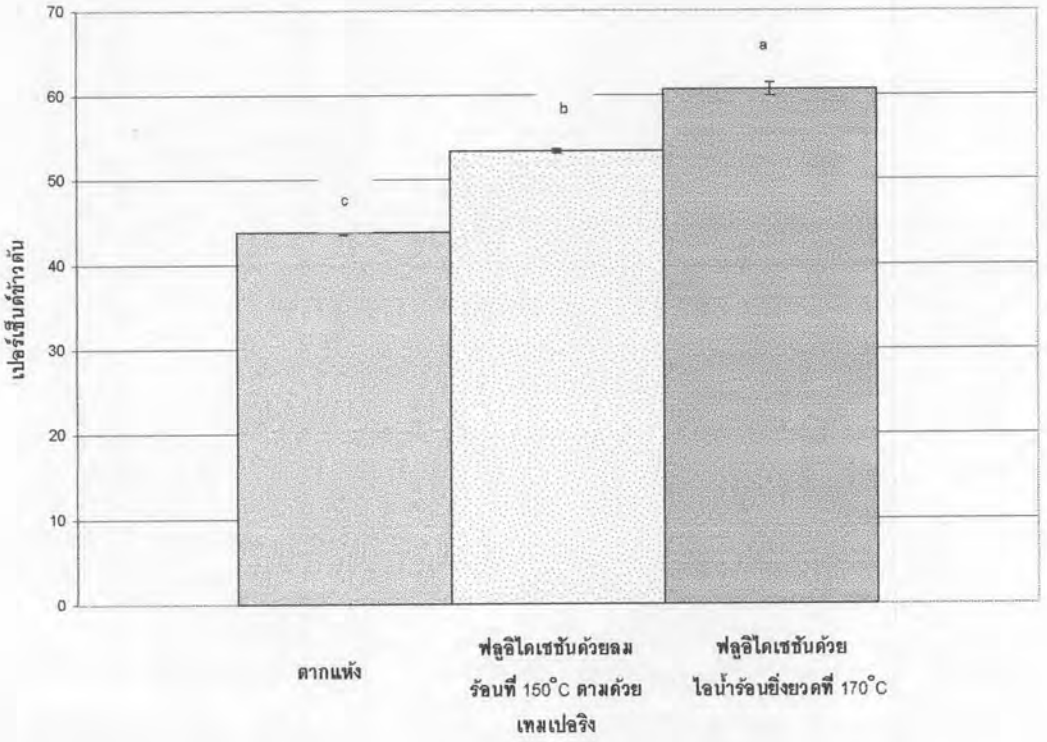
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

4.1.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

เมื่อขัดสีข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีที่ศึกษาทั้ง 3 วิธีได้ข้าวต้นและข้าวหักข้าวที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง(ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก14) และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□ 0.05) (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน
กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

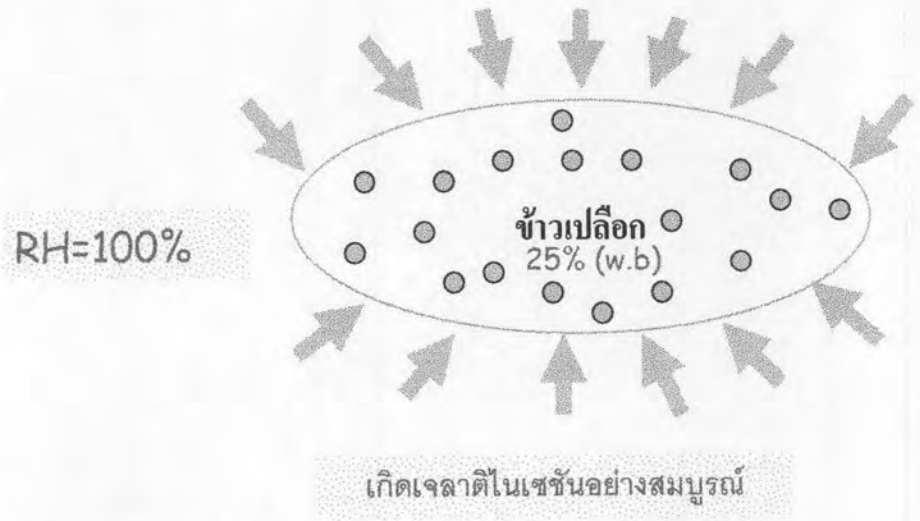
จากการตากแห้งข้าวเปลือก การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C พบว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงกว่าข้าวที่ผ่านการตากแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Trirawanichakul และคณะ (2002) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิของการอบแห้งข้าวเปลือกสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ในช่วง 40-150 °C โดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนพบว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิการทำแห้งเพิ่มสูงขึ้น และงานวิจัยของ Rordprapat และคณะ (2005) พบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่150°C และลมร้อนที่ 150°C มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงกว่าข้าวเปลือกที่ไม่ผ่านการทำแห้งหรือทำแห้งด้วยวิธีเป่าลมธรรมชาติ

ข้าวที่ผ่านการฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)คือ 60.66±0.78 % มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Taechapairoj และคณะ (2004) ที่ศึกษาลักษณะเฉพาะของข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 150 และ170°C พบว่าเมื่อลดความชื้นได้ต่ำถึง 18% (d.b) จะได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นประมาณ 60% ในระหว่างการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิค ฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ระบบมีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100% ข้าวเปลือกมีความชื้นประมาณ 25 %(w.b) ความแตกต่างระหว่างความชื้นของระบบกับความชื้นภายในเมล็ดข้าวเปลือกส่งผลให้ไอน้ำบริเวณที่มีความหนาแน่นมากแพร่ไปยังบริเวณที่มีไอน้ำหนาแน่นน้อย ทำให้เมล็ดข้าวมีความชื้นเพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ ช่วงแรกของการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกอาจเพิ่มสูงขึ้นถึงอุณหภูมิเจลาติไนเซชันได้อย่างรวดเร็ว (ประมาณ 73-86°C) (Zhouและคณะ, 2002) ในขณะเดียวกันเกิดการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำให้แก่โมเลกุลของน้ำในเมล็ดข้าว ทำให้น้ำเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าและหลุดออกไปได้ เมล็ดข้าวจึงมีความชื้นลดลง(รูปที่ 4.2) ทำให้ข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีนี้มีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง (รูปที่ 4.4) ซึ่งส่งผลให้เมล็ดข้าวมีความคงทนต่อการขัดสี ในการทดลองนี้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกที่วัดได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ประมาณ 80°C ซึ่งสูงพอที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชันได้

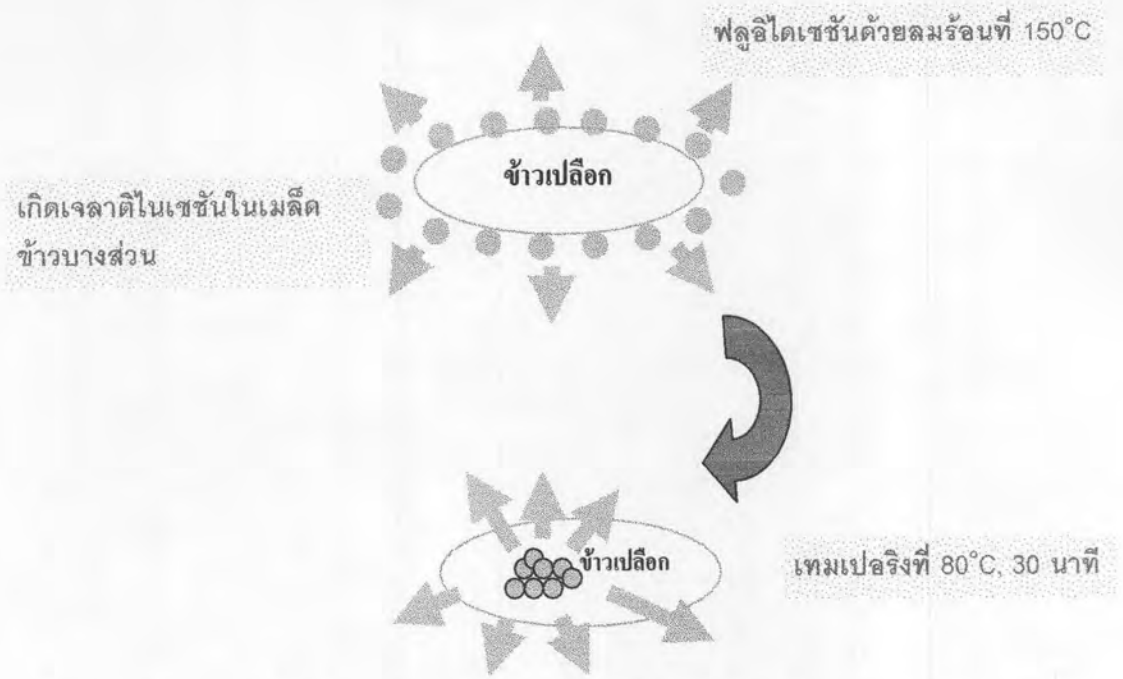
ข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงมีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงกว่าข้าวที่ผ่านการตากแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□ 0.05) ในระหว่างการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C เกิดเจลาติไนเซชันในบางส่วนของเมล็ดข้าว ทำให้เม็ดแป้งเกิดการหลอมรวมันเชื่อมรอยแตกร้าวในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เมล็ดข้าวทนต่อการขัดสี ปกติโปรตีนที่อยู่ในเมล็ดข้าวจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดแป้งของข้าว และเชื่อมโยงกับเม็ดแป้งส่งผลให้เม็ดแป้งไม่เสียรูปร่างได้ง่าย (Cagampang *et al.*, 1996) ในระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิสูง ทำ

