

**ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่ายและคุณภาพทางกายภาพ  
ของกล้วยแห่น**

**จากรุวรรณ กุลวิศว<sup>1</sup> สมเกียรติ ปรัชญาหารากร<sup>2</sup> และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์<sup>3</sup>**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

**บทคัดย่อ**

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีการสูญเสียง่าย การแปรรูปกล้วยเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสีย นอกจาจนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า การแปรรูปกล้วยเป็นกล้วยอบแห่นเป็นแนวทางหนึ่ง อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของกล้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย ได้แก่ isoamyl acetate, isobutyl butanoate และ butyl butyrate และคุณภาพของกล้วยแห่นทางด้านการทดสอบ สี และเนื้อสัมผัส โดยใช้กล้วยหอมทองระยะสุก 5 หั่นตามยาวหนา 3 มิลลิเมตร ทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 °C จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสีที่ลดลงอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นขณะอบแห้ง กล้วยแห่นมีการทดสอบด้านสี กรอบมากและความแข็งน้อยลง เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง ในขณะที่กล้วยมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น โดยเฉพาะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C สำหรับปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่ายพบว่า isoamyl acetate ค่อนข้างไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับความร้อน ในขณะที่ butyl butyrate และ isobutyl butanoate มีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิอย่างไม่มีนัยสำคัญในช่วงของอุณหภูมิที่ศึกษา

**คำสำคัญ :** กล้วยหอม / การอบแห้ง / สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสีที่ลดลง / สารประกอบที่ระเหยง่าย

<sup>1</sup> นักศึกษา

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

<sup>3</sup> ศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

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

Jaruwan Kunwisawa <sup>1</sup>, Somkait Prachayawarakorn <sup>2</sup>, and Somchat Soponronnarith <sup>3</sup>

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 °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 °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

<sup>1</sup> Graduated Student

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Engineering.

<sup>3</sup> Professor, School of Energy Environment and Materials.

## 1. บทนำ

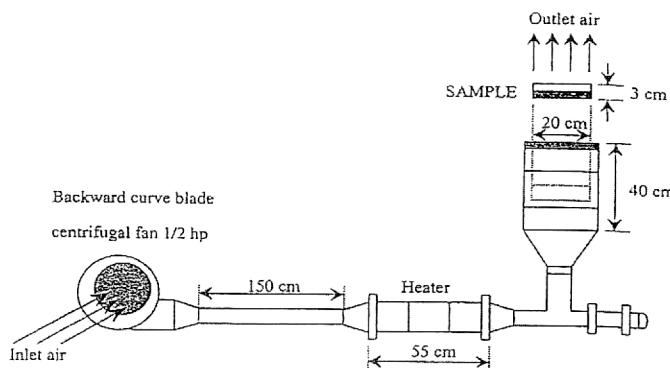
กลัวเป็นผลไม้ที่มีมากเกินความต้องการอีกทั้งภายในห้องการเก็บเกี่ยวจะเกิดการเน่าเสียได้ง่าย จึงได้มีวิธีการยึดอายุการเก็บรักษากลัวด้วยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ วิธีการอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการถนอมอาหาร แต่เป็นกระบวนการที่ควบคุมได้ยาก เพราะว่าการอบแห้งที่ อุณหภูมิสูง และระยะเวลาในการอบแห้งนาน เป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบที่ให้กลิ่นระหว่าง การอบแห้งของผลไม้ซึ่งเป็นส่วนที่จำเป็นจะต้องบันทุรกุ่งเพื่อ ความคุ้มให้ลินคัมมีคุณภาพ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณสาร ประกอบที่ให้กลิ่นประกอบไปด้วย ความดันไอของแต่ละ สารประกอบ อุณหภูมิการอบแห้ง และองค์ประกอบของ ผลิตภัณฑ์ [2] สารประกอบที่ระเหยง่าย ได้แก่ เอสเทอร์ กอร์ด และแอลกอฮอล์ อาจเกิดการระเหยได้ระหว่างการอบ แห้งเป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นเปลี่ยนแปลง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการอบแห้ง บนแห้งที่มีต่อจนพลศาสตร์ของการอบแห้ง และคุณภาพ ทางกายภาพของกลัว เช่น สี เนื้อสัมผัส การหดตัว และ ปริมาณสารประกอบที่ระเหยง่าย เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทาง ในการประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### 2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดลองศึกษาจนพลศาสตร์ของการ อบแห้ง และคุณภาพของกลัวแห้ง ใช้เครื่องอบแห้งแบบ ชั้นบาง ดังรูปที่ 1. ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ อุปกรณ์ ให้ความร้อนเพื่อให้ความร้อนกับอากาศ พัดลมเป็นแบบ เหวี่ยงใบพัดโดยหลัง อัตราการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งควบคุมโดยการปรับเวลา



