

## สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดสาคุ

อัมพวัน ตันสกุล<sup>1</sup> ศักรินทร์ ภูมิรัตน์<sup>2</sup> และ ชยานินทร์ พัวพันธุมา<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

### บทคัดย่อ

จากการที่มีโอกาสเยี่ยมชมโรงงานเม็ดสาคุพบว่าแม่โรงงานเหล่านี้มีเทคโนโลยีการผลิตที่คล้ายคลึงกัน แต่ผลิตภัณฑ์เม็ดสาคุกลับมีคุณภาพที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดสาคุขนาดเล็กและใหญ่จากแหล่งต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพ โดยนำตัวอย่างเม็ดสาคุจากโรงงานผู้ผลิต 7 แห่งมาทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ความกลม ความเป็นทรงกลม และความหนาแน่น สมบัติทางเคมีที่ศึกษาได้แก่ ความชื้น ปริมาณเจลาตินในซ์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการศึกษพบว่าเม็ดสาคุที่นำมาศึกษาจากแหล่งต่างๆ มีความแตกต่างกันทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติทางเคมีของสาคุเม็ดใหญ่มีความแตกต่างจากสาคุเม็ดเล็กอย่างเห็นได้ชัด อันเนื่องมาจากปริมาณเจลาตินในซ์ที่มากกว่า แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอน gelatinization มีผลต่อสมบัติดังกล่าว

คำสำคัญ : เม็ดสาคุ / แป้งมันสำปะหลัง / สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

<sup>3</sup> นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

## Physico-chemical Properties of Cassava Pearl

Ampawan Tansakul <sup>1</sup> Sakarindr Bhumiratana <sup>2</sup> and Chayanin Puapuntuma <sup>3</sup>

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok, 10140

---

### Abstract

Referring to the visiting of cassava pearl factories, it was observed that all factories possess the similar technology but the quality of the products are quite different. Therefore, it was very interesting to investigate the products backward to the process in order to understand how the process affects the physical and chemical properties of the cassava pearls. This understanding is expected to be very useful for the improvement of the process which will fulfil the quality control and quality improvement purposes. This research studied the physico-chemical properties of both small and large sizes of cassava pearls. The samples of cassava pearls were taken from seven factories in Thailand. The physical properties, i.e., roundness, sphericity and density together with the chemical properties, i.e., moisture content, gelatinized content and pH were investigated. It was found that the physico-chemical properties of cassava pearl from different sources were varied. Especially, the chemical properties of large-sized cassava pearl were obviously different from those of small-sized one due to the gelatinized content. This implies that the manufacturing process of cassava pearl, especially during gelatinization affects these properties.

**Keywords :** Cassava Pearl / Tapioca Starch / Physico-chemical Properties

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Food Engineering.

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Chemical Engineering.

<sup>3</sup> Graduate Student, Department of Food Engineering.

## 1. บทนำ

สาकु จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย เพราะมีตลาดที่รองรับอย่างกว้างขวางและเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมากในต่างประเทศ ที่ผ่านมาสาคูจัดได้ว่าเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศปีละหลายร้อยล้านบาท และคาดว่าเมื่ออัตราการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มของจำนวนประชากรโลก โดยมีลูกค้ารายใหญ่ได้แก่ บังกลาเทศ ศรีลังกา และฮ่องกง เป็นต้น สาคุนอกจากได้รับความนิยมบริโภคเป็นอาหารหลักในบางประเทศแล้ว สาคุยังสามารถเป็นส่วนประกอบของอาหารสำหรับผู้ป่วยและเด็กอ่อนได้อีกด้วย

แต่เดิมเม็ดสาคุผลิตจากแป้งของต้นปาล์มชนิดหนึ่ง (*Metroxylon* sp.) [1] นำมาผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นเม็ดแล้วทำให้แห้ง แต่เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบมีจำนวนน้อยลงทุกปีและมีเฉพาะในบางพื้นที่เท่านั้น เช่น ในบางจังหวัดทางภาคใต้ของประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย พืชชนิดนี้มีระยะเวลาเพาะปลูกนาน 8-10 ปี ดังนั้นในระยะต่อมาจึงมีการนำแป้งมันสำปะหลังเข้ามาแทนที่แป้งที่ได้จากต้นสาคุ

ในปัจจุบันเม็ดสาคุที่วางขายในท้องตลาดเป็นผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) [2] ขั้นตอนทั่วไปในการทำเม็ดสาคุเริ่มจากการเตรียมแป้งโดยการเทแป้งลงในบ่อที่เตรียมไว้แล้วปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นทำให้ก้อนแป้งแตกเป็นผงก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดทรงกลมขนาดเล็ก แล้วคัดขนาดและผ่านการให้ความร้อนเพื่อทำให้เกิดเจลาตินไนซ์ (gelatinization) เคลือบเม็ดสาคุ แล้วลดอุณหภูมิก่อนนำไปทำแห้ง

