว่าในกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

4. สรุป

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารประกอบที่ระเหยง่าย และคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการลดความชื้น การหดตัว สี สารประกอบที่ระเหยง่ายโดยอุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของกล้วยแผ่นได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า คุณภาพทางด้านการหดตัวพบว่ากล้วยแผ่นมีการหดตัวทางด้านความหนามากกว่าทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกล้วยมีการหดตัวน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ สีของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงเป็นสีน้ำตาลเข้มซึ่งสังเกตได้จากค่าความสว่าง (L) ค่าความเหลือง (b) ที่ลดลง และค่าความแดง (a) ที่เพิ่มขึ้น สารประกอบระเหยง่าย butyl butyrate และ isobutyl butanoate ยกเว้น Isoamyl acetate ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิอบแห้ง ส่วนเนื้อสัมผัสของกล้วยพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าซันเริ่มต้นและจำนวนยอดของกล้วยแผ่นหลังการอบแห้งแต่มีผลต่อความแข็งโดยอุณหภูมิสูงให้ค่าความแข็งน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้การสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในงานวิจัยของโครงการนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Maskan, M. (2000).Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, Vol. 44, pp. 71-78.

2. Boudhrioua, N., Giampaoli, P. and Bonazzi, C., 2003, “Changes in aromatic components of banana during ripening and air-drying,”

Lebensm.-Wiss. u. -Technol., Vol. 36, pp. 633-642.

3. Demirel, D., and Turhan, M., 2003, "Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel banana slices," *Journal of Food Engineering,* Vol. 59, No.1, pp. 1-11

4. Winnie W.Y. Mui., Timothy D. Durance., and Christine H. Scaman., 2002, "Flavor and texture of banana chips dried by combinations of hot air, vacuum, and microwave processing," *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* Vol. 50, pp. 1883-1889.

5. Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion.* Clarendon Press, Oxford.

6. Karathanos, V.T., Villalobos, G., and Saravacos, G.D., 1990, "Comparison of two methods of estimation of the effective moisture diffusivity from drying data," *Journal of Food Science,* Vol. 55, No.1, pp. 218-223.