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง

การทำงานของระบบเริ่มโดยการเปิดอุปกรณ์ให้ ความร้อนและพัดลม รอจนกระทั่งอุณหภูมิของระบบเท่ากับ ที่ต้องการอบแห้งจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ถาด เข้าห้องอบแห้ง อาการร้อนจะไหพล่านห้องอบแห้งในแนว ตั้งจากกับวัสดุ อบแห้งกลัวแห้งให้เหลือความชื้นประมาณ ร้อยละ 4 d.b.

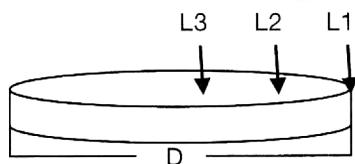
### 2.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลองใช้กลัวทอมทองระยะสูกที่ 5 ชีว พิจารณาได้จากลักษณะเปลือกเป็นลีเหลืองแต่ปลายยังเป็นลี เชียว ปอกเปลือกแล้วทิ้งตามขวางด้วยเครื่องหั่นกำหนด ความหนาไว้ที่ 3 มิลลิเมตร แซ่ด้วยสารละลายกรดแมสคอร์ บิกเข้มข้น 0.1% w/v 1 นาที [3] นำมาอบด้วยอาการร้อน

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

### 2.2.1 การทดสอบการหดตัว

ในการทดสอบการหดตัวของกลัวยแผ่น จะวัดทางด้านความหนาด้วย Caliper ซึ่งจะทำการวัดที่ระยะต่างๆเป็นจำนวน 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2 โดยใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง และวัดเลี้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนีย (vernier) โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 2 การวัดการหดตัวของกลัวยแผ่น

### 2.2.2 การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์สีของกลัวยแผ่นวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น ColorFlex

สีของกลัวยแผ่นวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น ColorFlex สีของกลัวยแผ่นแสดงในเทอมของตัวแปร 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  $b^*=1.84$  ในการวัดสีจะใช้จำนวนตัวอย่างกลัวย 10 ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างวัด 3 ครั้ง

### 2.2.3 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสทั้งการอบแห้งทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.XT.Plus

ค่าความถูกต้อง  $\pm 0.001$  N โดยจะทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด โดยใช้หัวกดชนิดหัวตัด และความเร็วในการกด 2 mm/s โดยกดจนกระทั่งกลัวยแผ่นแตกออกจากกัน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกลัวยแผ่นพิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) จำนวนยอด (Number of Peaks) ที่มีค่า Threshold force ตั้งแต่ 30 g ขึ้นไป และความชันเริ่มต้น (Initial Slope) ในการทดสอบคุณภาพเนื้อสัมผัส จะใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 10 ตัวอย่าง