เป็นที่ทราบกันดีว่ามันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่ประสบกับภาวะราคาตกต่ำอันเนื่องมาจากผลของปริมาณที่มากเกินความต้องการของตลาด ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ก็คือ ส่งเสริมให้มีการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังในรูปแบบอื่นๆ ให้มากยิ่งขึ้น เช่น การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมอาหารในรูปแบบต่างๆ แต่พบว่ายังมีอยู่น้อยโดยเฉพาะเม็ดสาคุ เนื่องจากปัญหาที่พบในปัจจุบันคือขาดข้อมูลขั้นพื้นฐาน การรวบรวมความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงทำให้ความนิยมของผู้บริโภคและการพัฒนาสาคุในรูปแบบใหม่ๆ ยังอยู่ในวงจำกัด ที่ผ่านมากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเม็ดสาคุจากแป้งมันสำปะหลังมีอยู่น้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยที่ศึกษาสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง ทำให้ไม่แน่ใจว่าจะนำมาเทียบเคียงกับสมบัติของเม็ดสาคุจากแป้งมันสำปะหลังได้หรือไม่ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาหาความสัมพันธ์ของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเม็ดสาคุเพื่อประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพต่อไป

อนึ่งเม็ดสาคุที่จะกล่าวถึงต่อไปในงานวิจัยนี้หมายถึงเม็ดสาคุที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเท่านั้น ไม่ใช่เม็ดสาคุที่ผลิตจากแป้งสาคุ

## 2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างและการจัดเก็บ

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาตัวอย่างสาकुทั้งขนาดเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ โดยนำตัวอย่างจากโรงงานผู้ผลิตในประเทศรวมทั้งสิ้น 7 แห่ง ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดชลบุรี 5 แห่งและอยู่ในเขตจังหวัดอุทัยธานีและนครราชสีมาตามลำดับ แต่เนื่องจากผู้ผลิต 3 แห่งในเขตจังหวัดชลบุรี มีการผลิตเฉพาะสาकुเม็ดเล็ก ดังนั้นตัวอย่างสาकुเม็ดใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยจึงนำมาได้เพียง 4 แห่ง

ตัวอย่างสาकुในงานวิจัยนี้ ผลิตจากวัตถุดิบ(แป้งมันสำปะหลัง)ชุดเดียวกัน แต่ต่างช่วงการผลิต (คนละวัน) โดยนำมาแห่งละ 4 ช่วงการผลิต เพื่อต้องการทราบความมีเสถียรภาพ (stability) ในการผลิตเม็ดสาकु ซึ่งตัวอย่างที่นำมาจาก 4 ช่วงการผลิตของแต่ละผู้ผลิต อาจมีความแตกต่างกันหรือไม่แน่นอนขึ้นกับเสถียรภาพในการผลิต

นำตัวอย่างที่ได้มาบรรจุใส่ถุงพลาสติกและเก็บในถังพลาสติกทึบอีกชั้นหนึ่ง จากนั้นนำมาคัดเลือกขนาดให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันมากยิ่งขึ้นทั้งสาकुเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ เพื่อลดผลกระทบที่อาจจะมีต่อการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมี การคัดเลือกทำโดยใช้ตะแกรง sieve ขนาด 2.36 กับ 2.8 มิลลิเมตร สำหรับสาकुเม็ดเล็ก และตะแกรง sieve ขนาด 7.0 กับ 8.0 มิลลิเมตร สำหรับสาकुเม็ดใหญ่ จากนั้นแยกถุงบรรจุและจัดเก็บในภาชนะทึบดังเดิม แล้วนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

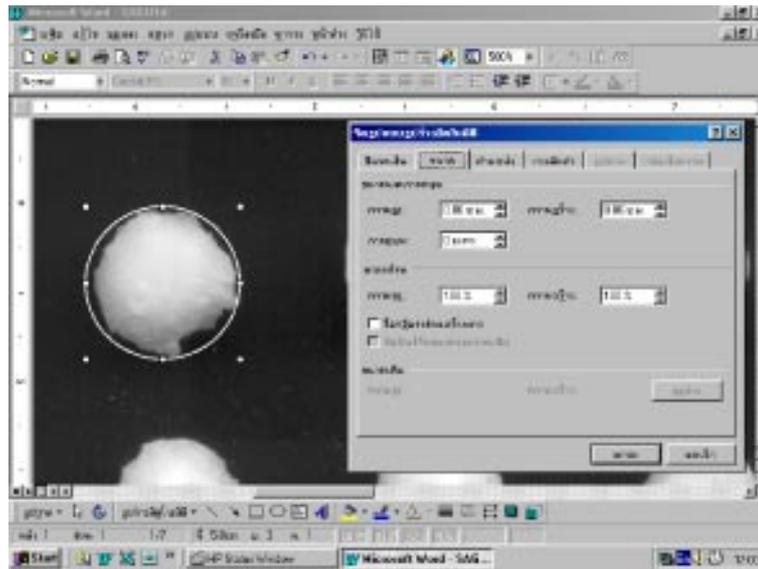
### 2.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดสาकु

สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ ความกลม (roundness), ความเป็นทรงกลม (sphericity) และความหนาแน่น (density) สมบัติทางเคมีที่ศึกษาได้แก่ ความชื้น (moisture) ปริมาณเจลาตินไนซ์ (gelatinized content) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการศึกษาทั้งหมดนี้ ศึกษาทั้งสาकुเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ในทุกสมบัติดังที่ได้กล่าวข้างต้น โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำและวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติ

#### 2.2.1 การหาความกลม [3]

ใช้เครื่อง scanner บันทึกภาพเม็ดสาकुแทนการฉายภาพลงบนพื้นผิว จากนั้นบันทึกเป็นข้อมูลรูปภาพ และใช้โปรแกรม MS.Word (รุ่น 4.3 ลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมอาหาร) ช่วยในการลากเส้นวงกลมล้อมรูปเม็ดสาकुแล้วแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง พิมพ์ผลที่ได้ด้วยขนาดขยาย 500 เท่าและนำไปวัดพื้นที่ภาพฉายโดยใช้เครื่อง Area-Curvimeter ดังรูปที่ 1 แล้วคำนวณหาค่าความกลมดังสมการที่ (1)

$$\text{ค่าความกลม} = \frac{\text{พื้นที่ภาพฉาย}}{\text{พื้นที่วงกลมที่ล้อมรอบรูป}} \quad (1)$$



รูปที่ 1 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการวัดเส้นรอบรูปเม็ดสาเก

### 2.2.2 การหาค่าความเป็นทรงกลม [3]

วัดค่า a b และ c ดังรูปที่ 2 บันทึกค่าที่ได้

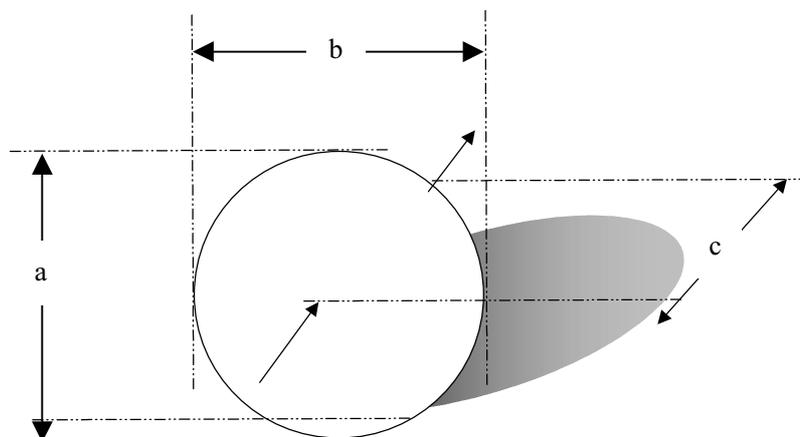
โดยที่ a คือ longest intercept

b คือ longest intercept normal to a

c คือ longest intercept normal to a and b

แล้วคำนวณหาค่าความเป็นทรงกลมดังสมการที่ (2)

$$\text{ค่าความเป็นทรงกลม} = \frac{(abc)^{1/3} \times 100}{a} \quad (2)$$



รูปที่ 2 ทิศทางแนวการวัดหาความเป็นทรงกลม

### 2.2.3 การหาความหนาแน่น [4]

นำตัวอย่างเม็ดสาकु 5 กรัม ใส่ในบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ตัวอย่างเม็ดสาकुสามารถดูดซับน้ำได้ จึงใช้ตัวกลางขนาดเล็กที่มีพฤติกรรมคล้ายของไหลแทนน้ำ ในการทดลองนี้ใช้เรซิน โดยเรซินจำนวน 25 มิลลิลิตร ผสมกับตัวอย่างเม็ดสาकुในบิวเรต บันทึกปริมาตรที่เพิ่มขึ้น แล้วคำนวณหาความหนาแน่นดังสมการที่ (3)

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (3)$$

### 2.2.4 การหาค่าความชื้น [5]

ใช้วิธีการอบด้วยตู้อบลมร้อน แล้วคำนวณหาความชื้นดังสมการที่ (4)

$$\text{ปริมาณความชื้น(ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ}-\text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100 \quad (4)$$

### 2.2.5 การหาปริมาณเจลาตินไนซ์ [6]

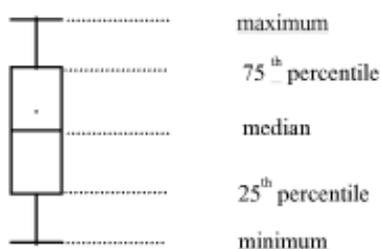
ใช้หลักการที่ว่าเจลาตินไนซ์สามารถละลายในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.2 N ได้ ขณะที่สตาร์ชดิบจะไม่ละลายจนกระทั่งความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.5 N

นำเม็ดสาकुมาบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักแบ่งตัวอย่าง 0.2 กรัม เติม 0.2 N KOH 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 15 นาที แล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ได้ให้เป็น 5.5 ด้วย 2N Phosphoric acid และปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นดูดสารละลายที่ได้ 100 ไมโครลิตร ลงใน cuvette และเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วเติม 0.1N standard iodine solution ลงไป 50 ไมโครลิตรในสารละลาย แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimadzu รุ่น UV-2101PC) ที่ 600 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐาน

### 2.2.6 การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของแป้ง

นำเม็ดสาकुมาบดให้ละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ละลายแป้งตัวอย่าง 25 กรัม ในน้ำกลั่น 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

ทั้งนี้ผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดแสดงในรูปของ box plot