ให้โปรตีนในเมล็ดข้าวเสียสภาพ (Ju *et al.*, 2006)จึงคลายตัวออกมาไปจับกับแอมิโลส ส่งผลให้แอมิโลสมีการรวมตัวกันทำให้รอยร้าวภายในเมล็ดข้าวเชื่อมติดกัน ข้าวจึงคงทนต่อการขัดสี เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจึงเพิ่มขึ้น (ชัยยงค์ และคณะ, 2546) และการเทมเปอร์ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ที่อุณหภูมิ 80°C น้ำที่อยู่กึ่งกลางของเมล็ดข้าวจะค่อยๆแพร่ออกมาอย่างช้าๆ (รูปที่ 4.3) เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายในเมล็ด เทมเปอริงเป็นการพักข้าวทำให้ไอน้ำภายในเมล็ดแพร่ออกมาที่ผิวของเมล็ด ทำให้อุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดที่ผิวและแกนกลางแตกต่างกันน้อยลง ความเครียดที่เกิดขึ้นในช่วงการอบแห้งน้อยลง เมล็ดข้าวจึงมีความคงทนต่อการขัดสี ทำให้ข้าวต้นเพิ่มขึ้น (ณัฐพล ภูมิสะอาด, 2540 และ Taweerattanapanish *et al.*, 1999)



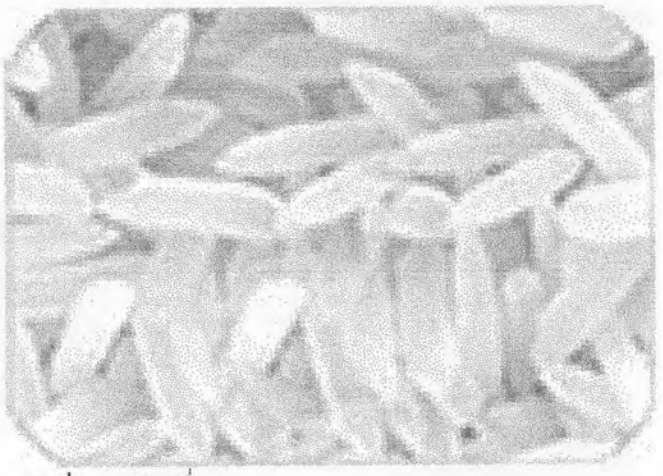
รูปที่ 4.2 กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำในเมล็ดข้าวที่อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่170°C

ที่มา:ดัดแปลงมาจาก Shibata (2000)



รูปที่ 4.3 กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำในเมล็ดข้าวที่อบแห้งโดยใช้เทคนิคเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง

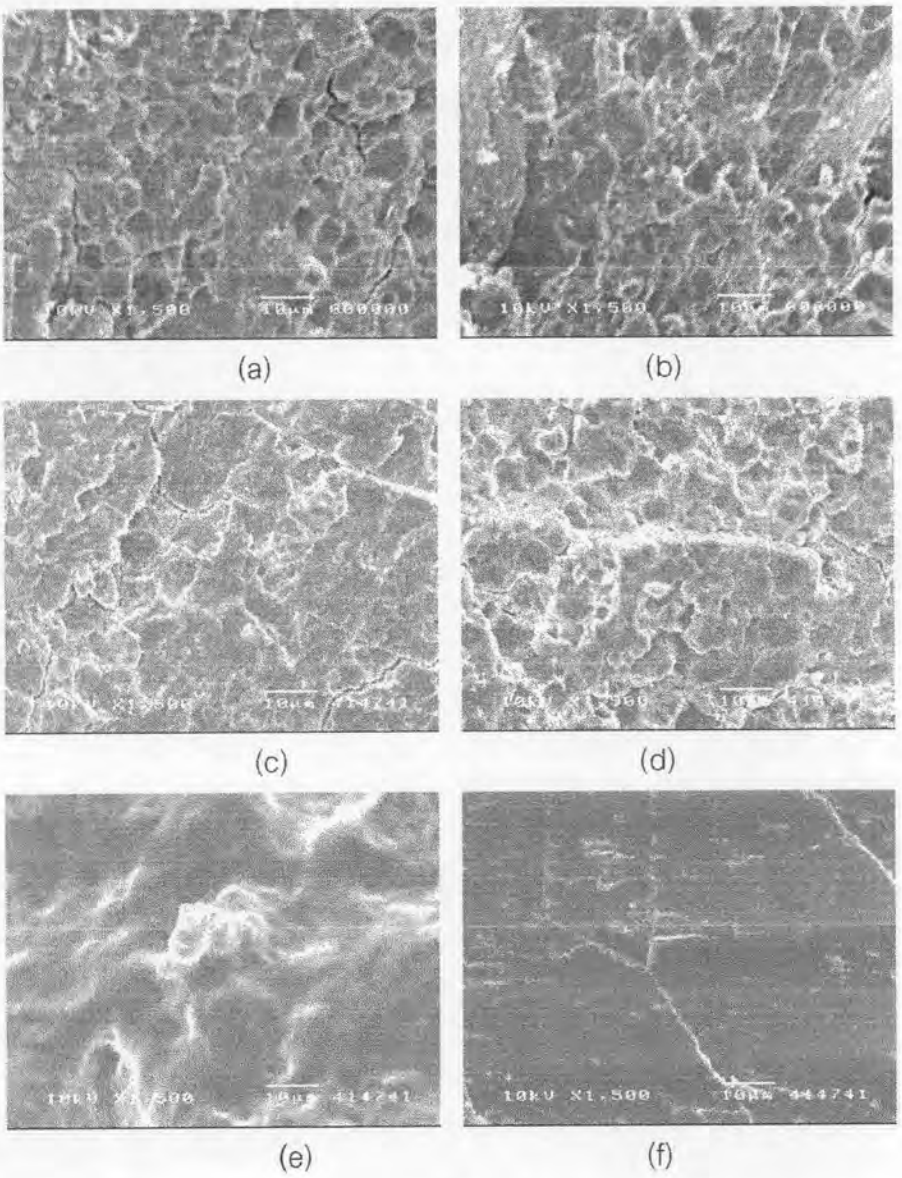
ที่มา:ดัดแปลงมาจาก Shibata (2000)



รูปที่ 4.4 ข้าวนึ่ง

ที่มา:Ponglarp company (2008)

ลักษณะการเกิดเจลาติไนเซชันบงส่วนและการหลอมรวมกันของเม็ดแป้งในเมล็ดข้าว สามารถสังเกตได้จากภาพถ่ายส่วนตัดขวางของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยวิธีที่ศึกษาทั้ง 3 วิธี โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายส่วนตัดขวางของเมล็ดข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 1,500 เท่า
(a)ข้าวต้นจากข้าวเปลือกตากแห้ง (b)ข้าวหักจากข้าวเปลือกตากแห้ง
(c)ข้าวต้นจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (d)ข้าวหักจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (e)ข้าวต้นจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (f)ข้าวหักจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C

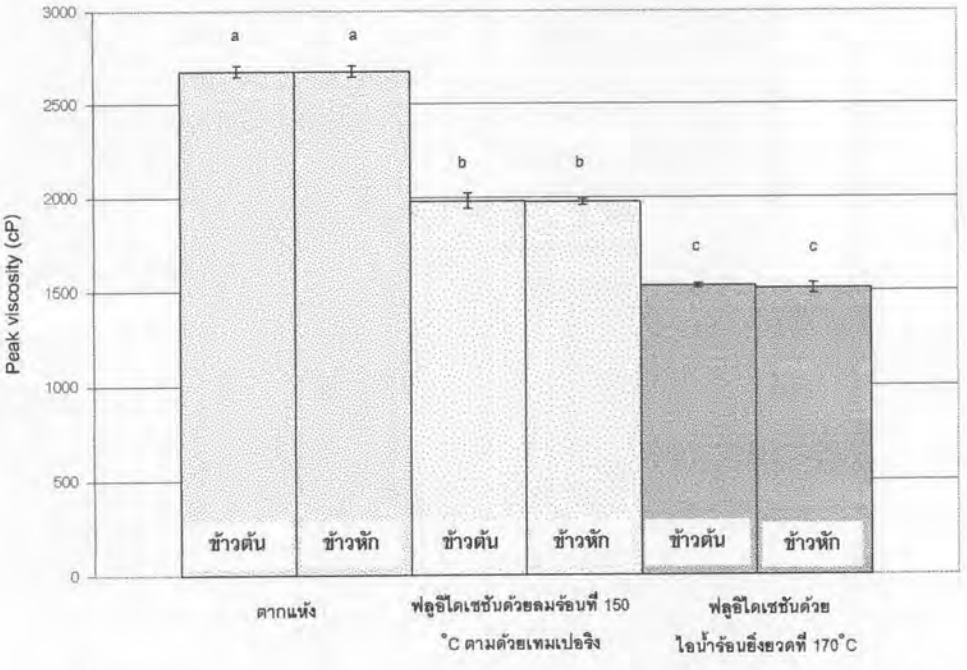
เมื่อพิจารณาภาพถ่ายส่วนตัดขวางของเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C จะเห็นว่าแป้งภายในเมล็ดข้าวหลอมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันอย่างชัดเจน (รูปที่ 4.5 (e) และ (f)) เนื่องจากแป้งภายในเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งวิธีนี้คงทนต่อการขัดสี ส่วนเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงมีแป้งหลอมรวมตัวในบางส่วนของเมล็ดข้าว (รูปที่ 4.5 (c) และ (d)) และเมล็ดข้าวที่ผ่านการตากแห้งมีรอยร้าวภายในเมล็ดมาก (รูปที่ 4.5 (e) และ (f)) เมล็ดข้าวจากข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้งจะเห็นว่ามีรอยร้ายภายในเมล็ดเยอะมาก (รูปที่ 4.5 (a) และ (b))