### 2.2.4 การแยกสารระเหยง่ายจากตัวอย่าง

การหาสารประกอบที่ระเหยง่าย ทำได้โดยนำกลัวยสด 5 g บดให้เป็นเนื้อเดียวกันผสมน้ำกลั่น 5 ml ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 20 ml ที่มีสารละลาย internal standard ที่ประกอบไปด้วย caproic acid ethyl ester 0.2  $\mu$ l ใน methanol 0.1% (v/v) ส่วนกลัวยแผ่นอบแห้งใช้ 1 g บดให้ละเอียด ผสมกับน้ำกลั่น 9 ml ใส่ลงในขวดแก้วที่มีสารละลาย internal standard จากนั้นปิดด้วย silicone Teflon-lined septum ใช้ส่วนเชื้อมของ Solid-Phase Microextraction (SPME) ที่ภายในเข้มมีเลี้นไขของสาร Carboxen/Polydimethylsiloxen (PDMS) ความเข้มข้น 85  $\mu$ l เจาะลงบน septum ให้อยู่เหนือตัวอย่างจากนั้นกวนตัวอย่างด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic bar) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C เพื่อทำการดูดซับสารจากนั้นนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC-MS [4]

### 2.2.5 การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยง่าย

การวิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยง่ายจะวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโบทกราฟรุ่น HP 6890 ต่อ กับเครื่องตรวจวัดแบบแม่ลีซีเลคทิฟรุ่น HP 5973 บริษัท HEWLETT คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกสารประกอบระเหยง่าย เป็นชิลิกาแคนบิลารีคอลัมน์ชนิด HP-5 ที่มีขนาดความยาว 30 เมตร เลี้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 mm ความหนาของฟิล์ม 0.25  $\mu$ m นำ SPME ที่ดูดซับสารประกอบที่ระเหยง่ายเจาะลงบน injector port ที่มีอุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการคายชับสาร ส่วนระบบที่ใช้ในการนำสารเข้าคอลัมน์เป็นแบบ split โดยปริมาตรสารเข้าคอลัมน์ 1 ส่วน ในปริมาณสารทั้งหมด 10 ส่วน อุณหภูมิของคอลัมน์ที่ใช้

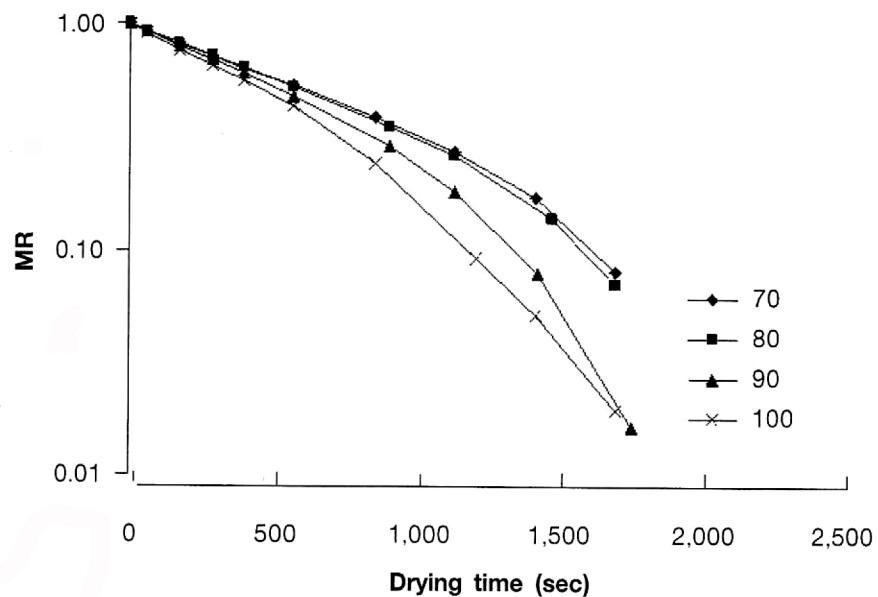
ตอนเริ่มต้นอยู่ที่  $40^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิคอลัมน์เป็น  $120^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตรา  $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$  และหลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิคอลัมน์ด้วยอัตรา  $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$  จนคอลัมน์มีอุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  คงที่อุณหภูมิไว้เป็นเวลา 11 นาที แก๊สที่ใช้ในการพาสารเข้าคอลัมน์คือไฮเลียมโดยใช้อัตราการไหล  $1 \text{ ml}/\text{min}$