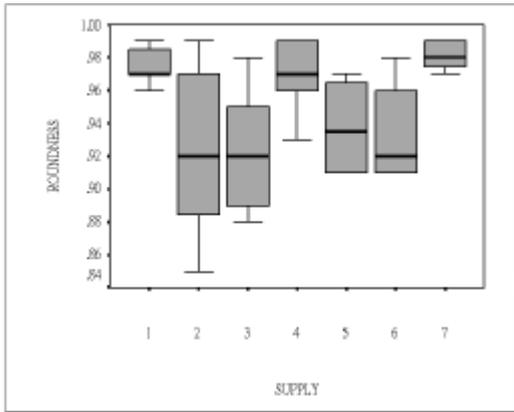
### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

#### 3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดสาคุ

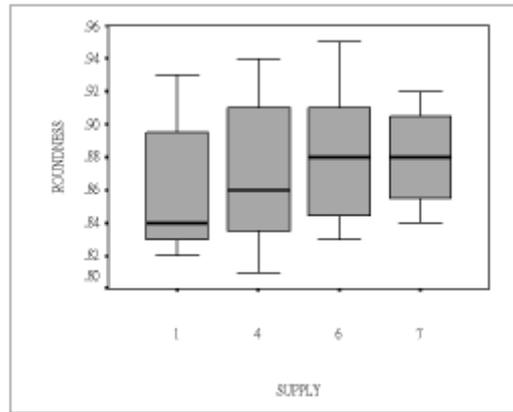
ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพทั้งสาคุเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5 รูปที่ 3 แสดงค่าความกลมซึ่งเป็นลักษณะการมองเห็นในแบบ 2 มิติ พบว่าสาคุเม็ดเล็กจากแหล่งที่ 1, 4 และ 7 มีค่าความกลมใกล้เคียงกันคือ 0.97, 0.97 และ 0.98 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าจากแหล่งที่ 2, 3, 5 และ 6 (ค่าความกลมใกล้เคียงกันคือ 0.92, 0.92, 0.93 และ 0.92 ตามลำดับ) และนอกจากจะให้ค่าความกลมที่สูงกว่าแล้ว การกระจายของข้อมูลใน box plot ยังอยู่ในช่วงที่แคบอีกด้วย ส่วนสาคุเม็ดใหญ่จากแหล่งที่มา 1, 4, 6 และ 7 มีค่าความกลมใกล้เคียงกัน คือ 0.84, 0.86, 0.88 และ 0.88 ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงค่าความเป็นทรงกลมซึ่งเป็นการวัดลักษณะรูปร่างในแบบ 3 มิติ พบว่าค่าความเป็นทรงกลมของสาคุเม็ดเล็ก จากแหล่งที่ 1, 4 และ 7 จัดได้ว่ามีค่าความเป็นทรงกลมสูงอยู่ในระดับใกล้เคียงกันคือ 98.36, 97.78 และ 98.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสาคุจากแหล่งที่ 6 มีค่าต่ำที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดคือ 95.35 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษานี้พอจะสรุปได้ว่าความเป็นทรงกลมใช้นิยามหรือแบ่งแยกลักษณะของเม็ดสาคุที่ต้องการได้ดีกว่า และจากการวิเคราะห์ผลที่ได้ คือ แหล่งที่ 1 สามารถผลิตสาคุเม็ดเล็กได้ดีกว่าแหล่งอื่นๆ และมีเสถียรภาพในขั้นตอนการขึ้นรูปที่ดีด้วย ส่วนสาคุเม็ดใหญ่พบว่าความเป็นทรงกลมของสาคุเม็ดใหญ่จากแหล่งที่ 7 (98.35 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือจากแหล่งที่ 1, 4 และ 6 ซึ่งมีค่าความเป็นทรงกลมอยู่ในระดับใกล้เคียงกันคือ 96.73, 95.82 และ 95.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ภาพ box plot พบว่า เม็ดสาคุจากแหล่งที่ 6 มีเสถียรภาพในการขึ้นรูปดีกว่าจากแหล่งที่ 1 และ 4 จากแหล่งที่ 7 สามารถผลิตสาคุได้ดีกว่าจากแหล่งที่ 1, 4 และ 6 แต่แหล่งที่ 6 ถึงแม้การผลิตเม็ดสาคุที่ได้มีค่าความเป็นทรงกลมต่ำของทั้งเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่แต่ก็มีเสถียรภาพสูง แสดงให้เห็นว่ามีการควบคุมการผลิตที่ดี แต่วิธีการที่ใช้ในการผลิตทำให้ได้ค่าต่ำ ดังนั้นหากแหล่งที่ 6 ได้รับการปรับปรุงเทคนิคการผลิตในขั้นตอนการขึ้นรูป น่าจะผลิตเม็ดสาคุที่มีค่าความเป็นทรงกลมสูงขึ้นได้

ค่าความหนาแน่นของเม็ดสาคุ ดังรูปที่ 5 พบว่า ค่าความหนาแน่นของสาคุเม็ดเล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ คือ จากแหล่งที่ 7 จะมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด (1170 กก./ม.<sup>3</sup>) รองลงมาคือจากแหล่งที่ 3, 4 และ 5 (1080, 1075 และ 1070 กก./ม.<sup>3</sup> ตามลำดับ) ระดับสุดท้ายจากแหล่งที่ 1, 2 และ 6 อยู่ในระดับที่มีค่าต่ำ (1015, 1030 และ 1010 กก./ม.<sup>3</sup> ตามลำดับ) สำหรับค่าความหนาแน่นของสาคุเม็ดใหญ่ พบว่าเม็ดสาคุจากแหล่งที่ 7 มีค่าสูงที่สุด (1085 กก./ม.<sup>3</sup>) และแตกต่างจากสาคุจากแหล่งที่ 1, 4 และ 6 (990, 1005 และ 1010 กก./ม.<sup>3</sup> ตามลำดับ) อย่างเห็นได้ชัดเจนนี้อาจเป็นเพราะทั้งสาคุเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่จากแหล่งที่ 7 มีบางขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่แตกต่างจากแหล่งอื่นๆ ที่มีผลต่อความหนาแน่นอย่างมาก เช่น เทคนิคในการขึ้นรูป หรืออุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอน gelatinization ของเม็ดสาคุ

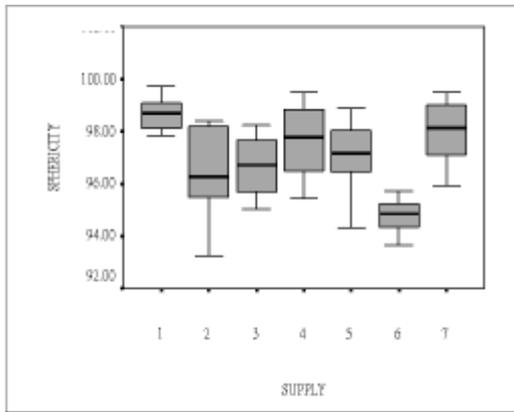


(ก)

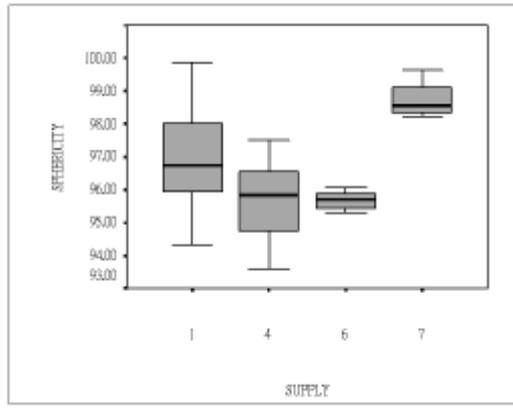


(ข)

รูปที่ 3 ผลการทดสอบความกลม (ก) สาqueเม็ดเล็ก (ข) สาqueเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ

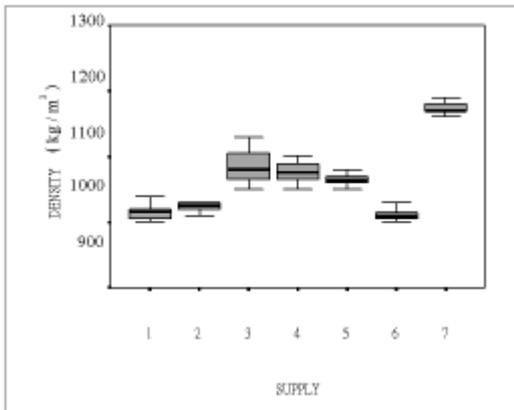


(ก)

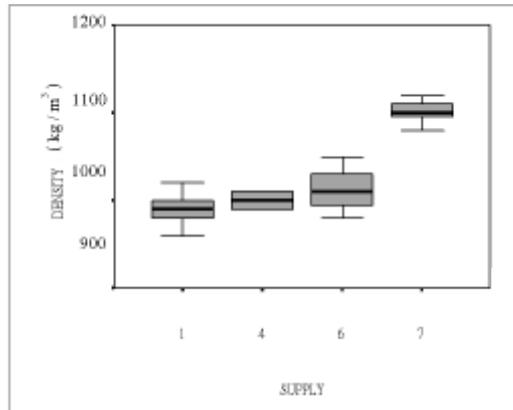


(ข)

รูปที่ 4 ผลการทดสอบความเป็นทรงกลม (ก) สาqueเม็ดเล็ก (ข) สาqueเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 ผลการทดสอบความหนาแน่น (ก) สาqueเม็ดเล็ก (ข) สาqueเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ

### 3.2 การศึกษาสมบัติทางเคมีของเม็ดสาคู

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเม็ดสาคูของทั้งเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ ได้ทำการศึกษา วัดค่าต่างๆ ดังนี้คือ ความชื้น ปริมาณเจลาตินไนซ์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลที่ได้แสดงดังในรูปที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ โดยทั่วไปค่าความชื้นที่แปรปรวนในเม็ดสาคูสามารถบ่งบอกถึงการควบคุม และระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการทำแห้งและการจัดเก็บจากแหล่งที่มาให้ได้ ซึ่งค่าความชื้น (ร้อยละของ น้ำหนักเปียก, %wb) นี้ได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐานว่าจะต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 12 (มอก.1011-2533) [2] หรือถ้านำค่าดังกล่าวมาคำนวณเป็นความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง, %db) ดังสมการที่ (5) [7] ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 13.64

$$\text{ปริมาณความชื้น(ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{ปริมาณความชื้น(น้ำหนักเปียก)}}{1-\text{ปริมาณความชื้น(น้ำหนักเปียก)}} \times 100 \quad (5)$$

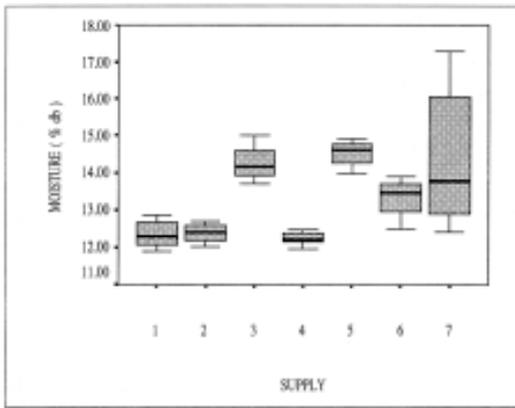
และจากการศึกษาขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตเม็ดสาคู พบว่าปริมาณเจลาตินไนซ์ที่เกิดขึ้น เป็นผลมาจากขั้นตอน gelatinization หากสาคูที่ได้มีปริมาณเจลาตินไนซ์สูงแสดงว่าผ่านขั้นตอน gelatinization เป็นเวลานาน ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของเม็ดสาคูสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำ ที่ใช้ในการผลิตเม็ดสาคูและคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังที่นำมาผลิตได้ด้วย โดยจะต้องอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนดคือ 4.0-7.0 (มอก.1011-2533) [2]

ผลการทดลองในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นของสาคูเม็ดเล็กจากแหล่งที่ 3, 5 และ 7 (14.17, 14.61 และ 13.77%db ตามลำดับ) มีค่าอยู่ในระดับที่สูงกว่าจากแหล่งที่ 6 (13.45%db) ส่วนสาคูเม็ดเล็กที่มาจากแหล่งที่ 1, 2 และ 4 มีค่าความชื้นต่ำอยู่ในระดับเดียวกัน (12.29, 12.41 และ 12.19%db ตามลำดับ) สำหรับสาคูเม็ดใหญ่พบว่า สาคูจากแหล่งที่ 4 มีค่าความชื้นอยู่ในระดับต่ำที่สุด (12.44%db) ส่วนระดับความชื้นสูงที่สุดของสาคูเม็ดใหญ่มาจากแหล่งที่ 7 (15.78%db) นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าสาคูจากแหล่งที่ 4 มีค่าความชื้นต่ำที่สุดของทั้งสาคูเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ ขณะเดียวกัน สาคูจากแหล่งที่ 7 มีค่าความชื้นสูงกว่าจากแหล่งที่ 4 ของทั้งสาคูเม็ดเล็กและสาคูเม็ดใหญ่ ผลที่ได้ แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการทำแห้งของสาคูจากแหล่งที่ 4 ใช้ระยะเวลาที่นานกว่าแหล่งที่ 7 นั่นคือ การควบคุมระดับความชื้นหรือความสม่ำเสมอในขั้นตอนการทำแห้งของสาคูเม็ดใหญ่จากแหล่งที่ 7 มีเสถียรภาพมากกว่าสาคูเม็ดเล็ก แต่สาคูเม็ดเล็กจากแหล่งที่ 4 นอกจากกระบวนการทำแห้งมีผล ทำให้ค่าความชื้นที่ต่ำกว่าแล้ว การควบคุมระดับความชื้นสามารถทำได้ดีกว่าแหล่งที่ 7 อีกด้วย

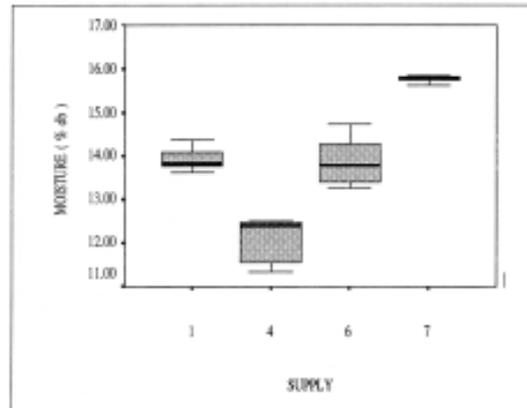
รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาปริมาณเจลาตินไนซ์ที่เกิดขึ้น พบว่าสาคูจากแหล่งที่ 4 มีปริมาณเจลาตินไนซ์น้อยที่สุดทั้งสาคูเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ (29.90 และ 39.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ส่วนปริมาณเจลาตินไนซ์มากที่สุดมาจากสาคูแหล่งที่ 6 ของสาคูเม็ดเล็ก (53.00 เปอร์เซ็นต์) และแหล่ง ที่ 7 ของสาคูเม็ดใหญ่ (77.79 เปอร์เซ็นต์) เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณเจลาตินไนซ์ในสาคูเม็ดเล็ก จากแหล่งที่ 6 ถึงแม้จะมีค่ามากที่สุดแต่ก็ยังน้อยกว่าปริมาณมากที่สุดของสาคูเม็ดใหญ่ และในทำนอง เดียวกันแม้ปริมาณเจลาตินไนซ์จากแหล่งที่ 4 มีค่าต่ำที่สุดของทั้งเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่ (29.90 และ

39.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) พบว่าเม็ดเล็กมีปริมาณเจลาตินในซ์ที่น้อยกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดที่เล็กกว่าของสาकुเม็ดเล็กทำให้การเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากความร้อนเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ซึ่งการให้ความร้อนหากเกินระยะเวลาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดการเกาะติดกันเป็นก้อน จึงทำให้ช่วงความกว้างของปริมาณเจลาตินในซ์ที่เกิดขึ้นในสาकुเม็ดเล็กมีช่วงที่แคบกว่าของสาकुเม็ดใหญ่ ระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอน gelatinization ของสาकुเม็ดเล็กจึงสั้นกว่าสาकुเม็ดใหญ่ และจากการศึกษาการกระจายของข้อมูลปริมาณเจลาตินในซ์ในรูปที่ 7 พบว่าช่วงการกระจายของปริมาณเจลาตินในซ์จากสาकुเม็ดใหญ่ภายในแต่ละ box plot จากแหล่งที่ 1, 4, 6 และ 7 มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงถึงความสามารถของกระบวนการตีเท่างๆ กันแต่จากแหล่งที่ 7 เม็ดสาकुจะได้รับปริมาณความร้อนที่สูงกว่าหรือใช้ระยะเวลาในขั้นตอน gelatinization นานกว่าจึงทำให้มีปริมาณเจลาตินในซ์สูง (77.79 เปอร์เซ็นต์) สำหรับสาकुเม็ดเล็กพบว่า จากแหล่งที่ 2 มีเสถียรภาพมากที่สุด และจากแหล่งที่ 5 มีเสถียรภาพน้อยที่สุด

สมบัติสุดท้ายที่ตรวจสอบคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือ pH ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ให้อยู่ในช่วง 4.0-7.0 (มอก. 1011-2533) [2] จากรูปที่ 8 พบว่าสาकुจากแหล่งต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ยกเว้นสาकुเม็ดใหญ่ที่มาจากแหล่งที่ 6 และ 7 มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติหัวมันสำปะหลังมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.3-6.5 เมื่อผ่านกระบวนการผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังจะมีการฟอกสีแป้งให้ขาวขึ้นด้วยการเติมสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งสารนี้หากร่างกายได้รับเป็นปริมาณมากจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงมีการควบคุมค่า pH ไว้ไม่ให้ต่ำกว่าที่ 4.0 นอกจากค่า pH ที่เป็นผลมาจากแป้งมันสำปะหลังที่นำมาใช้ในการผลิตเม็ดสาकुแล้ว ยังรวมถึงคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการผลิตเม็ดสาकुด้วย สิ่งที่น่าสังเกตจากข้อมูลที่ได้คือ สาकुที่ผลิตได้จากแหล่งเดียวกัน ค่า pH ของสาकुเม็ดใหญ่จะต่ำกว่าค่า pH ของสาकुเม็ดเล็กเสมอ เพราะเป็นผลมาจากขนาดของเม็ด สาकुเม็ดเล็กไวต่อการได้รับความร้อน โอกาสเกิดการระเหยของน้ำออกจากเม็ดสาकुน้อยกว่าจึงพาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในแป้งนั้นออกมาด้วย ซึ่งสอดคล้องกับในกระบวนการผลิตเม็ดสาकुที่ว่า ขั้นตอน gelatinization ของสาकुเม็ดเล็กใช้เวลาสั้นกว่าและเกิดกลิ่นที่รุนแรงกว่าของสาकुเม็ดใหญ่ สาकुเม็ดใหญ่การระเหยของน้ำจากใจกลางเม็ดออกสู่ภายนอกช้ากว่าขณะเดียวกันยังเกิดเจลาตินในซ์ปกคลุมล้อมรอบผิวของเม็ดสาकुนั้นอีกด้วย ทำให้การระเหยของน้ำยากขึ้นอีกปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มาจากแป้งชุดเดียวกันแต่นำมาผลิตเป็นสาकुเม็ดใหญ่จึงตกค้างในปริมาณที่สูงกว่าเม็ดเล็ก ดังนั้นค่า pH ของสาकुเม็ดใหญ่จึงต่ำกว่าค่า pH ของสาकुเม็ดเล็กเมื่อเทียบกับเม็ดสาकुที่มาจากแหล่งเดียวกัน

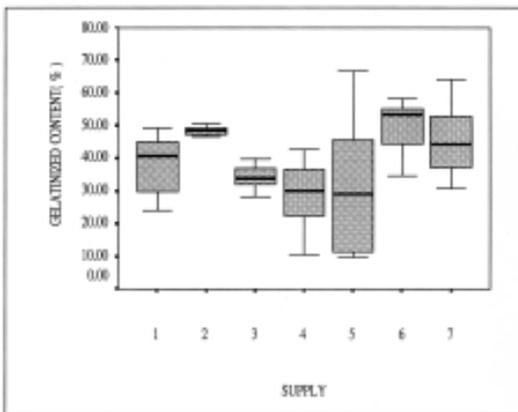


(ก)

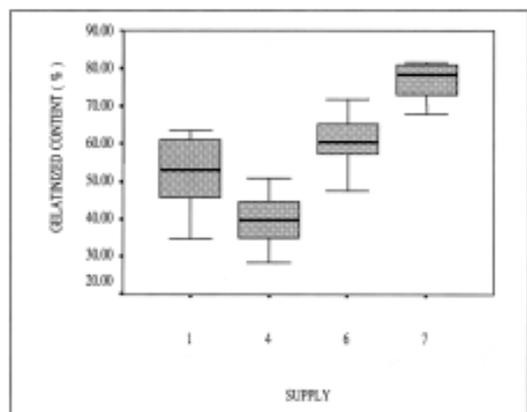


(ข)

รูปที่ 6 ผลการทดสอบความชื้น (ก) สาकुเม็ดเล็ก (ข) สาकुเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ

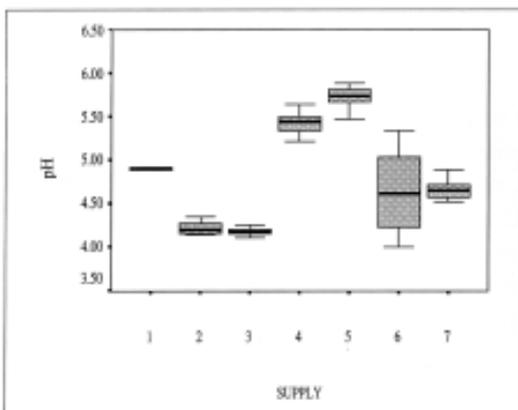


(ก)

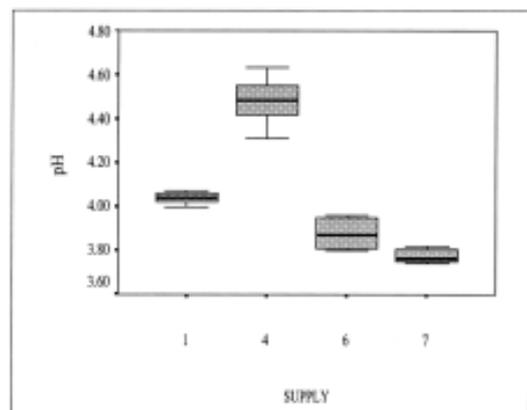


(ข)

รูปที่ 7 ผลการทดสอบปริมาณเจลาตินไนซ์ (ก) สาकुเม็ดเล็ก (ข) สาकुเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 ผลการทดสอบค่า pH (ก) สาकुเม็ดเล็ก (ข) สาकुเม็ดใหญ่ จากแหล่งที่มาต่างๆ

#### 4. สรุปผลการทดลอง

ค่าความเป็นทรงกลมใช้อธิบายลักษณะของเม็ดสาคุได้ดีกว่าค่าความกลม ในขั้นตอนการขึ้นรูปและการควบคุมการผลิต สาคุจากแหล่งที่ 6 มีเสถียรภาพการผลิตดีกว่าสาคุจากแหล่งอื่น แต่ให้ค่าความกลมและค่าความเป็นทรงกลมต่ำ สำหรับค่าความหนาแน่น สาคุเม็ดใหญ่จากแหล่งที่ 7 มีค่าสูงกว่าจากแหล่งอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณเจลาตินในซึ่ที่สูงกว่า ในกระบวนการผลิตเม็ดสาคุ ขั้นตอน gelatinization มีความสำคัญและมีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณเจลาตินในซึ่ และค่าความเป็นกรด-ด่าง การที่เม็ดสาคุได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเกิดปริมาณเจลาตินในซึ่สูง ล้อมรอบผิว ทำให้การระเหยของน้ำในขั้นตอนการทำแห้งทำได้ยาก ความชื้นจึงตกค้างอยู่สูง และเมื่อเทียบสาคุเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่จากแหล่งเดียวกัน พบว่าสาคุเม็ดใหญ่จะมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่า เป็นเพราะขนาดของเม็ดใหญ่เกิดปริมาณเจลาตินในซึ่ล้อมรอบผิวมากกว่า การระเหยของน้ำจึงเป็นไปได้ยาก สารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกสีแป้งจึงตกค้างอยู่สูงกว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสาคุเม็ดใหญ่จึงต่ำกว่าสาคุเม็ดเล็กเสมอ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม แก่โครงการนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

1. Balagopalm, C., Padmaja, G., Nanda, S. K., and Moorthy, S. N., 1988, *Cassava in Food, Feed and Industry*, New York, CRC Press, p. 205.
2. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก.1011-2533, *สาคุ (Standard for Tapioca Pearl)*, โรงพิมพ์โพสท์พับลิชชิ่ง จำกัด, 6 หน้า.
3. Mohsenin, N., 1970, *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, New York, Gordon and Branch, Science Publisher, pp. 51-87.
4. Marousis, S. N. and Saravacos, G. D., 1990, "Density and Porosity in Drying Starch Materials," *Journal of Food Science*, Vol. 55, No. 5, pp. 1367-1372.
5. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มอก.52-2516, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง*, โรงพิมพ์โพสท์พับลิชชิ่ง จำกัด, 23 หน้า.
6. Guraya, H. S. and Toledo, R. T., 1993, "Determining Gelatinized Starch in a Dry Starchy Product," *Journal of Food Science*, Vol. 58, No. 4, pp. 888-889, 898.
7. Singh, R. P. and Heldman, D. R. 1993, *Introduction to Food Engineering*, New York, Academic Press, pp. 14-15.