4.1.2 สมบัติด้านความหนืด (pasting properties)

สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน ที่ได้จากเครื่อง Rapid Viscosity Analyzer ได้ค่าสมบัติความหนืดดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ค่า peak viscosity จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ค่า peak viscosity คือความหนืดที่จุดสูงสุดของแป้งที่สามารถพองตัวได้ จากการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ของค่า peak viscosity ระหว่างแป้งจากข้าวต้นกับแป้งจากข้าวหัก แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ค่า peak viscosity จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □ 0.05)

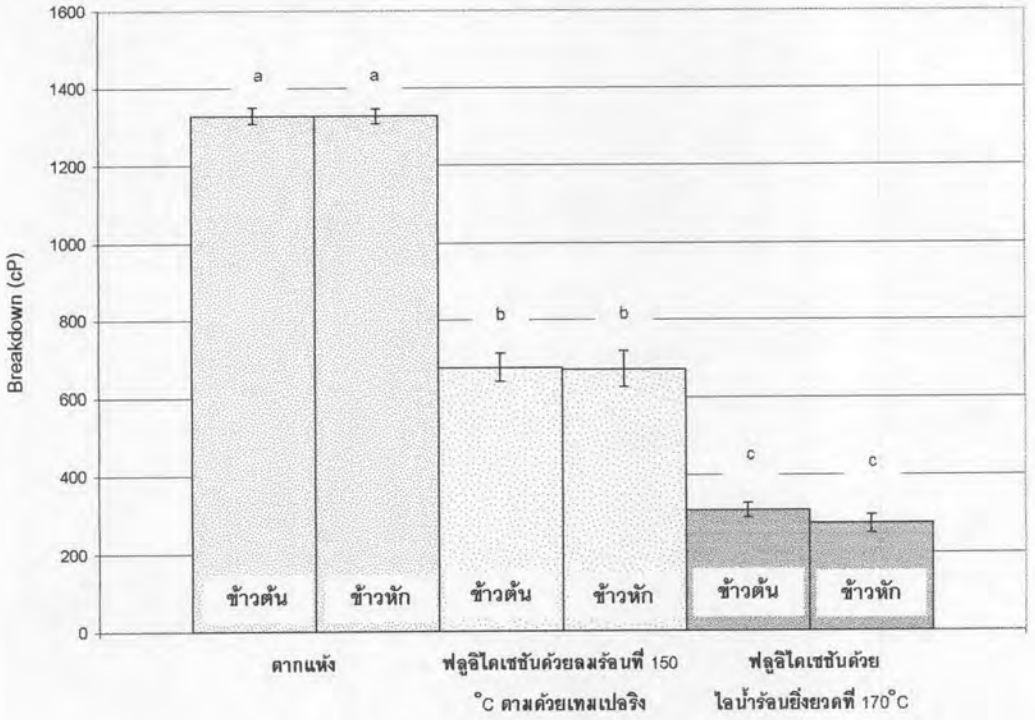
แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตากแห้งมีค่า peak viscosity สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C เนื่องจากแป้งที่ผ่านการตากแห้งเม็ดแป้งมีลักษณะสมบูรณ์อยู่มาก ไม่ได้ถูกทำลายหรือเสียสภาพจากความร้อนจึงมีการพองตัวได้มากและให้ค่า peak viscosity สูงที่สุด ส่วนแป้งที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีแป้งบางส่วนที่เสียสภาพการพองตัวและเกิดเจลาติไนเซชันในบางส่วน ทำให้เม็ดแป้งหลอมรวมตัวกัน เสียสภาพในการพองตัว เมื่อให้ความร้อนและน้ำอย่างเพียงพอ เพื่อเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ เม็ดแป้งจึงพองตัวได้น้อยกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้ง แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีลักษณะคล้ากับแป้งพรีเจลาติไนซ์ แป้งพรีเจลาติไนซ์ หรือแป้งพรีเจล เป็นแป้งที่ดัดแปรทางกายภาพโดยการให้ความร้อนต่อเม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ดี ให้ความหนืดได้ทันที และไม่เกิดเจล แป้งพรีเจลสามารถละลายและกระจายตัวได้ในน้ำเย็นหรือที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีการเกิดเจลหรือมีแนวโน้มการเกิดเจลลดลง ส่งผลให้ค่า peak viscosity มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตากแห้งและผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ , 2546) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lei (2001) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน พบว่าแป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์จากข้าวนึ่งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน มีค่า peak viscosity final viscosity breakdown และ setback ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีธรรมชาติ เนื่องจากว่าในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อน โครงสร้างของเม็ดแป้งจะเสียสภาพและส่วน crystalline ของเม็ดแป้งถูกทำลาย

4.1.2.2 ค่า breakdown ของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างกัน

ค่า breakdown คือความหนืดของแป้งที่แตกตัวเมื่อได้รับแรงเฉือน เป็นค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด จากการทดลองไม่

I 24539776

พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p>0.05) ของค่า breakdown ระหว่างแป้งจากข้าวต้นกับแป้งจากข้าวหักของข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) (รูปที่ 4.7)

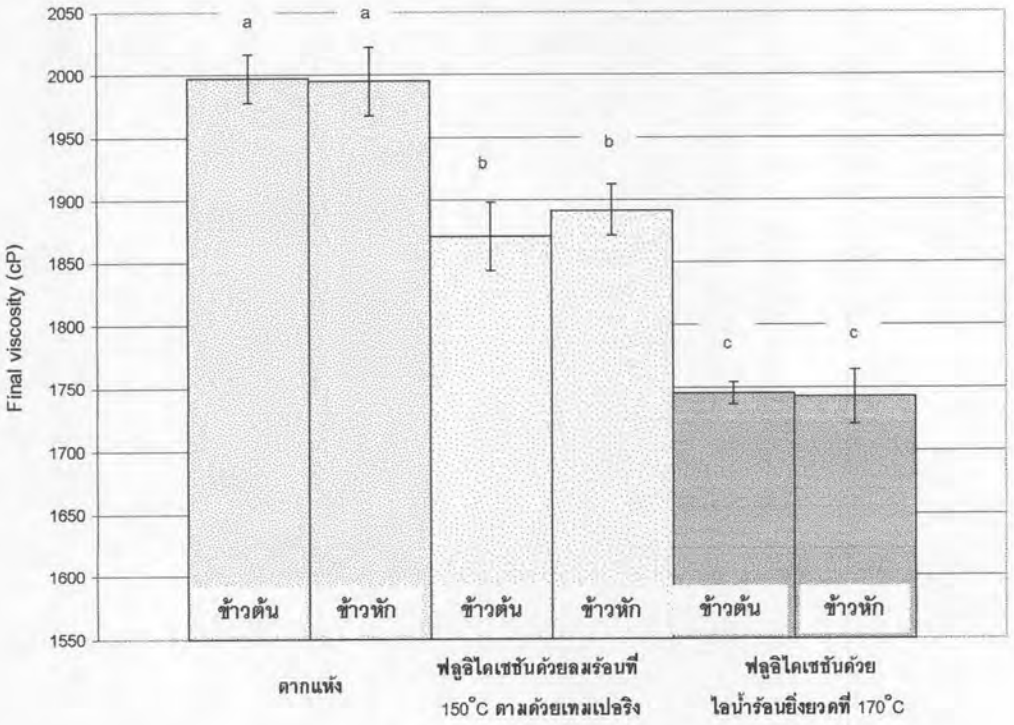


รูปที่ 4. ค่า breakdown จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตากแห้งมีค่า breakdown สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C เนื่องจากแป้งที่ผ่านการตากแห้งมีแป้งที่ยังสามารถพองตัวได้อยู่มาก ความแตกต่างของความหนืดสูงที่สุดและความหนืดต่ำที่สุดจึงมากกว่าแป้งที่ได้จากข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง แงจากข้าวเปลือกตากแห้งมีเม็ดแป้งที่สามารถพองตัวอยู่มาก เม็ดแป้งที่พองตัวจะไม่ทนต่อแรงเฉือนของใบพัด ดังนั้น แป้งที่ผ่านการตากแห้งทนต่อแรงเฉือนของใบพัดได้น้อยกว่าแป้งข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง

4.1.2.3 ค่า final viscosity ของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ค่า final viscosity คือความหนืดสุดท้ายหลังจากปล่อยให้แป้งเย็นตัว บ่งชี้ถึงคุณภาพของข้าวหุงสุก จากการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ของค่า final viscosity ระหว่างแป้งจากข้าวต้นและแป้งจากข้าวหักของข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อค่า final viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 ค่า final viscosity จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งที่ผ่านการตากแห้งมีค่า final viscosity สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) หากนำข้าวทั้งสามชนิดไปหุงสุกแล้วทิ้งให้เย็นตัว ข้าวที่ผ่านการตากแห้งจะมีความแข็งมากกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Chakkaravarthi และคณะ 2008)

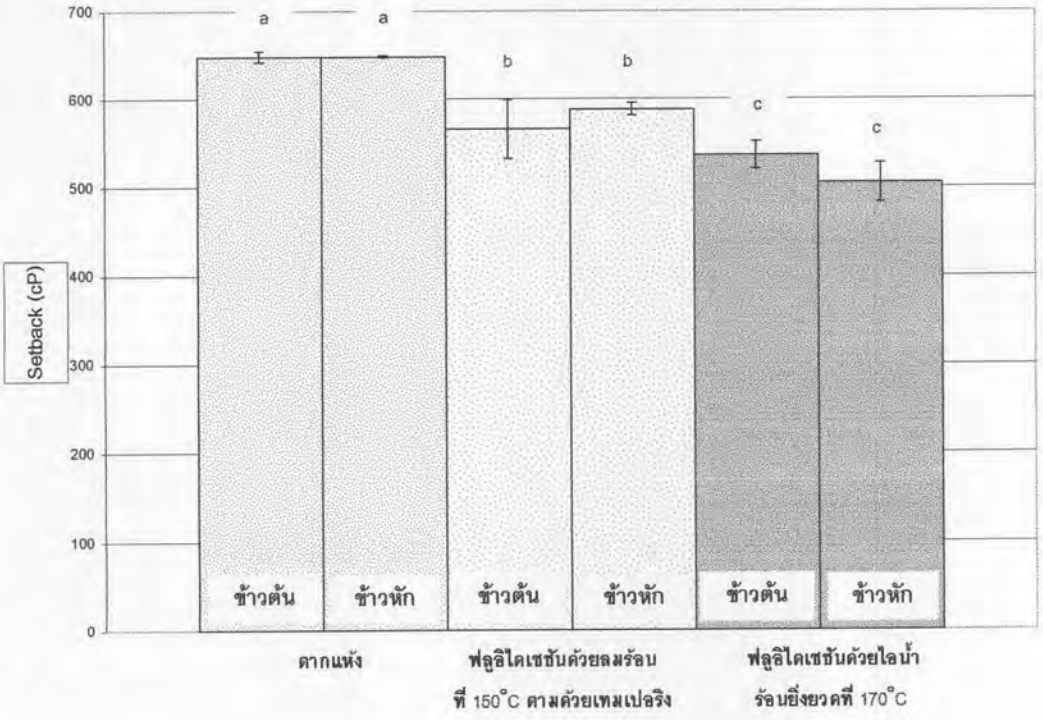
เมื่อปล่อยให้แป้งเย็นตัว โมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิด

รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) แป้งข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง เมื่อให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวเกิดรีโทรเกรเดชันที่มีค่า final viscosity น้อย เนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงได้เกิด amylose-lipid complex ไขมันไปจับกับแอมิโลสในเม็ดแป้ง ดังนั้นเมื่อนำแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยอุณหภูมิสูงมาให้ความร้อนแล้วปล่อยเย็นตัว แอมิโลสในแป้งจึงไม่สามารถจัดเรียงตัวกันใหม่เพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้ เนื่องจากไขมันได้ไปจับกับแอมิโลสเหล่านั้นและเกิดเป็น amylose-lipid complex (Buleon และColonna, 2004)

Jaisuit และคณะ (2008) ศึกษาอุณหภูมิอบแห้งและเวลาเทมเปอริงของข้าวกล้องดอกมะลิ 105 พบว่าเมื่อทดสอบสมบัติความร้อนของแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C และเทมเปอร์เป็นเวลา 120 นาที มี peak ที่สองเกิดขึ้นจากดูดกลืนพลังงานความร้อนเพื่อสลาย amylose-lipid complex แป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C และ เทมเปอริงเป็นเวลา 120 นาที มีการดูดกลืนพลังงานความร้อนเพื่อสลาย amylose-lipid complex มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิด amylose-lipid complex มากกว่าการทำแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและเวลาเทมเปอริงข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 130 °C และ150°C ที่ใช้เวลาเทมเปอริงข้าวเปลือกเท่ากัน พบว่าค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ของแป้งข้าวกล้องจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่ 130 °C จะสูงกว่าที่ 150°C เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงขึ้นข้าวเกิดการเจลาติไนเซชันมากขึ้น ส่งผลให้ค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ลดลง การลดลงของค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจากแต่ละวิธีที่อบแห้ง และได้ศึกษาสมบัติความร้อนของแป้งพบว่าค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อนของแป้งข้าวกล้องจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่ 130 °C จะมากกว่าที่ 150°C

4.1.2.4 ค่า setback จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ค่า setback คือผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด จากการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ของค่า setback ระหว่างแป้งจากข้าวต้นกับแป้งจากข้าวหักของข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อค่า seback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) (รูปที่ 4.9)



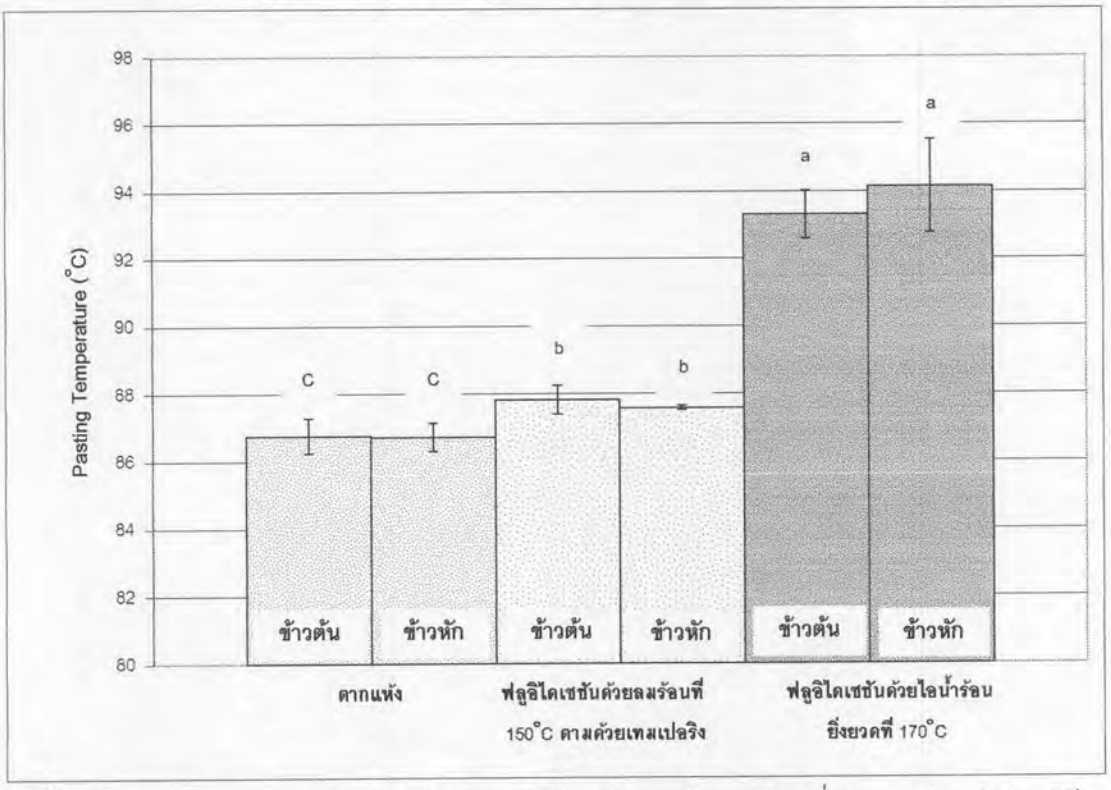
รูปที่ 4.9 ค่า setback จากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□ 0.05)

แป้งที่ผ่านการตากแห้งมีค่า setback สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) หากนำข้าวทั้งสามชนิดไป หุงสุกแล้วทิ้งให้เย็นตัว ข้าวที่ผ่านการตากแห้งคืนตัวเร็วกว่าข้าวที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง (Jaisuit *et al.*, 2008) เนื่องจากแป้งข้าวที่ ผ่านการตากแห้งเกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่ายกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดร้อนที่ 170°C การเกิด amylose-lipid complex ในเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดร้อนที่