### 3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

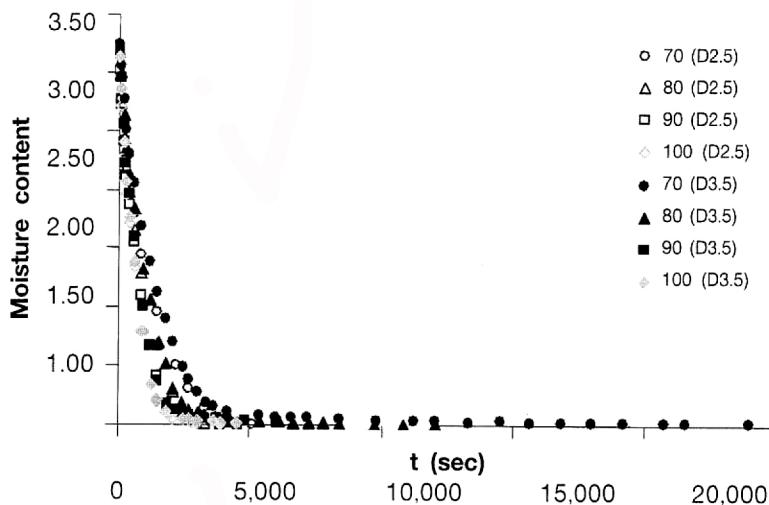
#### 3.1 ผลกระทบศาสตร์การอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งกับลักษณะแห้งแบบตัวอย่าง ร้อนสามารถทราบความชื้นได้โดยการซึ่งมวลของตัวอย่างขณะอบแห้งที่เวลาต่างๆ พบร่วมในช่วง 60 นาทีแรกของการอบแห้ง ความชื้นของกับลักษณะแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นสูงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการถ่ายเทมวลของความชื้นจากภายในชั้นกับลักษณะแห้งที่ผิวกล้ำยและ

ระเหยไปสู่อากาศ หลังจากนั้นความชื้นของชั้นตัวอย่างเหลืออยู่น้อยทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในชั้นกับลักษณะแห้งลดลง จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น กับเวลาไม่ลักษณะไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าสัมประสิทธิ์การแพร์ประสาทวิผลเป็นฟังก์ชันกับความชื้น นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของกับลักษณะแห้งได้เร็วกว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากความแตกต่าง ของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนกับลักษณะแห้ง ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิสูงมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนจึงมีค่าสูงกว่า ทำให้ความแตกต่างของ อุณหภูมิตั้งกับลักษณะแห้งน้ำได้เร็วกว่า มีระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $70, 80, 90$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 4 d.b. เท่ากับ 400, 190, 100 และ 75 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นกับลักษณะแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ (ความเร็วลม  $1.3 \text{ m/s}$ )



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

จากรูปที่ 4 พบร่วมกันว่า เมื่อเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 3.5 เป็น 2.5 เซนติเมตร การเปลี่ยนแปลงอัตราความชื้นของกลัวยแผ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกันนี้ค่าไม่แตกต่างกันแสดงว่าความชื้นมีการแพร่ทั่วทั้งตัวร้อนมาก น้อยมาก จากผลที่ได้แสดงว่าการแพร่ความชื้นอยู่ในทิศทางตามความหนา

เทียบกับทางด้านความหนาดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นการแพร่ความชื้นของกลัวยแผ่นในรูปของล้มประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิ์ผล (Effective diffusion coefficient) จะพิจารณา รูปทรงของกลัวยแผ่นมีลักษณะเป็นแผ่นแบบซึ่งกว้างและยาวมาก (infinite slab) การถ่ายเทความชื้นและการหดตัวเกิดขึ้นในทิศทางความหนาเพียงทิศทางเดียว