170°C ส่งผลให้รีโทรเกรเดชันเกิดได้ยากขึ้น ค่า setback จึงต่ำกว่าแป้งที่ผ่านการตากแห้ง

4.1.2.5 Pasting temperature (°C) ของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

Pasting temperature คืออุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด เมื่อแป้งได้รับความร้อน จากการทดลองไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ของ pasting temperature ระหว่างแป้งจากข้าวต้นกับแป้งจากข้าวหักของข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อ pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □0.05) (รูปที่ 4.10)



รูปที่ 4.10 Pasting temperature (°C) ของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างๆ

กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มี pasting temperature สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C เม็ดแป้งในเมล็ดข้าวเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์แต่ในบางเมล็ดเม็ดแป้งบริเวณรอบนอกเกิดเจลาติไนเซชันแต่อาจมีเม็ดแป้งบางส่วนที่อาจยังไม่ได้เกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ติดอยู่ในส่วนที่หอม

รวมของเจลแป้ง เมื่ออุณหภูมิเมล็ดข้าวลดลงหลังจากการทำแห้ง ส่วนของเม็ดแป้งที่เกิดเจลาติไนเซชันไปแล้ว อาจทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนและความชื้นที่จะเข้าถึงเม็ดแป้งที่อยู่ด้านใน อุณหภูมิสูงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัว เพื่อให้เกิดความหนืด pasting temperature จึงเพิ่มสูงขึ้น แป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง มี pasting temperature สูงกว่า pasting temperature ของแป้งจากข้าวจ้าที่ผ่านการตากแห้ง เนื่องจากการเกิดเจลาติไนเซชันไม่สมบูรณ์ ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ยาก เนื่องจากเกิดการหลอมรวมตัวของเม็ดแป้งเองและ การเชื่อมประสานกับโปรตีนและไขมัน จึงขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ดังนั้น pasting temperature จึงสูงขึ้น

จากผลการทดลองสมบัติความหนืดของแป้งที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C สรุปได้ว่าแป้งจากข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ต่ำกว่าแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและตากแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Taechapairoj และคณะ (2004) พบว่าแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 150 และ170°C มีค่า peak viscosity breakdown และ setback ต่ำกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง และเมื่ออุณหภูมิอบแห้งข้าวเปลือกสูงขึ้นค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ของแป้งจากข้าวลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaisuit และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและเวลาเทมเปอริงข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 130 ° C และ150°C ที่ใช้เวลาเทมเปอริงข้าวเปลือกเท่ากัน พบว่าค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ของแป้งข้าวกล้องจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่ 130 °C จะสูงกว่าที่ 150°C เนื่องจากในระหว่างการอบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิสูงขึ้นข้าวเกิดการ เจลาติไนเซชันมากขึ้น ส่งผลให้ค่า peak viscosity breakdown final viscosity และsetback ลดลง การลดลงของค่าเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจากแต่ละวิธีที่อบแห้ง

4.1.3 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

น้ำแป้งดูดกลืนพลังงานความร้อน เพื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำแป้งเท่ากับอุณหภูมิสารอ้างอิงที่อยู่ในเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) ความร้อนทำลายโครงร่างผลึกของเม็ดแป้ง (Jin-song, 2008) ผลจากการทดลองพบว่าค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อน (endothermic enthalpy) ของแป้งข้าวต้นและข้าวหักไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่วิธีการอบแห้งส่งผลต่อค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p>0.05) (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 สมบัติความร้อนของแป้ง ข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ชนิดของแป้งข้าวเจ้า	T_o(°C)	T_p(°C)	T_c(°C)	ΔH(mJ/mg)
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวต้น)	63.86±0.08^b	69.89±0.10^b	75.27±0.13^b	10.94±0.15^a
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวหัก)	64.10±0.36^b	70.00±0.10^b	75.24±0.11^b	10.85±0.47^a
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวต้น)	67.61±0.43^a	72.27±0.50^a	76.80±0.49^a	8.60±0.08^b
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวหัก)	67.92±0.44^a	72.56±0.50^a	77.26±0.68^a	8.71±0.05^b
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวต้น)	-	-	-	0^c
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวหัก)	-	-	-	0^c

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

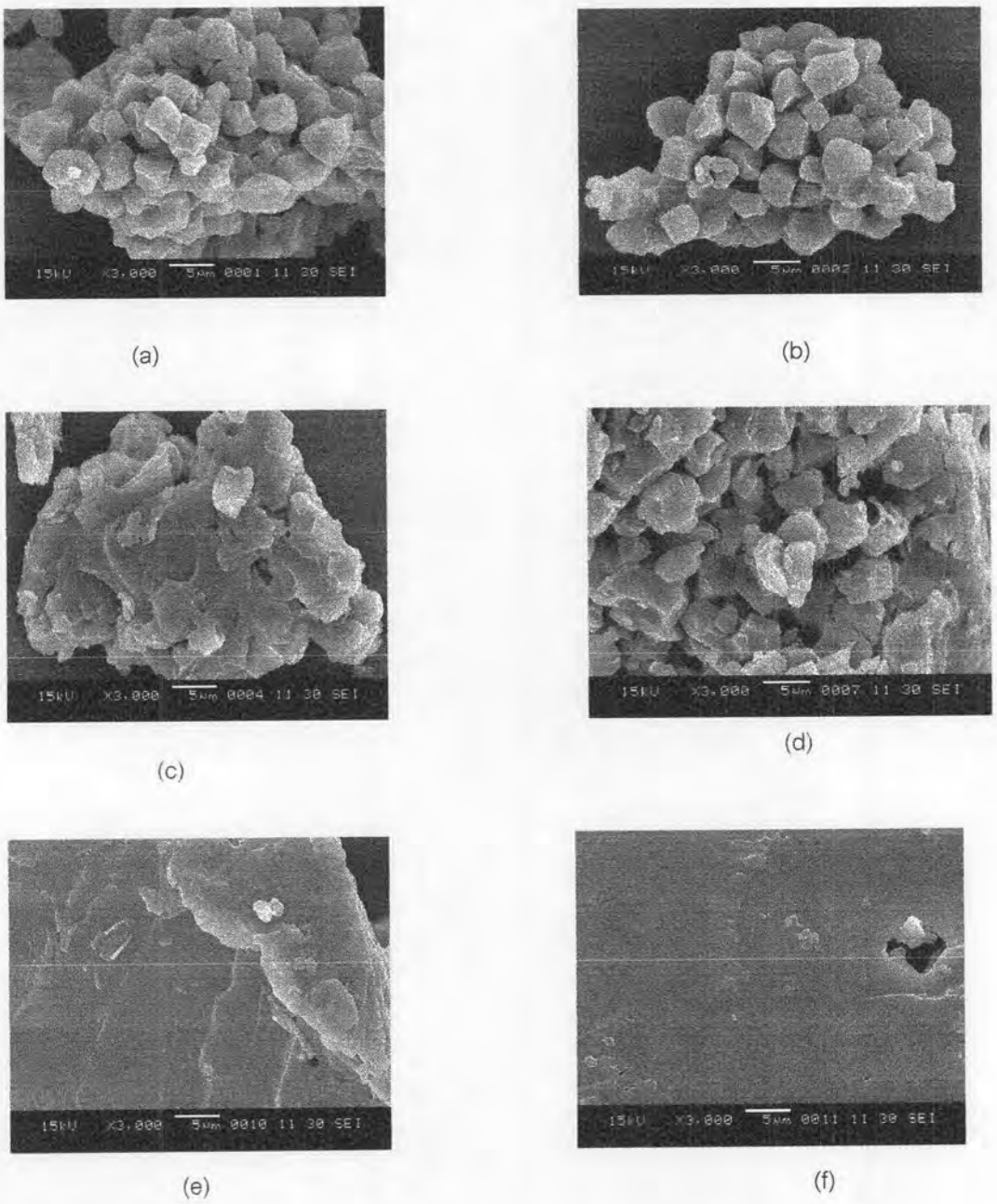
อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วย เทมเปอริง มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันสูงกว่าแป้งที่ผ่านการตากแห้ง เนื่องจากเนื่องจากในระหว่างกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง เกิดเจลาติไนเซชันในบางส่วนของเมล็ดข้าว จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าแป้งที่ผ่านการตากแห้ง เพื่อให้

เม็ดแป้งเกิดการพองตัว สลายตัวและโครงสร้างผลึกถูกทำลายอย่างสมบูรณ์ แป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C เกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ไปแล้ว จึงไม่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติเซชัน

แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตากแห้งมีค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อนสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) ในระหว่างกระบวนการทำแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงมีการเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วนไปแล้ว ทำให้แป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงดูดกลืนพลังงานความร้อนเพื่อจะทำลายโครงสร้างผลึกของแป้งน้อยกว่าแป้งที่ได้จากการตากแห้ง ส่วนแป้งที่ผ่านการทำแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C ไม่มีการดูดกลืนพลังงานความร้อน ค่าΔH จึงเท่ากับ 0 mJ /mg (ตารางที่ 4.1) เนื่องจากแป้งถูกทำลายโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งไปแล้วในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังนั้นเมื่อนำแป้งมาวิเคราะห์โดยใช้ DSC แป้งไม่มีการดูดความร้อนเพื่อไปทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง หรือมีการเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ไปแล้วในระหว่างกระบวนการอบแห้ง จากค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อนของแป้งที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170 °C พบว่าแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงมีค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อนน้อยกว่าข้าวที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaisuit และคณะ (2008) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งและเวลาเทมเปอริงข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 130 °C และ150°C โดยใช้เวลาเทมเปอริงข้าวเปลือกเท่ากัน พบว่าค่าการดูดกลืนพลังงานความร้อนของแป้งข้าวกล้องจากการอบแห้งข้าวเปลือกที่ 130 °C จะมากกว่าที่ 150°C

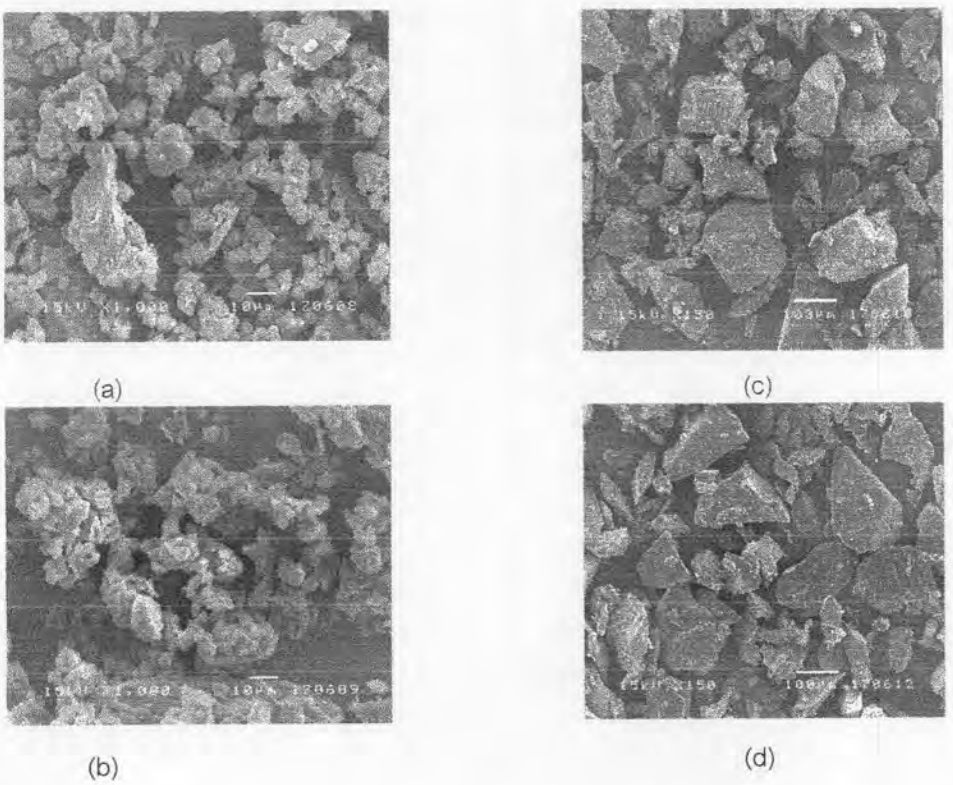
แป้งที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการการทำแห้งโดยวิธีทั้ง 3 นั้น มีโครงสร้างของอนุภาคของเม็ดแป้งและพื้นผิวของเม็ดแป้งดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายโครงสร้างของอนุภาคของเม็ดแป้งจากเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่กำลังขยาย 3,000 เท่าของเม็ดแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการตากแห้ง (a-b) การอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (c-d) และการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (e-f)

จากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope(SEM) พบว่าอนุภาคของแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีขนาดใหญ่มากและมีรูปร่างหลากหลาย (รูปที่ 4.10) เนื่องจากแป้งเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ มีการหลอมรวมของแป้งเป็นเนื้อเดียวกันหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ข้าวมีความแข็งและคงทนต่อการขัดสี สังเกตจากเมื่อนำข้าวไปโม่ต้องใช้เวลานานและกำลังในการโม่เพิ่มมากขึ้น ไม่สามารถบดให้ละเอียด แสดงว่าเมล็ดข้าวมีทนต่อการขัดสีมาก ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจึงสูง ในขณะที่ข้าวจากวิธีการตากแห้งและอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง โม่ได้ง่ายและบดได้ละเอียดกว่า

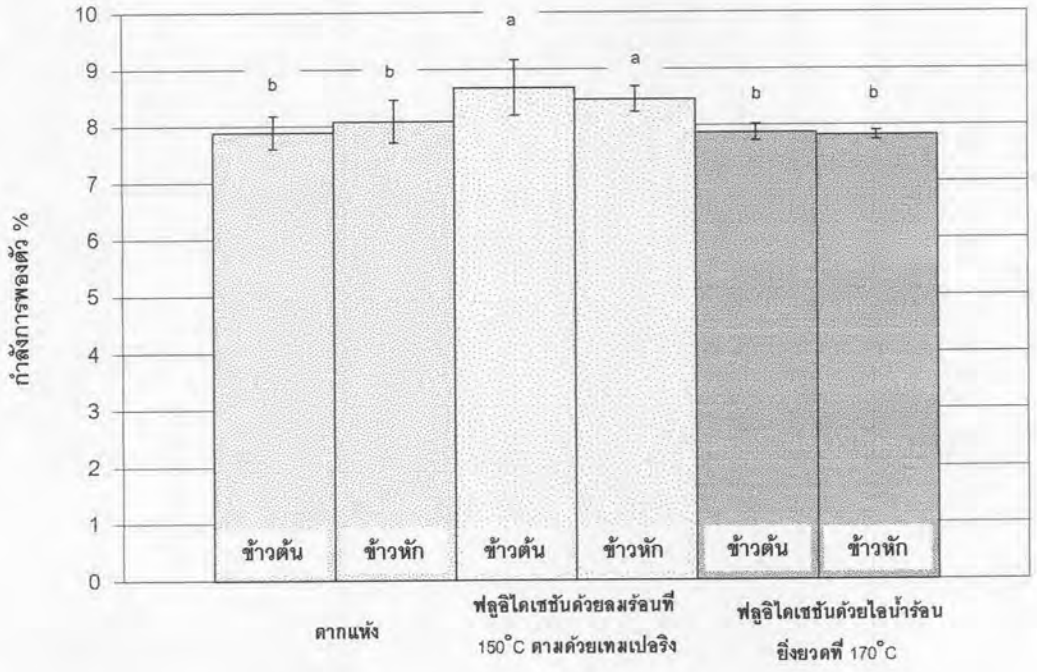
เมื่อลดขนาดกำลังขยายลงสำหรับภาพ c-f จะได้ลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายโครงสร้างของอนุภาคของเม็ดแป้งจากเครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 1,000 เท่าของเม็ดแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150 °C ตามด้วยเทมเปอริง (a-b) และกำลังขยาย 150 เท่าของเม็ดแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (c-d)

4.1.4 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°C ของแป้งจากการตากแห้ง การอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงมีค่าเปอร์เซ็นต์กำลังการพองตัวสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.13 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

ส่วนแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการทำแห้งโดยการตากแห้งและอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C จะมีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 7.82-8.08 % (รูปที่4.13) ผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่า peak viscosity ที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการทำแห้งทั้งสามวิธีมีช่วงของ pasting temperature ระหว่าง 86.75-94.15 °C (รูปที่ 4.10) ซึ่งสูงกว่า 85°C ดังนั้นการใช้อุณหภูมิที่ 85°C อาจไม่เพียงพอต่อการพองตัวอย่างเต็มที่ของเม็ดแป้ง

4.1.5 ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า และความชื้น ของแป้งข้าวเจ้าจากการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

แป้งที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหูมิ 170°C มีความชื้นอยู่ในช่วง 11.55 -13.55 %(w.b) (ตารางที่ 4.3) มีค่าใกล้เคียงกับความชื้นของข้าวเปลือกหลังการทำแห้งคืออยู่ในช่วง 13-14%(w.b) เป็นช่วงความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการเก็บข้าวเปลือก แป้งข้าวเจ้าที่ได้จากการทำแห้งข้าวเปลือกทั้งสามวิธีมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าอยู่ในช่วง 4.63-4.72 %, 0.033-0.037 % และ 0.0602-0.0681 % ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.3) ซึ่งพบว่าทั้งจากวิธีแป้งข้าวต้นและแป้งจากข้าวหักไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไขมัน โปรตีน เถ้า และความชื้น ของแป้งที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