ในกรณีที่ทำการทดลองระหว่าง In MR กับเวลา ได้กราฟเป็นเส้นตรงแสดงว่าค่าล้มประสิทธิ์การแพร่ของความชื้นไม่เป็นฟังก์ชันกับความชื้น การเปลี่ยนแปลงความชื้นสามารถอธิบายด้วยสมการที่ 1 [5]

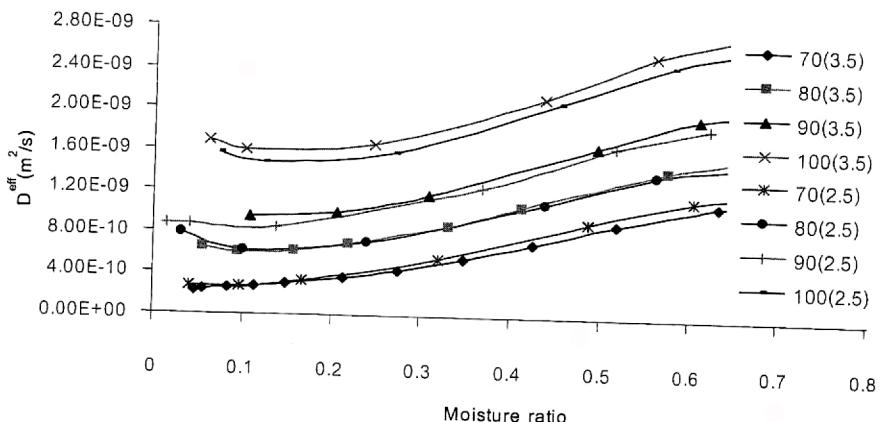
$$MR = \frac{M(t) - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - \frac{(2n+1)^2 \pi^2 D^{eff} t}{4L^2} \right] \quad (1)$$

เมื่อ  $D^{eff}$  คือค่าล้มประสิทธิ์การแพร่ความชื้น ประสิทธิ์ผล ( $m^2/s$ ) MR คืออัตราส่วนความชื้น  $M(t)$   $M_{eq}$  และ  $M_0$  เป็นความชื้นเฉลี่ยในเวลาใดๆ ความชื้นสมดุล และความชื้นเริ่มต้น (อ้างอิงมวลแห้ง) ตามลำดับ L คือความหนาของกลัวยครึ่งแผ่น (m)

ในกรณีที่กราฟไม่เป็นเส้นตรง แสดงว่าล้มประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเป็นฟังก์ชันกับความชื้น การคำนวณหาค่าล้มประสิทธิ์การแพร่ที่匹配ตามความชื้นนั้นจะใช้วิธีการของความชื้น (Karathanos et al., 1990) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองและอัตราการอบแห้งทางทฤษฎี ณ ความชื้นเดียวกัน แสดงดังสมการ (2)

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

เมื่อ  $Fo$  คือ the Fourier number ( $Fo = D_{eff} t/L^2$ ) และ  $MR$  คือ อัตราส่วนความชื้นของกลั่วyang แห่งทマイเทต สำหรับความหนาของแผ่นกลั่ว ( $L$ ) จะเป็นความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้น



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลของกลั่วyang ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

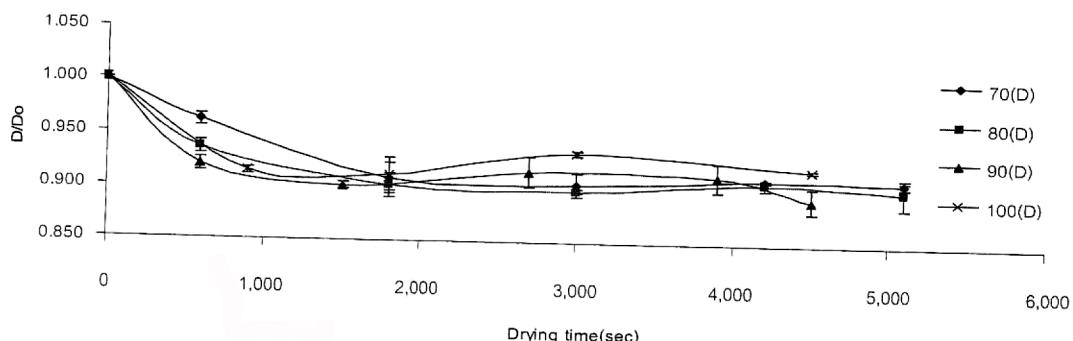
รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กับความชื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางของกลั่วyang เท่ากับ 3.5 และ 2.5 เซนติเมตร พนว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลของกลั่วyang แห่งขึ้นอยู่กับความชื้น และอุณหภูมิ การอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลจะลดลงเมื่อ ความชื้นลดลง เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลสูงขึ้น สำหรับผลเส้นผ่านศูนย์กลางของกลั่วyang แห่งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประลิทิผลพบว่ามีค่าน้อย

### 3.3 คุณภาพของกลั่วyang แห่งหลังการอบแห้ง

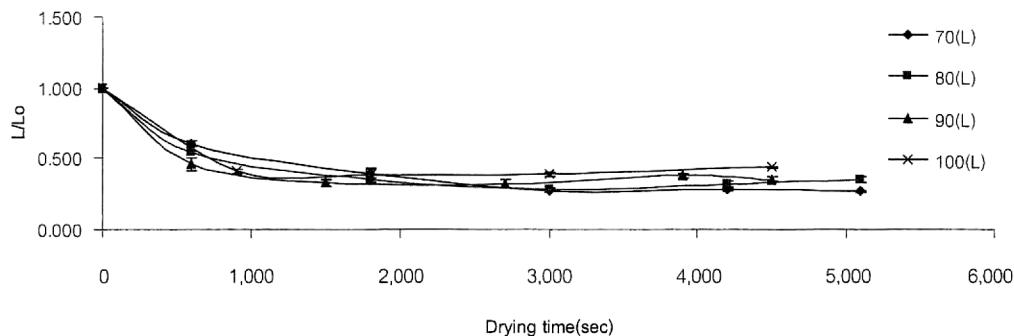
#### 3.3.1 การทดสอบตัวของกลั่วyang แห่ง

การทดสอบตัวของกลั่วyang แห่งหลังการอบแห้ง

นั้นเป็นผลเนื่องมาจากการร้อนของตัวกล่องของการอบแห้งที่กลั่วyang แห่งได้รับขณะทำการอบแห้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้ง และส่งผลให้เกิดความเครียดขึ้นภายในวัสดุ ทำให้กลั่วyang แห่งเพี้ยบย่นและมีปริมาตรลดลง การสูญเสียน้ำทำให้เซลล์ของกลั่วyang แห่งตัวจากผิวนอก โดยบริเวณขอบของกลั่วyang แห่งเป็นส่วนที่แข็งจะคงสภาพไว้ และจะเวลาไปบริเวณรอบๆ จุดศูนย์กลางซึ่งเป็นส่วนที่เนื้อกลั่วย่อนกว่าส่วนที่เป็นขอบ กลั่วyang เป็นอาหารที่มีน้ำมากจึงเกิดการหดตัวบีบเบี้ยวได้มาก ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ซึ่งพบว่ากลั่วyang มีการหดตัวเมื่อความชื้นลดลง โดยทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางจะหดตัวประมาณ 10% ส่วนทางด้านความหนาเมื่อการหดตัว 60% เมื่อทำการลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้นจนเหลือร้อยละ 4 d.b.



รูปที่ 6 การทดสอบตัวของกลั่วyang แห่งทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ



รูปที่ 7 การทดสอบของกลั่วยแผ่นทางด้านความหนาที่อุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงผลของการวัดการหดตัวของกลั่วยแผ่นหลังการอบแห้งพบว่ากลั่วยแผ่นมีการหดตัวมากเมื่อทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง และมีการหดตัวน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากการกลั่วยแผ่นที่อบแห้งภายใต้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการอบแห้งที่รวดเร็ว

น้ำที่อยู่ที่ผิวของกลั่วยแผ่นจะระเหยไปอย่างรวดเร็วทำให้ผิวที่อยู่ข้างนอกแห้งและเกิดการแข็งตัวที่ผิว ซึ่งการแข็งตัวริผิวนี้จะช่วยรักษาสภาพรูปทรงและปริมาตรของกลั่วยแผ่นไม่ให้มีการหดตัวมาก นอกจากนี้จากตารางที่ 1 พบว่ากลั่วยแผ่นมีการหดตัวทางด้านความหนามากกว่าทางด้านรัศมีเนื่องจากการระเหยของน้ำส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ทางรัศมี

ตารางที่ 1 เบอร์เซ็นต์การหดตัวของกลั่วยหลังการอบแห้งทางด้านเลันผ่านศูนย์กลาง (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 สีของกลั่วยแผ่น

สำหรับการอบแห้งกลั่วยแผ่นที่ได้หลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 - 100 °C เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะพบว่าที่อุณหภูมิ 90 °C กลั่วยแผ่นโดยรวมแล้วเริ่มจะมีสีน้ำตาลปราบูนและมีสีน้ำตาลค่อนข้างแดงที่อุณหภูมิ 100 °C สีของกลั่วยตัวอย่างไม่ค่อยสม่ำเสมอโดยมีความอ่อน-เข้มที่แตกต่างกันซึ่งสีน้ำตาลเข้มที่สุดบริเวณรอบจุดศูนย์กลางของกลั่วยเนื่องจากบริเวณนี้มีปริมาณน้ำตาลมากกว่าบริเวณอื่น จากการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 - 90 °C สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แตกต่างกันโดยดูจากค่าในเทอมของตัวแปร L และ a แต่จะเริ่มมีความแตกต่างโดยมีสีน้ำตาลมากขึ้นที่อุณหภูมิ 100 °C

สังเกตได้จากค่า L ที่ลดลง และค่า a ที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเทียบสีของกลั่วยแผ่นที่ได้หลังจากการอบแห้งกับสีมาตรฐาน R.H.S. Color Charts จะพบว่าสีของกลั่วยแผ่นที่ได้หลังการอบแห้ง สำหรับอุณหภูมิการอบแห้งที่ 100 °C จัดอยู่ในกลุ่ม GREYED-ORANGE 163C โดยที่สีน้ำตาลเข้มมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนั้นอิทธิพลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ แม้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าปกติ และ GREYED-YELLOW 162C สำหรับอุณหภูมิการอบแห้งที่ 70 และ 80 °C ส่วน 90 °C อยู่ในกลุ่ม GREYED-YELLOW 162B

### ตารางที่ 2 สีของกล้วยแพ่นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

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

หมายเหตุ : อัตราที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

### 3.3.3 เนื้อสัมผัสของกล้วยแพ่น

คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแพ่นจะพิจารณาจากค่าความแข็ง จำนวนยอด ซึ่งจำนวนยอดและค่าความชันเริ่มต้น จะแสดงถึงความกรอบของอาหาร หากมี

จำนวนยอดมากและความชันเริ่มต้นมากก็แสดงว่าผลิตภัณฑ์ มีความกรอบมาก 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 <sup>b</sup>	18.00±6.00 <sup>ab</sup>	9.24±4.57 <sup>a</sup>
90	41.31±22.49 <sup>c</sup>	18.00±4.00 <sup>ab</sup>	9.39±9.87 <sup>a</sup>
100	24.49±4.09 <sup>c</sup>	20.00±3.00 <sup>b</sup>	9.23±5.35 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : อัตราที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%  
N/A หมายถึง ไม่ข้อมูลการทดลอง

จากการที่ 3 แสดงค่าความแข็ง จำนวนยอด และความชันเริ่มต้นหลังการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิการอบแห้งมีแนวโน้มว่าไม่มีผลต่อความกรอบโดยลักษณะได้จากการจำนวนยอด และความชันเริ่มต้นที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% แต่มีผลต่อความแข็งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าให้ค่าความแข็งน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับที่อุณหภูมิ 70 °C ไม่สามารถหาค่าได้เนื่องจากความชันของกล้วยแพ่นมากกว่าร้อยละ 4 d.b.

### 3.3.4 สารประกอบที่ระเหยง่าย

ในกล้วยหอมมีสารประกอบที่ให้กลิ่นอยู่มากโดยส่วนมากสารประกอบที่พบคือ ester, alcohols และ carbonyls โดยสารประกอบที่ระเหยง่ายที่สุดใจที่จะวิเคราะห์ ทางด้านปริมาณในงานวิจัยนี้เป็นสารประกอบพวง ester ประกอบด้วย Isoamyl acetate, Isobutyl butanoate และ Butyl butyrate

**ตารางที่ 4 พื้นที่พีคของกลิ่นสดและกลิ่นแผ่นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ**

Temperature (°C)	Peak area of volatile compound					
	Isoamyl acetate ( $\times 10^5$ )		Isobutyl butanoate ( $\times 10^5$ )		Butyl butyrate ( $\times 10^5$ )	
	Fresh banana	Dried banana	Fresh banana	Dried banana	Fresh banana	Dried banana
70	40.67 $\pm$ 9.07	16.86 $\pm$ 4.23 <sup>b</sup>	53.99 $\pm$ 8.44	52.02 $\pm$ 4.67 <sup>b</sup>	52.99 $\pm$ 6.34	42.82 $\pm$ 6.76 <sup>ab</sup>
80		25.66 $\pm$ 4.07 <sup>c</sup>		40.53 $\pm$ 6.51 <sup>b</sup>		48.86 $\pm$ 7.61 <sup>b</sup>
90	9.15 $\pm$ 4.19	2.45 $\pm$ 1.96 <sup>a</sup>	11.41 $\pm$ 2.18	8.86 $\pm$ 2.07 <sup>a</sup>	27.83 $\pm$ 4.28	29.45 $\pm$ 7.87 <sup>a</sup>
100		6.07 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>		8.41 $\pm$ 1.82 <sup>a</sup>		39.73 $\pm$ 3.92 <sup>ab</sup>

ตารางที่ 4 แสดงพื้นที่พีคของสารประกอบที่ระเหยง่ายของกลิ่นแผ่นระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พนบว่าสารประกอบที่ระเหยง่ายแต่ละชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกันโดย isoamyl acetate ซึ่งเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลเล็กเมื่อเทียบกับ isobutyl butanoate และ butyl butyrate ทำให้อัตราการแพร่ของสารตั้งกล่าวเร็วจึงเป็นผลให้สารระเหยง่าย isoamyl acetate มีปริมาณการสูญเสียมากที่สุดขณะที่ isobutyl butanoate และ butyl butyrate มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของสารระเหยง่ายในกลิ่นสด

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

#### 4. สรุป

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารประกอบที่ระเหยง่าย และคุณภาพทางกายภาพในกลิ่นแผ่นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการลดความชื้น การลดตัว สี สารประกอบที่ระเหยง่ายโดย

อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของกลิ่นแผ่นได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าคุณภาพทางด้านการลดตัวพบว่ากลิ่นแผ่นมีการลดตัวทางด้านความหนามากกว่าทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกล่าวมีการลดตัวน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ลีขของกลิ่นแผ่นหลังการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงเป็นสีน้ำตาลเข้มซึ่งสังเกตได้จากค่าความสว่าง (L) ค่าความเหลือง (b) ที่ลดลง และค่าความแดง (a) ที่เพิ่มขึ้น สารประกอบระเหยง่าย butyl butyrate และ isobutyl butanoate ยกเว้น Isoamyl acetate ไม่ได้ออกการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิอบแห้ง ล้วนเนื้อสัมผัสของกลิ่นพบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าชันเริ่มต้นและจำนวนยอดของกลิ่นแผ่นหลังการอบแห้งแต่มีผลต่อความแข็งโดยอุณหภูมิสูงให้ค่าความแข็งน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ

#### 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.