ชนิดของแป้งข้าวเจ้า	ความชื้น%(w.b)	%ไขมัน^{ns}	%โปรตีน	%เถ้า^{ns}
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวต้น)	13.55±0.01^{b}	0.037±0.00005	4.71±0.01^{b}	0.681±0.00
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวหัก)	12.31±0.01^{b}	0.037±0.00002	4.72±0.00^{b}	0.602±0.01
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวต้น)	11.33±0.01^{a}	0.033±0.00001	4.68±0.01^{b}	0.611±0.01
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวหัก)	11.90±0.01^{a}	0.033±0.00002	4.69±0.01^{b}	0.611±0.01
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวต้น)	11.21±0. 01^{a}	0.033±0.00003	4.65±0.03^{a}	0.661±0.02
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวหัก)	11.55±0.02^{a}	0.033±0.00005	4.63±0.05^{a}	0.642±0.02

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

4.1.6 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

ปริมาณแอมิโลสของแป้งจากข้าวที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหูมิ 170°C มีปริมาณแอมิโลสแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งแบบต่างๆ

ชนิดของแป้งข้าวเจ้า	ปริมาณแอมิโลส
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวต้น)	19.92±0.30[a]
ตากแห้ง (ส่วนของข้าวหัก)	20.04±0.11[a]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°Cตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวต้น)	19.97±0.20[a]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง (ส่วนของข้าวหัก)	19.78±0.19[a]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวต้น)	19.14±0.22[b]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C (ส่วนของข้าวหัก)	19.08±0.11[b]

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

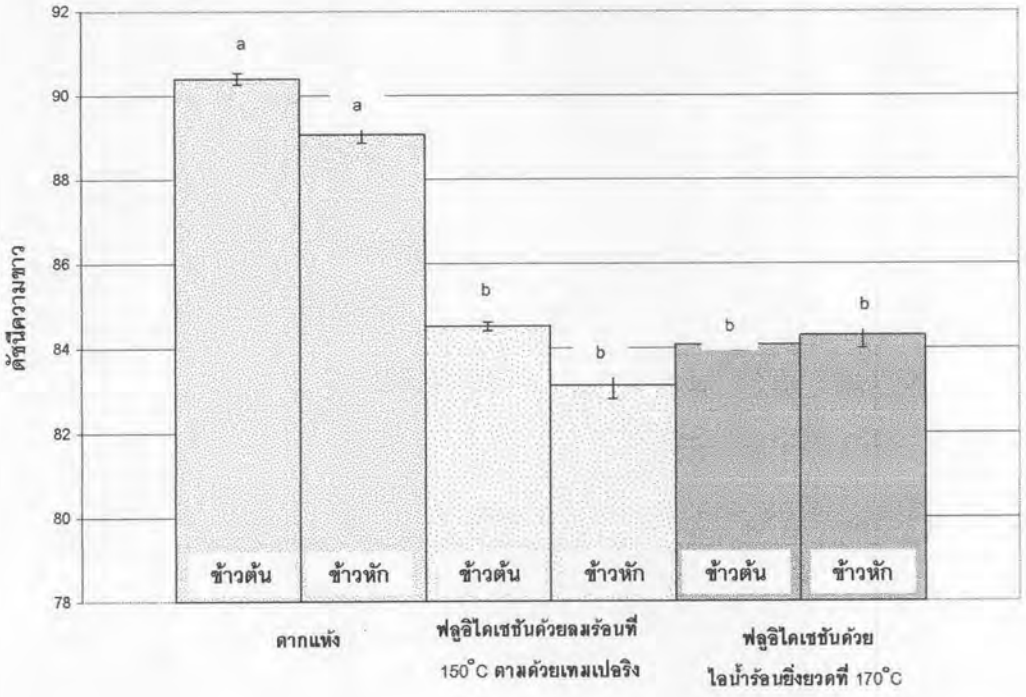
อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งจากข้าวที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหูมิ 170°C มีแอมิโลสอยู่ในช่วง 19.08-20.04 %

การเลือกแป้งข้าวให้เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ อาจดูได้จากปริมาณแอมิโลสและชนิดของพันธุ์ข้าว แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันจะให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลส 18-22% นิยมนำไปแปรรูปเป็น cereals chips และขนมอบกรอบ โดยจะให้เนื้อสัมผัสที่บางกรอบ (Radley, 1976; Scoch, 1967; Rani and Bhattacharya, 1995) ในขณะที่แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสประมาณ 34 % จะให้เนื้อสัมผัสเหนียวนุ่ม เหมาะสำหรับการนำแป้งแปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว (ศันย์สนีย์ อุดมระติ และคณะ, 2546)

4.1.7 ดัชนีความขาวของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

จากการทดลองพบว่าแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหูมิ 170°C มีค่าดัชนีความขาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.14 ดัชนีความขาวของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน

กราฟแท่งที่มีอักษรกำกับต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

แป้งข้าวต้นและแป้งข้าวหักมีค่าดัชนีความขาวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) แป้งจากการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170 °C มีค่าดัชนีความขาวต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้าจากข้าวที่ผ่านการตากแห้ง (รูปที่ 4.14) Soponronnarit และ Prachayawarakorn (1994) พบว่าเมื่ออบแห้งข้าวเปลือกที่อุณหภูมิ 100 130 และ 150°C การอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C ให้ค่าดัชนีความขาวต่ำที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นความร้อนเพิ่มมากขึ้นไปเร่งการเกิดปฏิกิริยา non-enzymatic browning ข้าวเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง (ที่150°C ขึ้นไป) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันและไอโซเมอไรเซชันเปลี่ยนน้ำตาลเป็นสารประกอบที่มีหมู่คีโตน

(dicarbonyl) ทำให้ข้าวมีสีคล้ำขึ้น นอกจากนี้เทมเปอริงมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของข้าวอีกด้วย เนื่องจากในระหว่างเทมเปอริง เป็นการยืดเวลาให้ข้าวเปลือกอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ข้าวเปลือกถูกพักไว้ในขวดอับอากาศทำให้ความร้อนยังคงอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกมาก จึงส่งผลให้ข้าวเปลี่ยนสีขาวเป็นสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อดิเทพ ทวีรัตนพาณิชย์ (2540) และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์และคณะ (2541) พบว่าข้าวที่เทมเปอริงมีเปอร์เซ็นต์ความขาวสัมพัทธ์ต่ำกว่าข้าวที่ไม่เทมเปอริง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อุณหภูมิเทมเปอริงสูงกว่า 80°C จะทำให้ดัชนีความขาวของข้าวลดต่ำลง จึงมีแนวโน้มทำให้ข้าวมีลักษณะเก่ามากขึ้น

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C พบว่าแป้งจากข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันมีสมบัติทางเคมีกายภาพต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างของสมบัติทางเคมีกายภาพระหว่างแป้งจากข้าวต้นและแป้งจากข้าวหัก (p>0.05) ดังนั้นการผลิตแป้งข้าวเจ้าเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์จึงสามารถผลิตได้จากทั้งข้าวต้นหรือข้าวหักก็ได้ เนื่องจากข้าวต้นและข้าวหักมีสมบัติทางเคมีกายภาพเหมือนกัน แต่ควรผลิตแป้งข้าวเจ้าจากข้าวหัก เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวหักที่ขายได้ในราคาต่ำ

วิธีการทำแห้งต่างกัน ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าในด้านสมบัติทางความหนืด สมบัติทางความร้อน กำลังการพองตัว และสีของแป้งข้าว ซึ่งเมื่อนำแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากวิธีการทำแห้งที่ต่างกัน ไปทำผลิตภัณฑ์อาหารที่แตกต่างกัน เช่น โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปและขนมอบกรอบ อาจทำให้สมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไป

ผลจากการนำแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากวิธีการทำแห้งที่แตกต่างกันไปใช้ทำโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปและขนมอบกรอบ แสดงในหัวข้อ 4.2

4.2 การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์

4.2.1 ผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

4.2.1.1 เวลาที่ใช้ต้มข้าวหักที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันเพื่อทำ pre-gelatinization

การทำโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป จะต้มข้าวหักโดยใช้อัตราส่วนข้าวหักต่อน้ำเท่ากับ 1:8 เวลาที่ใช้ต้มข้าวหักที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C จนความหนืดใกล้เคียงกับโจ๊กควบคุม(3754.50±97.40 cP) เพื่อทำ pre-gelatinization มีเวลาแตกต่างแตกกันดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เวลาที่ใช้ต้มข้าวหักที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันเพื่อทำ pre-gelatinization

ชนิดของข้าวหัก	ความหนืด (cP)[ns]	เวลาที่ใช้ต้ม
ตากแห้ง	3758±28	1 ชั่วโมง 45 นาที
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง	3747±41	1 ชั่วโมง 25 นาที
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C	3766±17	45 นาที

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ข้าวหักที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ใช้เวลาในการต้มเร็วที่สุด คือ 45 นาที (ตารางที่ 4.5) เนื่องจากข้าวเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ ข้าวหักที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีลักษณะเป็นพรีเจลาติไนซ์ ข้าวที่ได้สามารถละลายได้ในน้ำเย็นหรือน้ำที่อุณหภูมิห้อง และเกิดความหนืดได้อย่างรวดเร็ว เมื่อนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมาต้มจึงใช้พลังงานในการทำให้ข้าวเกิดเจลาติไนเซชันและเกิดความหนืดได้น้อยกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C เหมาะสำหรับไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เวลาในการทำให้สุกอย่างรวดเร็ว เช่น ผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูป เป็นต้น

อบแห้งโจ๊กที่ได้จาการต้มข้าวหักจากข้าวเปลือกที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 วัน ปั่นโจ๊กแห้งให้เป็นผง นำผงโจ๊กไปศึกษาอัตราการเติมน้ำในหัวข้อ 4.2.1.2

4.2.1.2 ศึกษาอัตราการเติมน้ำในผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

ศึกษาอัตราการเติมน้ำในผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปเพื่อให้ได้จ๊กที่มีความหนืดใกล้เคียงกับโจ๊กควบคุม วัดความหนืดของโจ๊กที่ได้จากการเติมน้ำลงในผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป ในอัตราส่วนผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป:น้ำ เท่ากับ 1:9 และ 1:10 มีความหนืดดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปที่อัตราการเติมน้ำต่างกัน

ชนิดของข้าวหัก	**อุณหภูมิของโจ๊ก** (°C)	**สัดส่วนของผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูป:น้ำ**	
		1:9	1:10
ตากแห้ง	85	6816±42[a]	3784±39[b]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง	85	6618±36[b]	3738±76[c]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C	85	6667±76[b]	4029±19[a]

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p□0.05)

จากการศึกษาปริมาณน้ำเติมลงในผงโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100°C ในอัตราส่วน 1:10 และ 1:9 พบว่าที่สัดส่วนผงโจ๊ก:น้ำร้อน 1:10 โจ๊กจากข้าวหักที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C มีค่าความหนืดใกล้เคียงกับโจ๊กควบคุม (3754.50±97.40 cP) คืออยู่ในช่วง 3738-4029 cP (ตารางที่ 4.6) ดังนั้นจึงเลือกอัตราการเติมน้ำ:โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป เป็น 1:10 เพื่อเป็นสูตรสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.2.1.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูป

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน อายุ 15-65 ปี ให้คะแนนการยอมรับทางด้านสี กลิ่น ความหนืด เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน อายุ 15 – 65 ปี

	ชนิดของข้าวหัก		
การทดสอบทางประสาทสัมผัส	**ตากแห้ง**	**เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่150°C ตามด้วยเทมเปอริง**	**เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ 170°C**
สี[ns]	7.04±1.83	6.82±1.79	6.98±1.61
กลิ่น[ns]	6.78±1.28	6.68±1.43	6.80±1.50
ความหนืด[ns]	6.46±1.55	6.32±1.93	6.50±1.81
เนื้อสัมผัส[ns]	6.58±1.69	6.16±2.20	6.32±1.95
ความชอบโดยรวม[ns]	6.56±1.64	6.36±1.70	6.32±1.61

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากจำนวนผู้สอบ 50 คน

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 50 คน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบลักษณะทางกายภาพของโจ๊กกึ่งสำเร็จรูปจากข้าวหักที่ได้จากการทำแห้งโดยวิธีต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยคะแนนทางประสาทสัมผัสที่มีต่อ สี กลิ่น ความหนืด เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ทดสอบยอมรับได้ ดังนั้นสามารถนำข้าวหักที่ผ่านการตากแห้ง อบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ไปทำผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปได้ แต่เมื่อพิจารณาผลของเวลา pre-gelatinization ประกอบพบว่าข้าวหักที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170 °C ใช้เวลา pre-gelatinization เร็วและใช้พลังงานน้อยกว่าข้าวหักจากข้าวเปลือกที่อบแห้งโดยวิธีอื่นๆ ดังนั้นข้าวหักที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C จึงเหมาะสมที่จะไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปหรือข้าวปรุงสุกสำเร็จรูปมากที่สุดและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความข้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำโดยไม่ใช้ความร้อนมากนัก เพื่อช่วยในการละลายแป้ง

4.2.2 ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ

4.2.2.1 ศึกษาแรงเจาะทะลุผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างกันโดยใช้เครื่อง Texture Analyser

นำผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งจากข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันโดยสุ่มมาตัวอย่างละ 10 ชิ้น ไปวัดค่าแรงการเจาะทะลุโดยใช้เครื่อง Texture Analyser มีค่าแรงการเจาะทะลุดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงการเจาะทะลุผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างกันโดยใช้เครื่อง Texture Analyser

ชนิดของแป้งที่ใช้ทำขนมอบกรอบ	แรงการเจาะทะลุ(g)
ตากแห้ง	157.0±4.3[a]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง	136.5±11.1[b]
เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C	116.0±6.3[c]

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรกำกับในแนวตั้งต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p □ 0.05)

การทำขนมอบกรอบมีขั้นตอนการนึ่งส่วนผสมของแป้งที่ผสมกับส่วนผสมต่างๆ และน้ำ น้ำกับความร้อนในการนึ่งทำให้แป้งเกิดเจลาติไนเซชัน ส่งผลให้แป้งรวมตัวกันเป็นก้อนโด ซึ่งการเกิดเจลาติไนเซชันในแป้งโดจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกัน จากผลของค่าแรงเจาะทะลุที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่างกันโดยใช้เครื่อง texture analyser พบว่าขนมอบกรอบที่แป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C จะมีค่าแรงเจาะลุน้อยที่สุดคือ 116.0±6.3 g ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170 ° C มีการเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์ไปแล้ว เมื่อไปนึ่งจะได้โดที่มีลักษณะเนื้อร่วนมีการเกาะตัวกันของแป้งอย่างหลวม เนื่องจากไม่เกิดการรวมตัวกันจากการเกิดเจลาติไนเซชัน เมื่อนำโดจากแป้งจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ไปอบจะได้ขนมอบกรอบที่เนื้อเปราะกว่าขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วย

ลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริงและแป้งที่ผ่านการตากแห้ง ขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วย ไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C จึงมีความกรอบมาก

4.2.2.2 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ

จากการทดสอบทางสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน อายุ 15-65 ปี ให้คะแนนการยอมรับทางด้านสี กลิ่น ความหนืด เนื้อสัมผัส ความกรอบและความชอบโดยรวม ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน อายุ 15-65 ปี

	ชนิดของแป้ง		
การทดสอบทางประสาทสัมผัส	**ตากแห้ง**	**เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่150°C ตามด้วยเทมเปอริง**	**เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำยิ่งยวดที่ 170°C**
สี	6.88±1.22[a]	6.34±1.14[b]	6.24±1.32[b]
กลิ่น	5.72±1.59[c]	6.22±1.37[b]	6.68±1.63[a]
เนื้อสัมผัส	6.40±1.14[b]	6.14±1.19[b]	7.04±1.34[a]
ความกรอบ	6.72±1.25[b]	6.72±1.20[b]	7.44±0.95[a]
ความชอบโดยรวม	6.58±1.14[b]	6.38±1.18[b]	7.26±1.05[a]

ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรกำกับในแนวนอนต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมอบกรอบ พบว่า ผู้ทดสอบชอบสีของขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการตากแห้งมากที่สุด และนอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบชอบ กลิ่นรส เนื้อสัมผัสความกรอบ และความชอบโดยรวม ของขนมอบกรอบที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C ซึ่งหมายถึงผู้ทดสอบส่วนใหญ่ชอบขนมอบกรอบที่มีลักษณะกรอบเปราะบาง และมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างร่วน แต่จากการทำขนมอบกรอบนั้นพบว่าการรีดโดของส่วนผสมแป้งข้าวเจ้าจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ 170°C จะรีดได้ยากเพราะโดไม่ค่อยเป็นเนื้อเดียวกันและแป้งผลิตได้ยาก ในอนาคตสามารถปรับปรุงสูตรขนมอบกรอบ เช่น การเพิ่มแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด และแป้งเท้ายายม่อม เป็นต้น เพื่อให้เกิดได้ดีขึ้น

จากการศึกษาการนำข้าวหักและแป้งจากข้าวที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีต่างกันไปใช้ในผลิตภัณฑ์ พบว่าสามารถนำข้าวหักและแป้งจากข้าวที่ผ่านการตาก อบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยลมร้อนที่ 150°C ตามด้วยเทมเปอริง และอบแห้งโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่อุณหภูมิ 170°C ทำผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปและขนมอบกรอบได้ และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงและไอน้ำร้อนยิ่งยวด ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า ซึ่งเมื่อทำผลิตภัณฑ์ ส่งผลเชิงบวกในผลิตภัณฑ์โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปและขนมอบกรอบ กล่าวคือ ใช้เวลาเตรียมโจ๊ก (pre-gelatinization) สั้นกว่าแป้งที่ผ่านการตากแห้ง และขนมอบกรอบมีเนื้อสัมผัสที่บางกรอบตามความชอบของผู้บริโภคส่วนใหญ่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การทำแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง (150°C) และไอน้ำร้อนยิ่งยวด (170°C) นอกจากช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นยังส่งผลดีต่อการใช้ในผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย