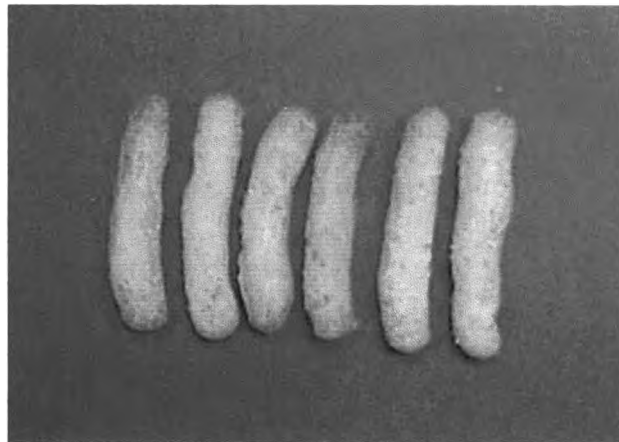


บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการผลิตขนมขบเคี้ยวจากข้าวโดยใช้กระบวนการผลิตในห้องปฏิบัติการ

วัตถุดิบที่ใช้คือ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เมื่อนำมาผลิตตามกระบวนการผลิตในห้องปฏิบัติการ ตามรูปที่ 3.1พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแท่งกลม สีน้ำตาลอ่อน และมีการพองตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวโดยใช้กระบวนการผลิตในห้องปฏิบัติการ

4.2 ผลการวิเคราะห์หีสสมบัติทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบ

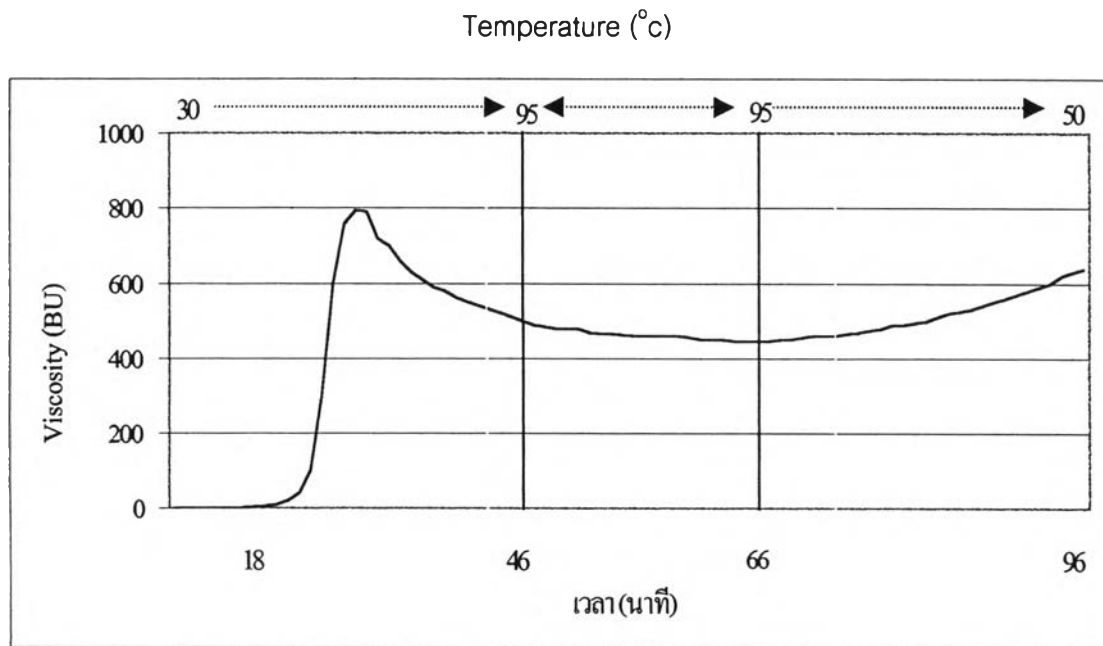
นำแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีกายภาพและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ให้ผลดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีกายภาพของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความชื้น	11.55 \pm 0.01
โปรตีน (Nx5.95)	6.32 \pm 0.16
ไขมัน	0.42 \pm 0.06
เถ้า	0.29 \pm 0.01
ใยอาหาร	0.27 \pm 0.01
คาร์โบไฮเดรต *	81.13
อะไมโลส	2.25 \pm 0.12
ความคงตัวของเจล	97 \pm 0.22
ค่าการสลายตัวของเมล็ดในด่าง	6.60 \pm 0.01

*จากการคำนวณ

จากการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste ใน heating-cooling cycle ของแป้งข้าวเหนียว ด้วย brabender visco amylograph ได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 amylogram ของแป้งข้าวเหนียวที่ความเข้มข้นร้อยละ 10

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของ paste แป้งข้าวเหนียว ใน heating-cooling cycle พบว่าที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส paste แป้งข้าวเหนียวมีความหนืดสูงสุดที่ 793 B.U เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของ paste จะค่อยๆลดลง พบว่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส paste มีความหนืด 500 B.U ส่วนในช่วง cooling พบว่าความหนืดของ paste มีค่าสูงขึ้น และพบว่าความหนืดสุดท้ายของ paste ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีความหนืด 640 B.U ซึ่งต่ำกว่า ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งข้าวเหนียว

ผลของภาวะกระบวนการผลิตที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว

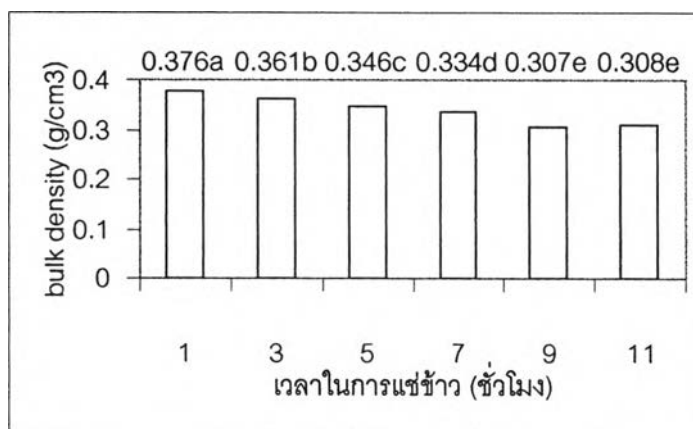
4.3 ผลของเวลาในการแช่ข้าวต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

นำข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 ที่ล้างทำความสะอาดแล้ว มาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยแปรเวลาในการแช่ข้าวเป็น 6 ระดับคือ 1 3 5 7 9 และ 11 ชั่วโมง นำข้าวที่ได้มาไม่แฉียง แล้วนำมาทำผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาตรวจสอบสมบัติทางด้าน ความหนาแน่น (bulk density) ปริมาตรการพองตัว (volume expansion) และความแข็ง (hardness) ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.3 – 4.5

4.3.1 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ค่าความหนาแน่น (bulk density)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง จ.1) ดังแสดงในรูปที่ 4.3



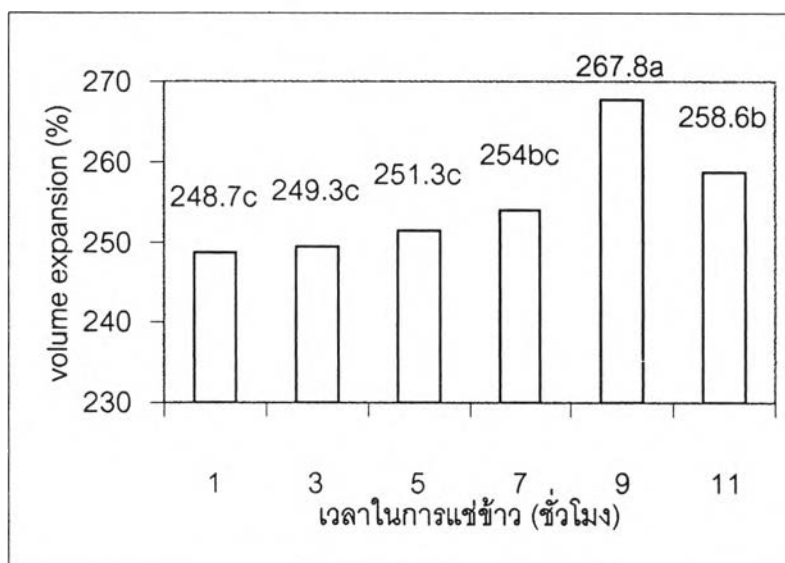
a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.3 ผลของเวลาในการแช่ข้าวต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากข้าวที่แช่ที่เวลา 1 ชั่วโมงมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือที่ 3 ชั่วโมง ส่วนที่เวลาในการแช่ 5 และ 7 ชั่วโมงให้ความหนาแน่นที่ค่อนข้างต่ำ และพบว่าที่เวลาในการแช่ 9 และ 11 ชั่วโมงผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาตรการพองตัว (volume expansion)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง จ.1) ดังแสดงในรูปที่ 4.4



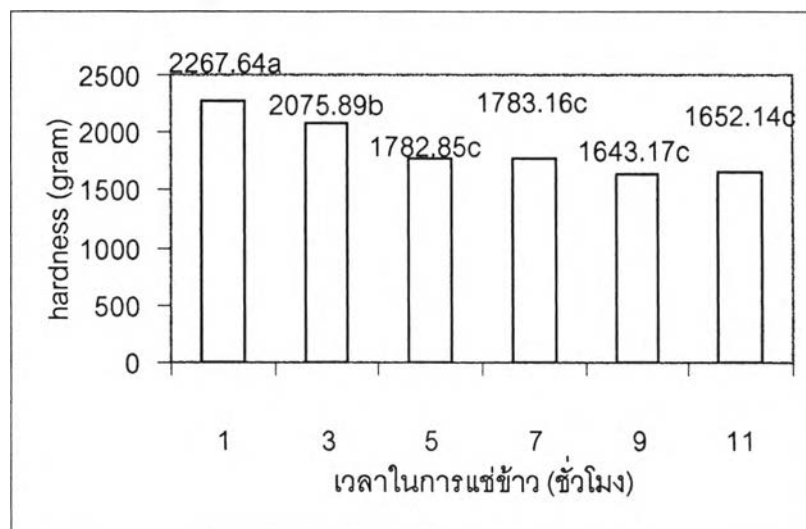
a,b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.4 ผลของเวลาในการแช่ข้าวต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากข้าวแช่ที่เวลา 9 ชั่วโมงมีปริมาตรการพองตัวสูงที่สุด รองลงมาคือที่ 11 ชั่วโมง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากข้าวแช่ที่เวลา 1 3 5 และ 7 ชั่วโมงมีปริมาตรการพองตัวต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากข้าวที่แช่เวลา 9 และ 11 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความแข็ง (hardness)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง จ.1) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
รูปที่ 4.5 ผลของเวลาในการแช่ข้าวต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยในแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากข้าวแช่ที่เวลา 1 ชั่วโมงมีค่าความแข็งสูงที่สุด รองลงมาคือเวลาในการแช่ที่ 3 ชั่วโมง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากข้าวที่แช่ที่เวลา 5 7 9 และ 11 ชั่วโมงมีความแข็งต่ำที่สุดแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน ความกรอบ ความรู้สึกละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมต่อเวลาในการแช่ข้าวของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อแปรเวลาในการแช่ข้าวต่างกัน

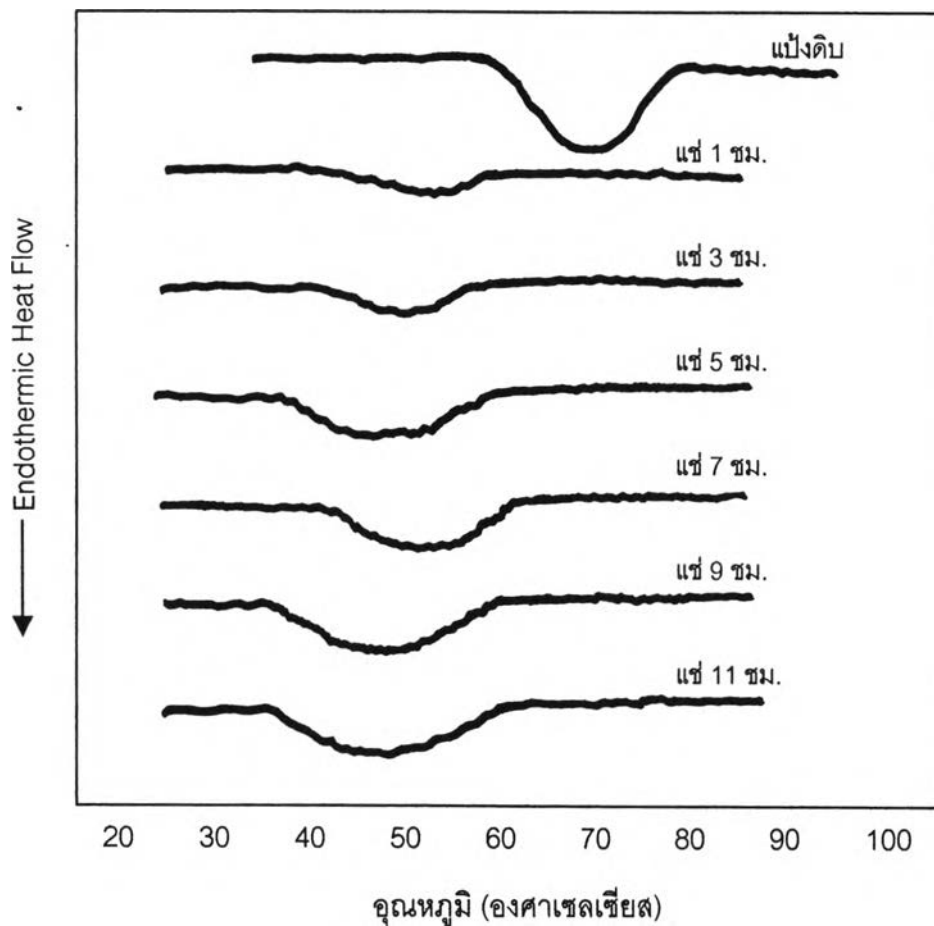
เวลาในการแช่ข้าว (ชั่วโมง)	ความกรอบ ^{ns}	ลักษณะการละลายในปาก ^{ns}	ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์	กลิ่นหอม ^{ns} ของข้าว	การยอมรับรวม
1	5.8 ± 0.13	5.8 ± 0.14	6.4 ± 0.10 b	5.8 ± 0.17	4.8 ± 0.14 b
3	6.0 ± 0.07	6.6 ± 0.07	6.3 ± 0.07 b	3.7 ± 0.08	5.5 ± 0.04 ab
5	7.0 ± 0.10	6.6 ± 0.13	7.2 ± 0.04 ab	3.6 ± 0.10	5.6 ± 0.12 ab
7	7.0 ± 0.75	6.4 ± 0.04	6.2 ± 0.09 b	4.4 ± 0.20	6.0 ± 0.06 a
9	7.8 ± 0.07	7.0 ± 0.06	7.6 ± 0.04 a	6.4 ± 0.18	7.4 ± 0.12 a
11	8.0 ± 0.07	7.1 ± 0.13	7.7 ± 0.15 a	6.0 ± 0.10	7.4 ± 0.08 a

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตาราง 4.2 และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๑.2) พบว่าระยะเวลาในการแช่ข้าวไม่มีผลต่อคะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก และกลิ่นหอมของข้าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีผลต่อคะแนนด้านลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่ข้าวเพิ่มขึ้น

4.3.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วย DSC

นำตัวอย่างแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังจากการแช่เย็น (ดังภาคผนวก ค 1-2) โดยใช้เวลาแช่ข้าวต่างกัน มาศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วยเครื่อง DSC ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.6 DSC thermograms ของแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังจากการแช่เย็นโดยใช้เวลาในการแช่ต่างกัน

ตารางที่ 4.3 DSC Characteristics ของแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังผ่านการแช่เย็นโดยใช้เวลาในการแช่ต่างกัน

ระยะเวลาการแช่ (ชั่วโมง)	To (องศาเซลเซียส) ¹⁾	Tc (องศาเซลเซียส) ²⁾	ΔH (cal/g) ³⁾
1	38.6	57.7	3.97
3	38.9	56.3	5.44
5	37.5	57.5	5.45
7	40.8	60.1	6.53
9	36.5	59.1	6.75
11	36.6	60.3	6.73
แป้งดิบ	59.9	78.5	8.42

1) To (องศาเซลเซียส) : onset temperature

2) Tc (องศาเซลเซียส) : conclusion temperature

3) ΔH (cal/g) : enthalpy

จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 พบว่า peak ที่เกิดขึ้นใหม่ในตัวอย่างแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังผ่านการแช่เย็นที่เตรียมขึ้นจากเวลาในการแช่ข้าวต่าง ๆ กัน ไม่ได้เป็น peak ที่เกิดจากพลังงานในการสลายพันธะภายในผลึกของเม็ดแป้งดิบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิในการหลอมเหลวผลึก (To - Tc) ของแป้งดิบ พบว่าตัวอย่างแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังผ่านการแช่เย็นจากเวลาในการแช่ข้าวต่างกัน มีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่ง peak ที่ได้เกิดจากการจัดเรียงตัวของพันธะขึ้นใหม่ภายในตัวอย่างแป้งหลังผ่านการ gelatinization แล้ว ส่วนพลังงานในการสลายผลึก (ΔH) พบว่ามีแนวโน้มใช้พลังงานสูงขึ้นในตัวอย่างแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังผ่านการแช่เย็นจากเวลาในการแช่ข้าวที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานในการสลายผลึกในตัวอย่างแป้งจากเวลาการแช่ข้าวต่างกันไม่ได้เป็นพลังงานในการสลายพันธะภายในผลึกของเม็ดแป้ง แต่เป็นพลังงานในการสลายพันธะที่เกิดขึ้นใหม่หลังผ่านการ gelatinization แล้ว

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าผลลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่ได้จากการแช่ข้าวที่เวลา 9 ชั่วโมงมีความหนาแน่นต่ำ โดยไม่แตกต่างกับเวลาในการแช่ที่ 11 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) มีปริมาตรการพองตัวสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมสูง จึงเลือกเวลาในการแช่ข้าวที่ 9 ชั่วโมงเป็นตัวแทนในการศึกษาข้อต่อไป

4.4 ผลของอุณหภูมิและเวลานึ่งต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาเวลาแช่ข้าวที่เหมาะสมในข้อ 4.3 พบว่าเวลาในการแช่ข้าวที่ 9 ชั่วโมงก่อนนึ่งเป็นแบ่งเป็นภาวะที่เหมาะสม จึงใช้ภาวะนี้เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งโดยแปรอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนนึ่งเป็น 3 ระดับคือ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการนึ่งเป็น 3 ระดับคือ 10 20 และ 30 นาที แล้วนำแบ่งมาทำผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 3.1 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรวจสอบทางด้าน ความหนาแน่น (bulk density) ปริมาตรการพองตัว (volume expansion) และความแข็ง (hardness) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.7-4.9

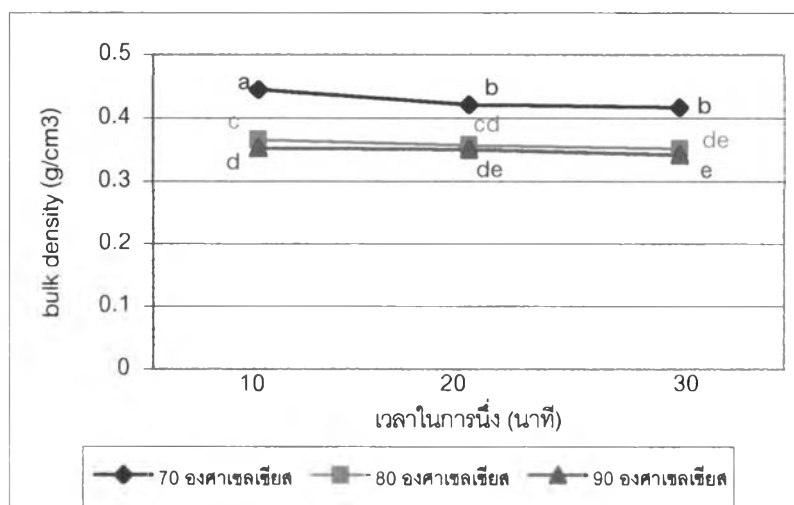
ตารางที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนนึ่งและเวลานึ่งต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความหนาแน่น * (g/cm ³)	ปริมาตรการพองตัว * (%)	ความแข็ง (gram)
70	10	0.445 ± 0.02a	151.66 ± 2.86d	3047.02 ± 145.3
	20	0.421 ± 0.02b	156.24 ± 0.74d	2859.30 ± 168.6
	30	0.416 ± 0.01b	176.30 ± 1.08b	2982.35 ± 103.3
80	10	0.366 ± 0.02c	169.12 ± 2.60c	2287.03 ± 169.6
	20	0.358 ± 0.02cd	177.90 ± 0.36b	2337.96 ± 155.9
	30	0.352 ± 0.01de	178.50 ± 1.52b	2428.93 ± 118.2
90	10	0.353 ± 0.02d	193.55 ± 2.12a	2095.96 ± 201.5
	20	0.350 ± 0.02de	193.57 ± 2.76a	2169.51 ± 185.8
	30	0.342 ± 0.02e	194.26 ± 3.12a	2359.28 ± 166.7

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนาแน่น (bulk density)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



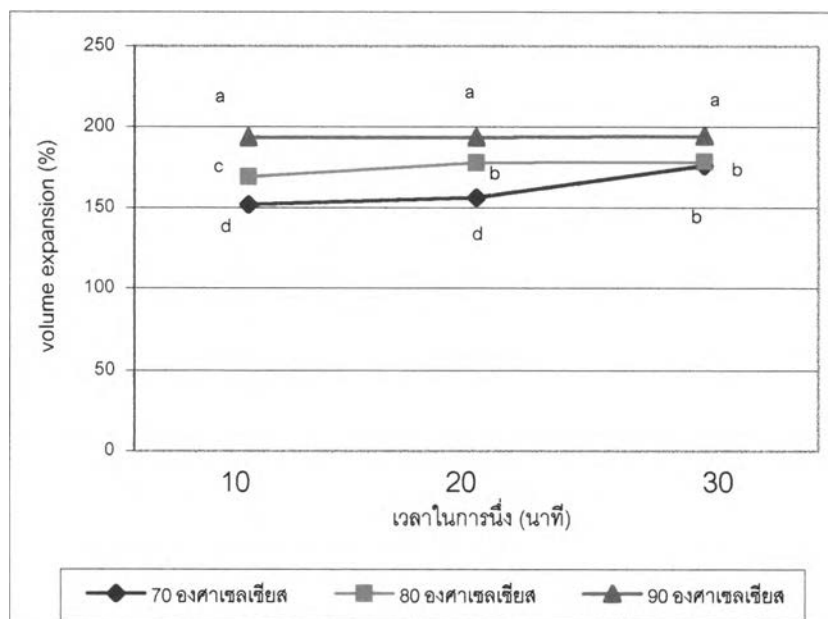
a, b ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.7 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและเวลาในการนึ่งต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๔.3) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและระยะเวลาในการนึ่งมีผลทำให้ความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและเวลาในการนึ่งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นลดลงโดยผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง 70 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลา มีปริมาตรการพองตัวสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่มีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง 80 และ 90 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาตรการพองตัว (volume expansion)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



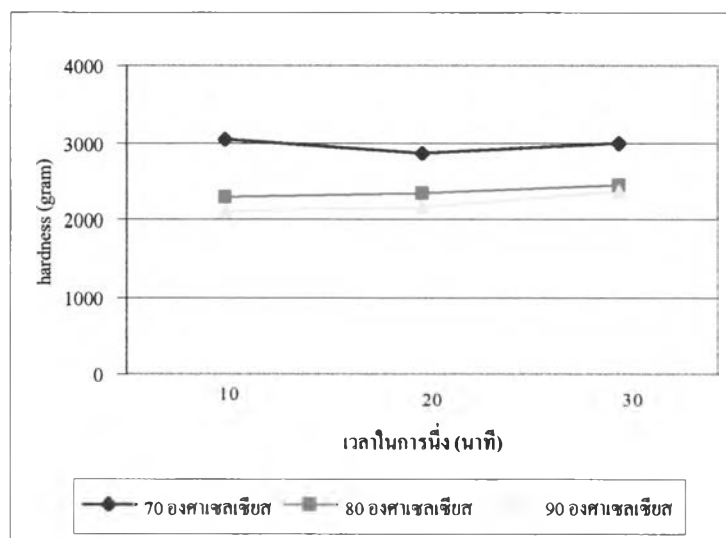
a, b ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.8 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและเวลาในการนึ่งต่อปริมาตร การพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๔.3) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลาง ก่อนแปรงและระยะเวลาในการนึ่งมีผลทำให้ปริมาตรการพองตัวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและเวลาในการนึ่งที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรการพองตัวสูงขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลาง ก่อนแปรง 90 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลามีปริมาตรการพองตัวสูง โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความแข็ง (hardness)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงและเวลาในการนึ่งต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ ๑.3) พบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงจะมีผลให้ความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงที่มีต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความแข็งของผลิตภัณฑ์ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความแข็ง (gram)
70	2959.88 ± 74.66 a
80	2351.30 ± 58.69 b
90	2207.58 ± 111.17 b

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่มีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่มีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 70 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน ความกรอบ ความรู้สึกละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ต่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาในการนึ่งของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อแปรอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาในการนึ่ง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกรอบ	ลักษณะการ ละลาย ในปาก	ลักษณะความ หยาบของ ผลิตภัณฑ์	กลิ่นหอมของ ข้าว	การยอมรับรวม
70	10	2.67 ± 0.14	3.83 ± 0.14	4.30 ± 0.22	4.0 ± 0.17	2.83 ± 0.01 d
	20	3.83 ± 0.14	4.83 ± 0.10	4.5 ± 0.18	5.20 ± 0.10	4.67 ± 0.04 bcd
	30	3.67 ± 0.23	4.33 ± 0.17	5.00 ± 0.17	4.30 ± 0.00	3.83 ± 0.15 cd
80	10	5.50 ± 0.21	5.17 ± 0.21	5.50 ± 0.18	4.70 ± 0.18	4.83 ± 0.19 abc
	20	5.60 ± 0.09	6.33 ± 0.11	6.00 ± 0.12	6.20 ± 0.09	5.50 ± 0.06 abc
	30	6.33 ± 0.26	6.33 ± 0.17	6.80 ± 0.10	6.00 ± 0.11	6.33 ± 0.17 ab
90	10	7.00 ± 0.14	6.83 ± 0.15	5.80 ± 0.13	5.70 ± 0.13	6.83 ± 0.15 a
	20	5.67 ± 0.20	6.67 ± 0.17	5.70 ± 0.24	5.70 ± 0.18	5.50 ± 0.22 abc
	30	6.00 ± 0.16	5.50 ± 0.15	6.20 ± 0.14	6.30 ± 0.11	5.83 ± 0.18 abc

a,b ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๑.4) พบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งมีผลทำให้คะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์และกลิ่นหอมของข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ

จุดกึ่งกลางก่อนแปรงและระยะเวลาในการนึ่งมีผลทำให้คะแนนด้านการยอมรับรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่มีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาทีได้คะแนนด้านการยอมรับรวมสูงแต่ไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่มีอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง 80 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลา และ 90 องศาเซลเซียส 20 และ 30 นาที ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงต่อคะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ และกลิ่นหอมของข้าว ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คะแนนประสาทสัมผัสด้าน ความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ และกลิ่นหอมของข้าว เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง

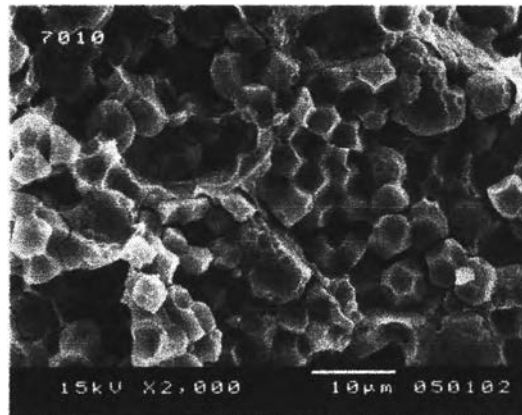
อุณหภูมิในการนึ่ง (องศาเซลเซียส)	ความกรอบ	ลักษณะการละลาย ในปาก	ลักษณะความหยาบ ของผลิตภัณฑ์	กลิ่นหอมของข้าว
70	3.39 ± 0.19 b	4.33 ± 0.15 b	4.61 ± 0.20 b	4.61 ± 0.17 b
80	5.94 ± 0.20 a	5.94 ± 0.17 a	6.11 ± 0.16 a	5.61 ± 0.15 a
90	6.17 ± 0.20 a	6.33 ± 0.18 a	5.89 ± 0.19 a	5.89 ± 0.15 a

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

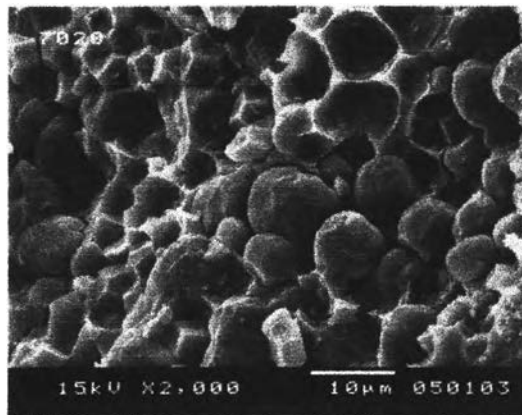
จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่ออุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรงเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้คะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ และกลิ่นหอมของข้าวเพิ่มขึ้น โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแปรง 80 และ 90 องศาเซลเซียส มีคะแนนทางประสาทสัมผัสในด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ และกลิ่นหอมของข้าวสูงและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.4.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในก่อนแปรงด้วยกล้อง SEM

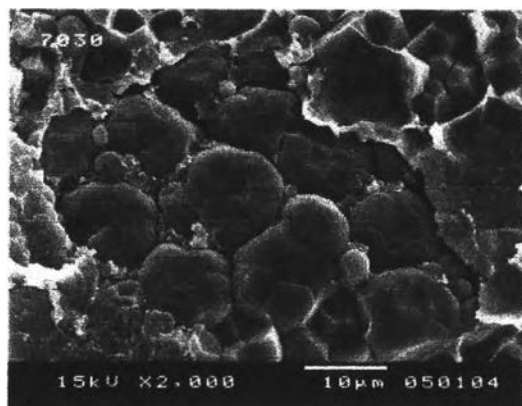
นำตัวอย่างแป้งที่ผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน (ดังภาคผนวก ค) มาศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในก่อนแปรงและ ลักษณะผลึกของเม็ดแป้ง โดยใช้กำลังขยาย 2000 เท่า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10 – 4.17



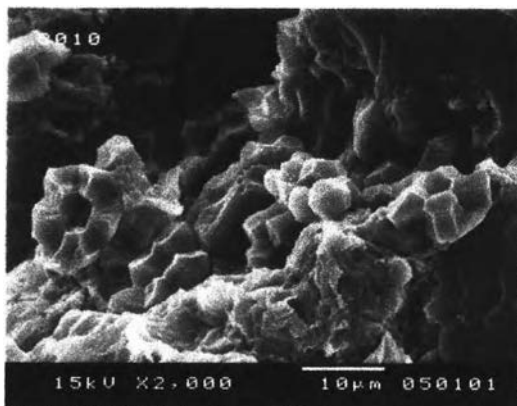
รูปที่ 4.10 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 70 °c เวลา 10 นาที



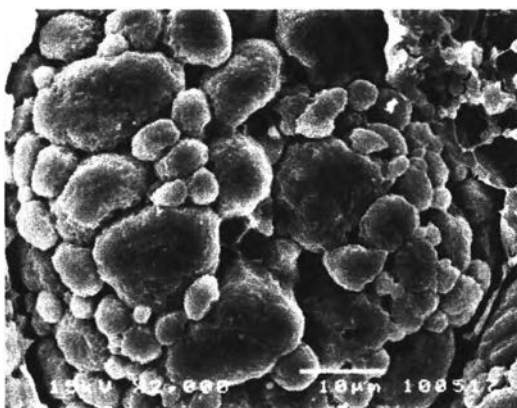
รูปที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 70 °c เวลา 20 นาที



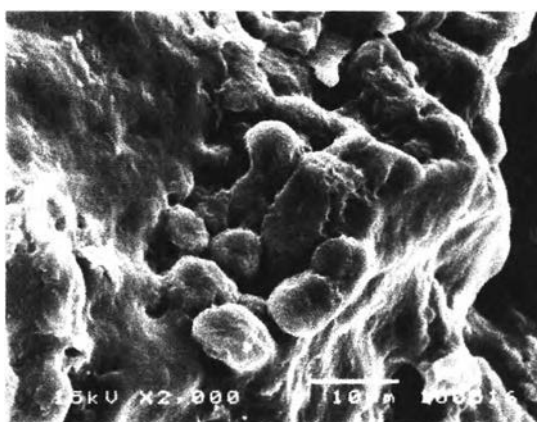
รูปที่ 4.12 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 70 °c เวลา 30 นาที



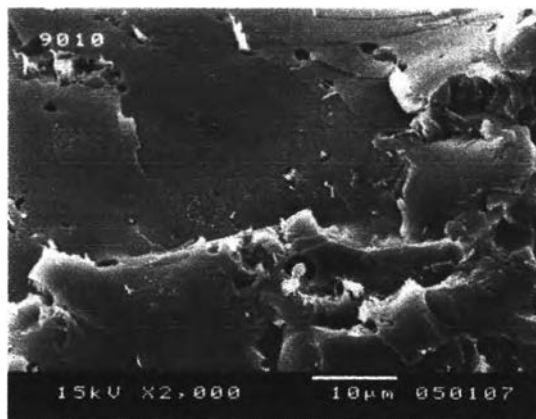
รูปที่ 4.13 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป่งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป่ง 80 °c เวลา 10 นาที



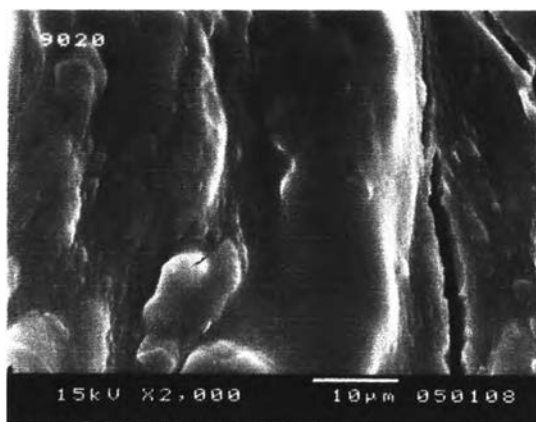
รูปที่ 4.14 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป่งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป่ง 80 °c เวลา 20 นาที



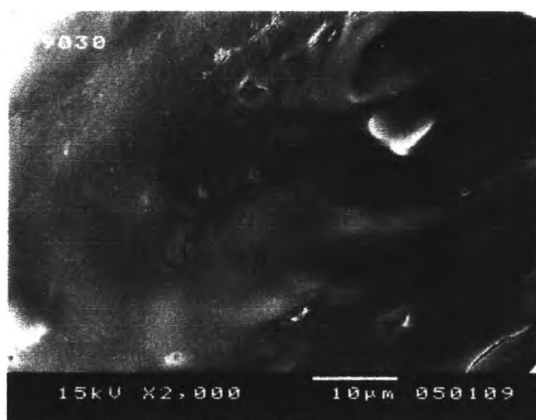
รูปที่ 4.15 ลักษณะโครงสร้างภายในของแป่งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป่ง 80 °c เวลา 30 นาที



รูปที่ 4.16 ลักษณะโครงสร้างภายในของเมมเบรนที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแห้ง 90 °c เวลา 10 นาที



รูปที่ 4.17 ลักษณะโครงสร้างภายในของเมมเบรนที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแห้ง 90 °c เวลา 20 นาที



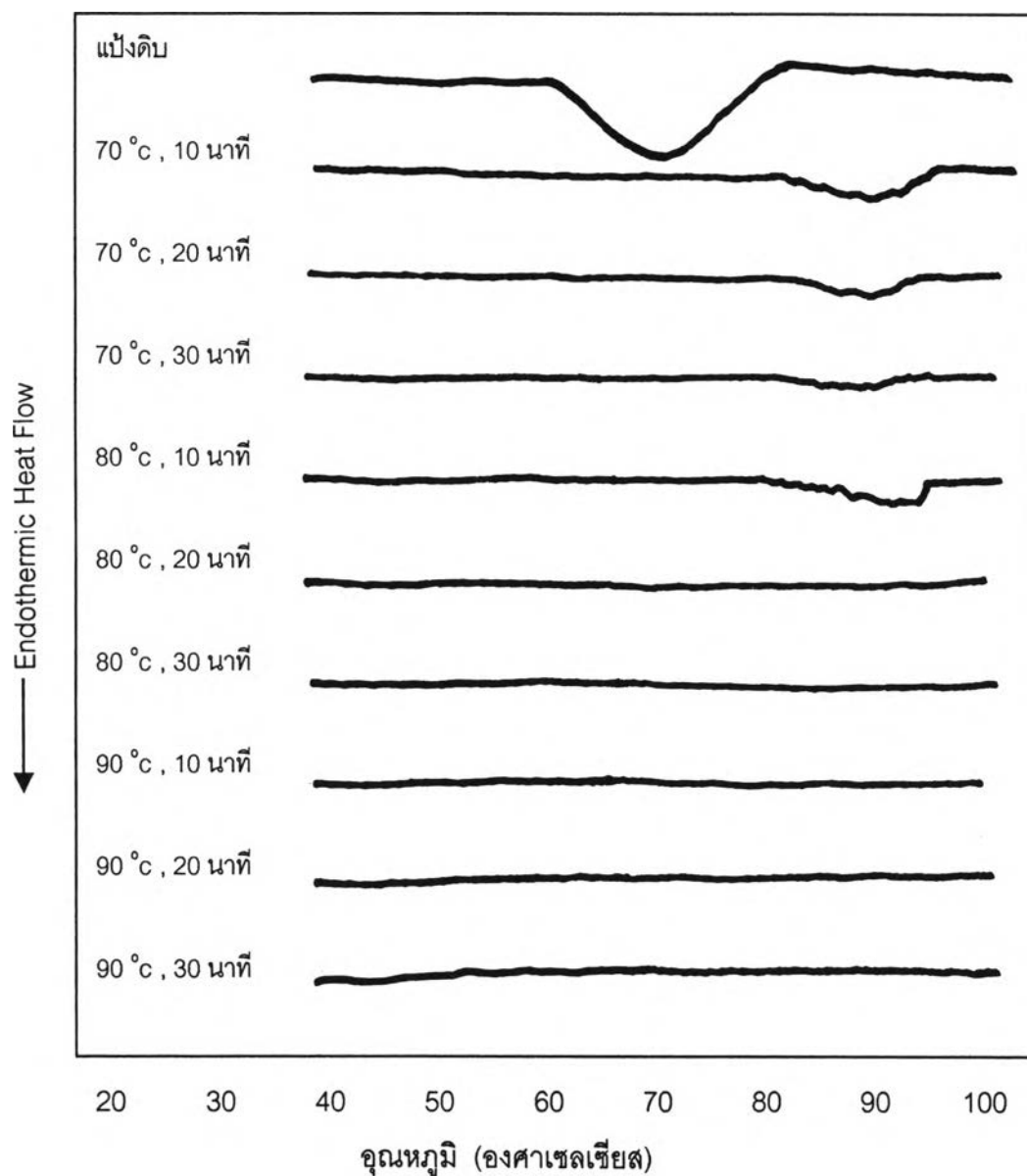
รูปที่ 4.18 ลักษณะโครงสร้างภายในของเมมเบรนที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแห้ง 90 °c เวลา 30 นาที

จากผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในของแป้งที่เตรียมขึ้นจากอนุหุมิจูดกึ่งกลาง ก้อนแป้งและเวลาในการนึ่งต่าง ๆ กันด้วยกล้อง SEM พบว่าตัวอย่างแป้งที่อนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อน แป้ง 70 และ 80 องศาเซลเซียสในทุกระดับเวลา ไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลที่สมบูรณ์ เนื่องจากยังพบ เม็ดแป้งหลงเหลืออยู่ในก้อนแป้งตัวอย่าง แป้งที่มีอนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อนแป้ง 70 องศาเซลเซียสทุก ระดับเวลา และอนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อนแป้ง 80 องศาเซลเซียส 10 นาที ยังพบเม็ดแป้งที่สมบูรณ์ซึ่ง ยังไม่เกิดการพองตัวกระจายอยู่ทั่วไปในก้อนแป้ง ส่วนแป้งที่มีอนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อนแป้ง 80 องศา เซลเซียส 20 และ 30 นาที ตรวจพบเม็ดแป้งที่พองตัวขึ้นแต่ยังไม่แตกออกกระจายตัวอยู่ทั่วไปในก้อน แป้ง ในขณะที่แป้งที่มีอนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อนแป้ง 90 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลา ตรวจไม่พบเม็ด แป้งทั้งที่พองตัวและไม่พองตัวหลงเหลืออยู่อีก แต่พบลักษณะของเม็ดแป้งที่แตกออกและหลอมรวม เป็นเนื้อเดียวกัน เกิดเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสม่ำเสมอให้ลักษณะเจลที่สมบูรณ์ ดังนั้นการนึ่งที่ อนุหุมิจูดกึ่งกลางก้อนแป้ง 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที จึงเป็นภาวะที่ต่ำสุดสำหรับการ เกิดเจลาตินในชั้นของแป้งที่สมบูรณ์



4.4.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วย DSC

นำตัวอย่างแป้งหลังผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาต่าง ๆ กัน มาศึกษา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วยเครื่อง DSC ให้ผลดังรูปที่ 4.19 และ ตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.19 DSC thermograms ของแป้งหลังผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาต่างกัน

ตารางที่ 4.8 DSC Characteristics ของแป้งหลังผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาท)	To ¹⁾ (องศาเซลเซียส)	Tc ²⁾ (องศาเซลเซียส)	ΔH (cal/g) ³⁾
70	10	80.3	95.5	2.54
	20	81.2	95.0	1.33
	30	79.2	93.3	0.32
80	10	79.5	95.0	1.55
	20	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
	30	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
90	10	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
	20	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
	30	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
แป้งดิบ		61.2	80.3	8.53

1) To (องศาเซลเซียส) ¹⁾ : onset temperature

2) Tc (องศาเซลเซียส) ²⁾ : conclusion temperature

3) ΔH (cal/g) ³⁾ : enthalpy

4) : no peak

จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 70 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลา และ 80 องศาเซลเซียส 10 นาที ไม่เพียงพอสอดการเกิด gelatinization ที่สมบูรณ์ของแป้งเนื่องจากยังพบ peak ของพลังงานในการหลอมเหลวผลึก (ΔH) ปรากฏอยู่ ส่วนที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 และ 30 นาที รวมถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลานั้นไม่พบ peak ของพลังงานในการหลอมเหลวผลึก เนื่องจากเป็นภาวะที่สามารถทำลายพันธะในเม็ดแป้งได้ทั้งหมด จึงไม่พบ peak ปรากฏขึ้นอีกที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว ดังนั้นอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 80 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที เป็นภาวะการนึ่งต่ำสุดที่สามารถทำลายพันธะในเม็ดแป้งได้ทั้งหมด ส่วนช่วงของอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) มีแนวโน้มให้ค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับช่วงอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) ของแป้งดิบ

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนึ่งที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ให้ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีปริมาตรการพองตัวสูงโดยไม่แตกต่างกับอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้ง 90 องศาเซลเซียส เวลา 20 และ 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมสูง จึงเลือกอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนแป้งและเวลาในการนึ่งที่ 90 องศาเซลเซียสเวลา 10 นาทีเป็นตัวแทนไปศึกษาต่อไป

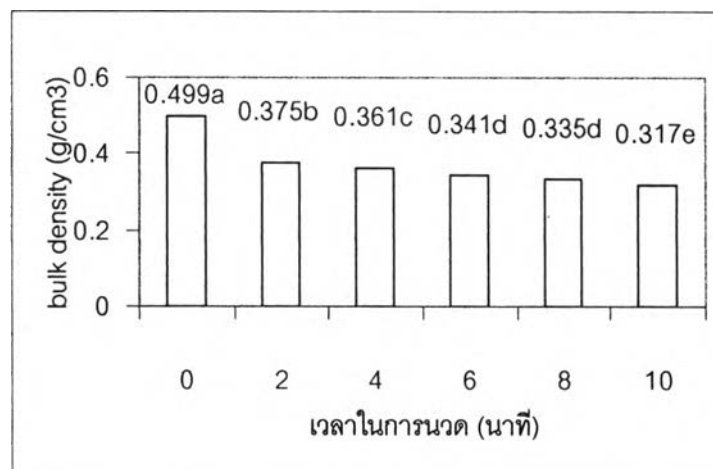
4.5 ผลของเวลาในการนวดต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งแป้งที่เหมาะสมในข้อ 4.4 พบว่าอุณหภูมิจุดกึ่งกลางก่อนนึ่ง 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการนึ่งที่ 10 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมจึงใช้ภาวะนี้เพื่อศึกษาระยะเวลาในการนวดแป้ง โดยแปรระยะเวลาในการนวดเป็น 6 ระดับคือ 0 2 4 6 8 และ 10 นาที แล้วนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาตรวจสอบสมบัติทางด้านความหนาแน่น (bulk density) ปริมาตรการพองตัว (volume expansion) และความแข็ง (hardness) ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.20 – 4.22

4.5.1 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ค่าความหนาแน่น (bulk density)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการนวดแป้งมีผลต่อความหนาแน่นของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ๑.5) ดังแสดงในรูปที่ 4.20

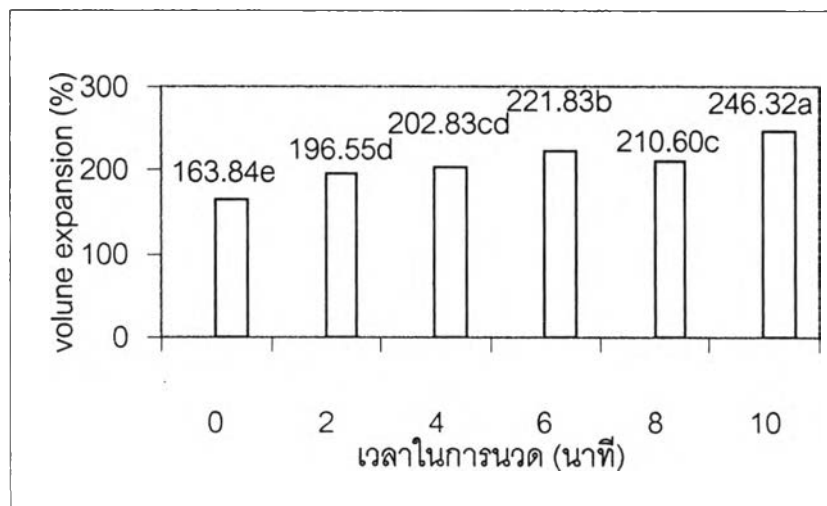


a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
รูปที่ 4.20 ผลของเวลาในการนวดต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่ไม่ผ่านการนวดมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดรองลงมาคือที่ 2 และ 4 นาทีตามลำดับ ส่วนเวลาในการนวดที่ 6 และ 8 นาที มีค่าความหนาแน่นค่อนข้างต่ำแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าที่เวลาในการนวด 10 นาทีผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำกว่าทุกเวลาในการนวดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาตรการพองตัว (volume expansion)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการนวดแป้งมีผลต่อปริมาตรการพองตัวของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ๑.5) ดังแสดงในรูปที่ 4.21

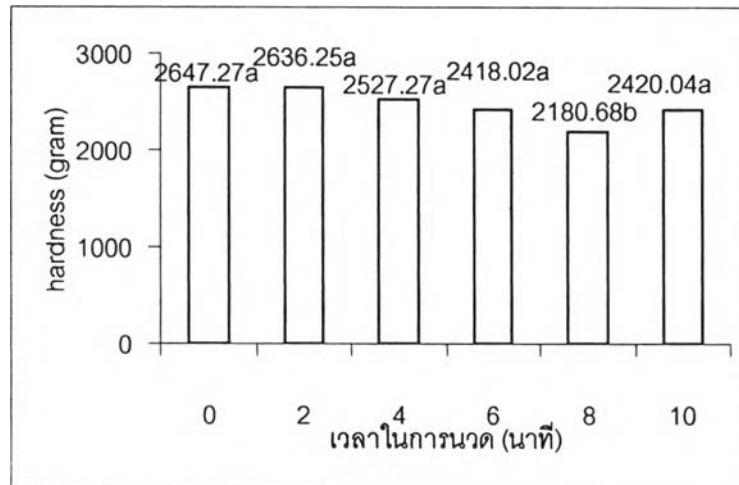


a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
รูปที่ 4.21 ผลของเวลาในการนวดต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากแป้งที่นวดที่เวลา 10 นาทีมีปริมาตรการพองตัวสูงที่สุดรองลงมาคือที่เวลา 6 นาที ส่วนเวลาในการนวดที่ 2 4 และ 8 นาที ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรการพองตัวค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้จากแป้งที่ไม่ผ่านการนวดมีปริมาตรการพองตัวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าความแข็ง (hardness)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าเวลาในการนวดแป้งมีผลต่อความแข็งของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ๑.5) ดังแสดงในรูปที่ 4.22



a,b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
รูปที่ 4.22 ผลของเวลาในการนวดต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งนวดที่เวลา 0 2 4 6 และ 10 นาที มีค่าความแข็งสูงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่แป้งนวดที่เวลา 8 นาทีมีค่าความแข็งต่ำกว่าเวลาในการนวดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน ความกรอบ ความรู้สึกละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ต่อเวลาในการนวดของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อแปรเวลาในการนวด
แบ่งต่างกัน

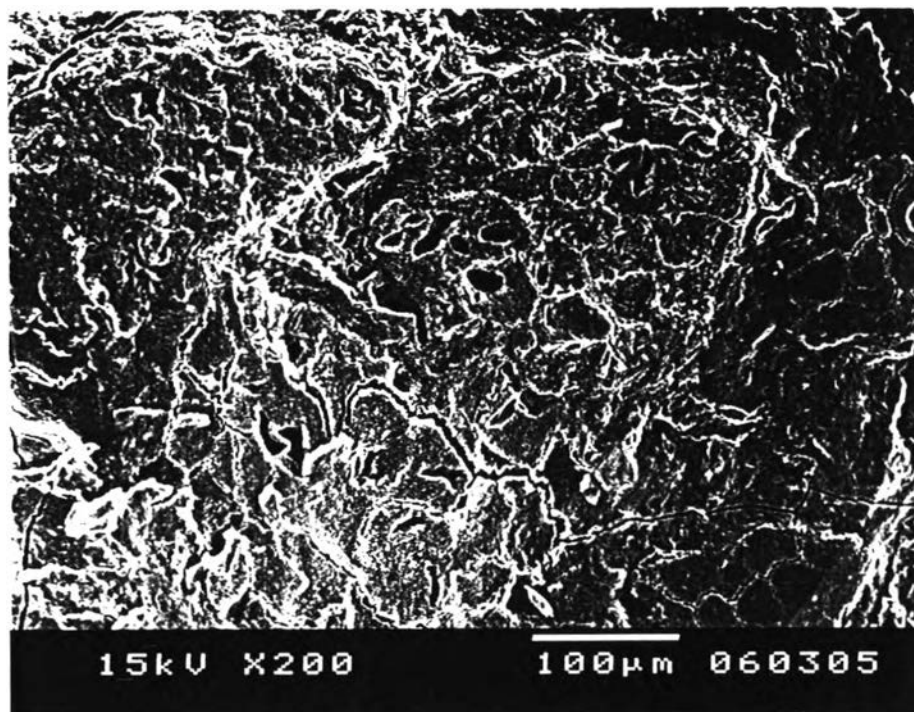
เวลาใน การนวด (นาที)	ความกรอบ	ลักษณะการ ละลายในปาก	ลักษณะความ หยาบของ ผลิตภัณฑ์	กลิ่นหอม ของข้าว	การยอมรับรวม
0	2.20 ± 0.07 e	2.60 ± 0.12 d	2.00 ± 0.00 e	3.6 ± 0.13 b	2.00 ± 0.06 c
2	5.60 ± 0.08 d	5.20 ± 0.09 c	5.80 ± 0.07 d	5.20 ± 0.11 ab	5.20 ± 0.13 b
4	6.20 ± 0.07 cd	6.40 ± 0.08 bc	6.80 ± 0.40 c	5.40 ± 0.13 a	5.25 ± 0.49 b
6	8.20 ± 0.06 ab	7.00 ± 0.63 ab	7.80 ± 0.75 b	5.80 ± 0.14 a	8.20 ± 0.16 a
8	8.20 ± 0.08 ab	6.20 ± 0.08 ab	6.60 ± 0.08 cd	5.60 ± 0.08 a	6.80 ± 0.11 ab
10	8.60 ± 0.08 a	8.20 ± 0.40 a	8.00 ± 0.63 a	5.60 ± 0.63 a	7.00 ± 0.40 ab

a,b ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มนี้เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

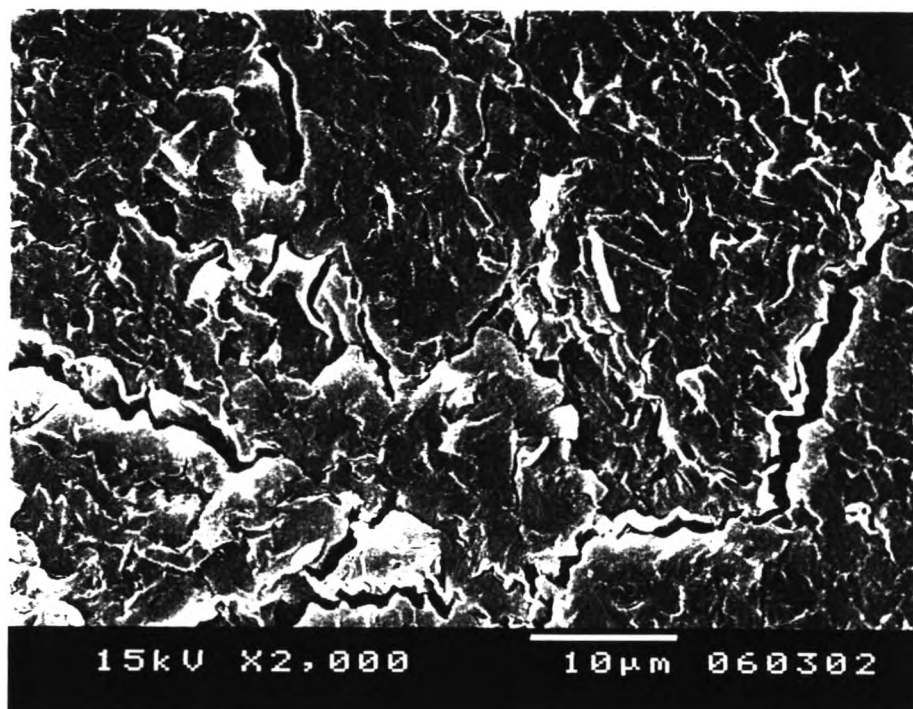
จากตารางที่ 4.9 พบว่าระยะเวลาในการนวดมีผลต่อคะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทุกค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการนวดเพิ่มขึ้น โดยเวลาในการนวด 10 นาทีให้คะแนนด้านลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ส่วนระยะเวลาในการนวด 2 4 6 8 และ 10 นาที ให้คะแนนด้านกลิ่นหอมของข้าวสูง แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ระยะเวลาในการนวดที่ 6 8 และ 10 นาที จะได้คะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก และการยอมรับรวมสูงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5.3 ผลการศึกษาโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ด้วยกล้อง SEM

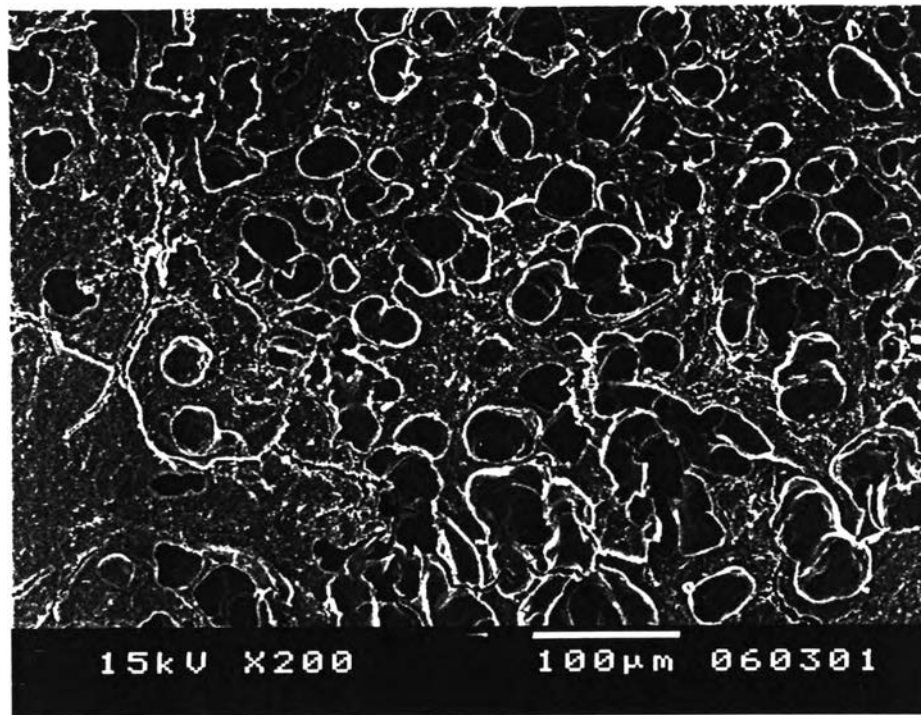
นำตัวอย่างแป้งที่ผ่านการนวด (โมจิ) ที่เวลาต่างกัน (ดังภาคผนวก ค) มาศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้งและลักษณะผลึกของเม็ดแป้ง โดยใช้กำลังขยาย 200 และ 2000 เท่า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.23 – 4.34



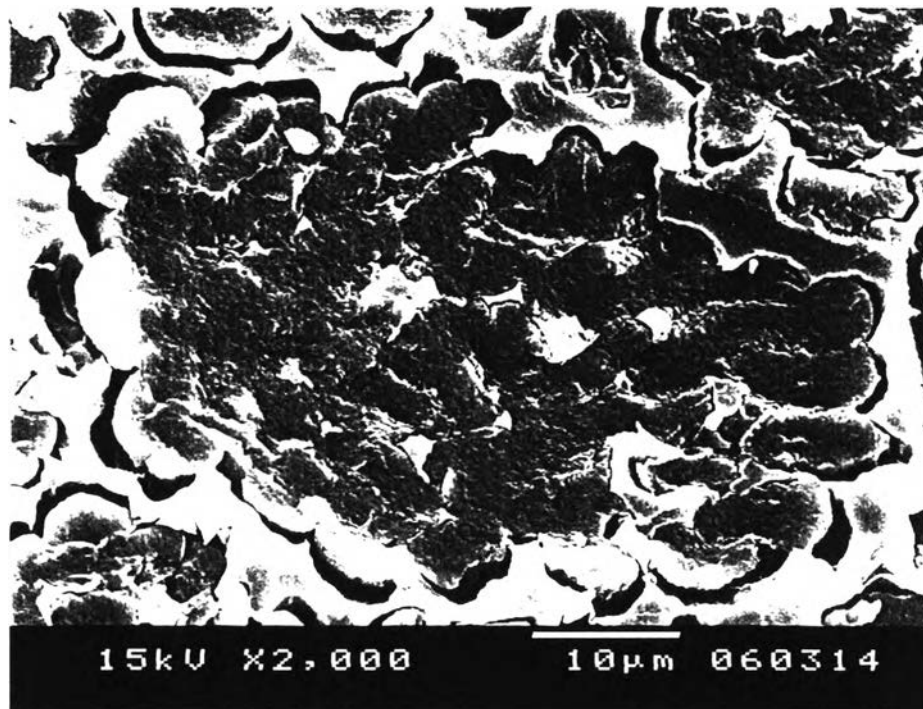
รูปที่ 4.23 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ไม่ผ่านการนวด (X200 เท่า)



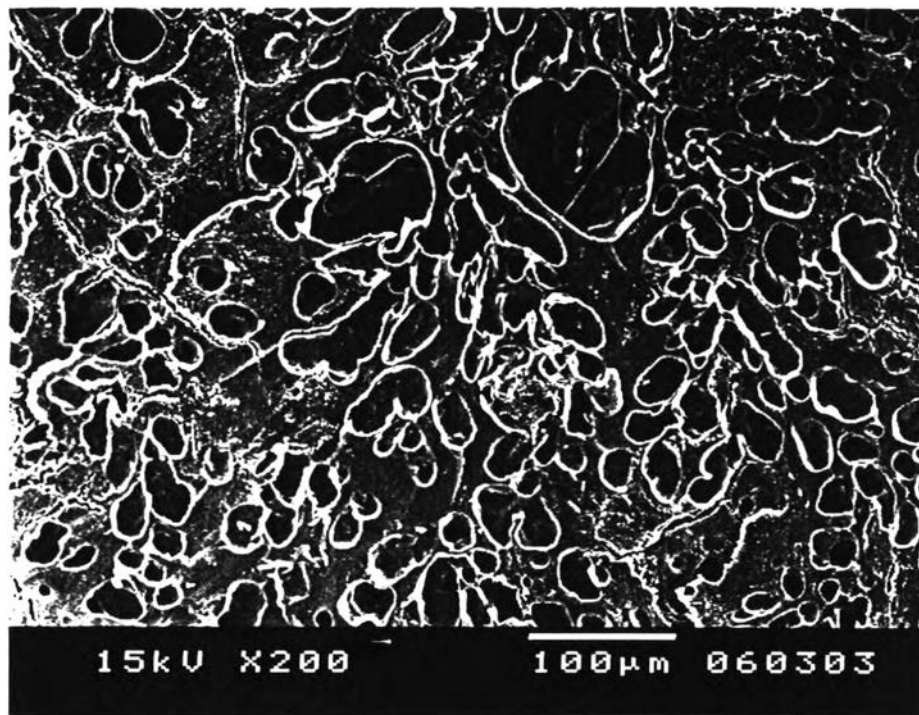
รูปที่ 4.24 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ไม่ผ่านการนวด (X2000 เท่า)



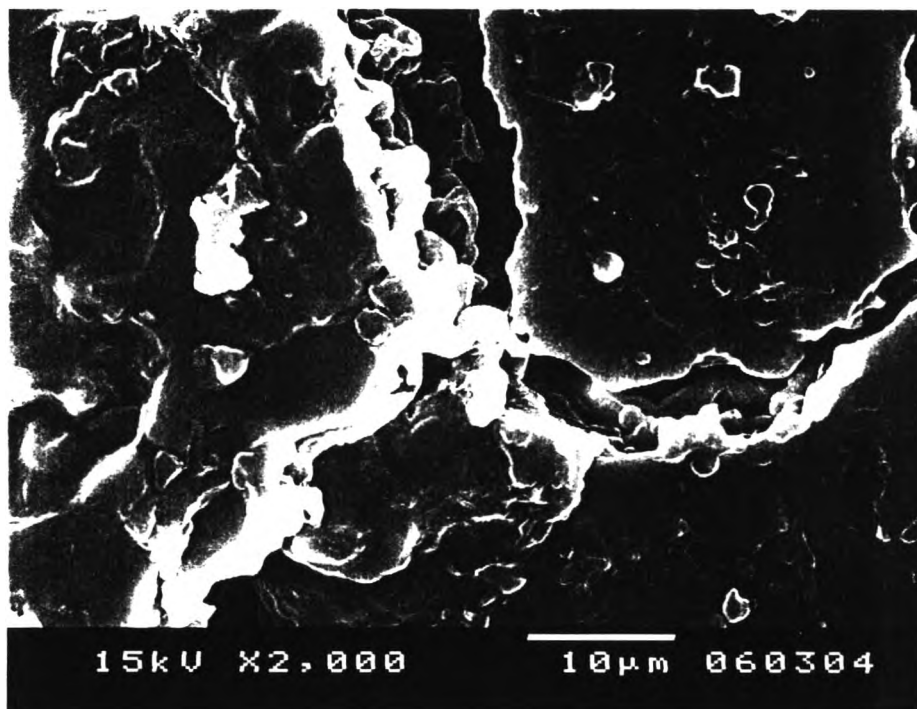
รูปที่ 4.25 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแข็ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 2 นาที (X200 เท่า)



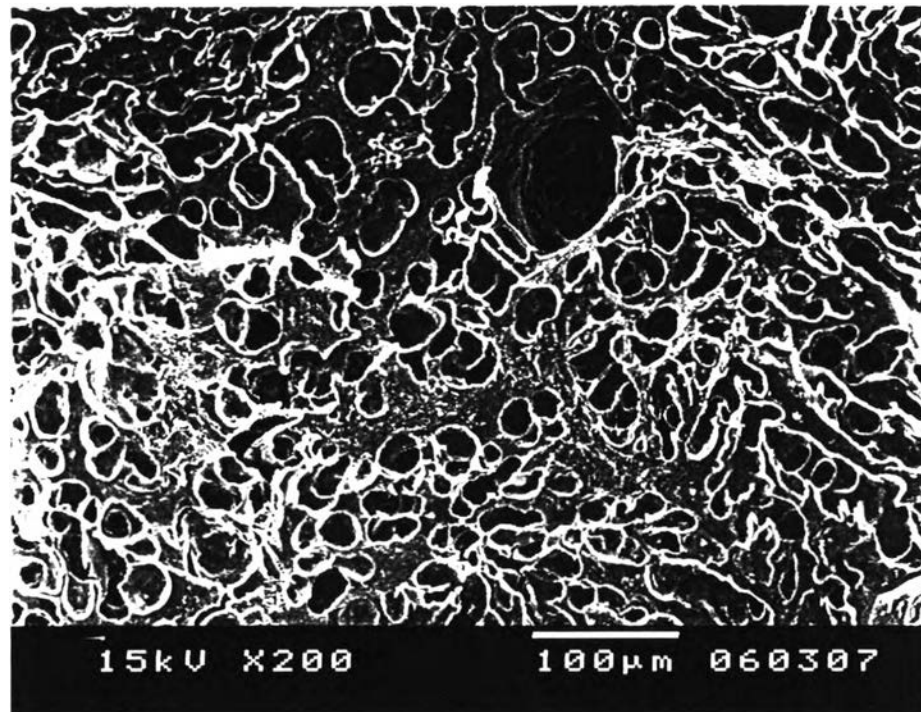
รูปที่ 4.26 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแข็ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 2 นาที (X2000 เท่า)



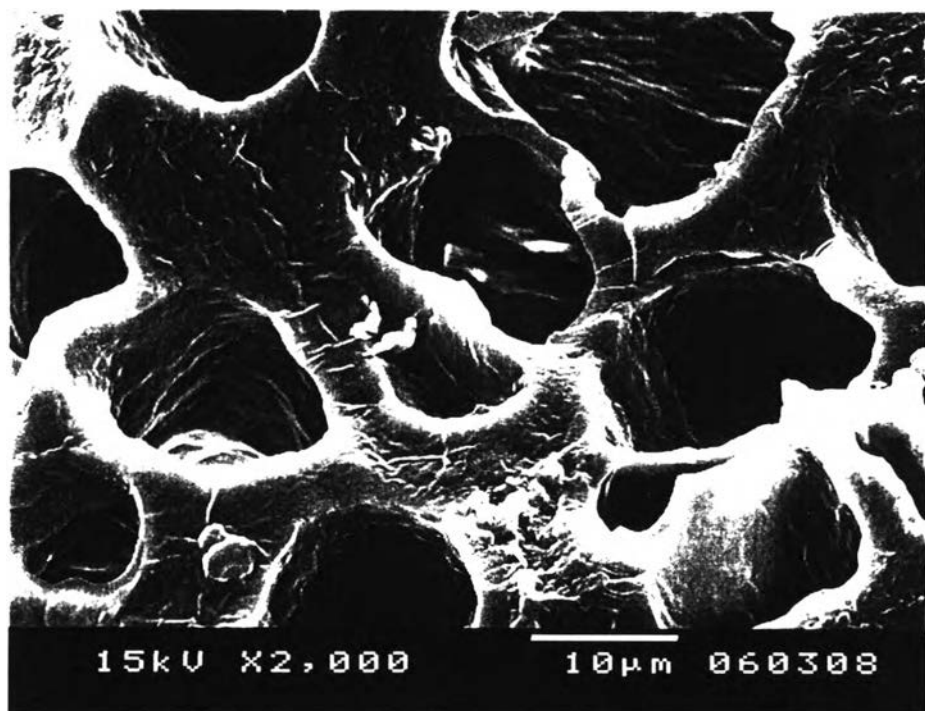
รูปที่ 4.27 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 4 นาที (X200 เท่า)



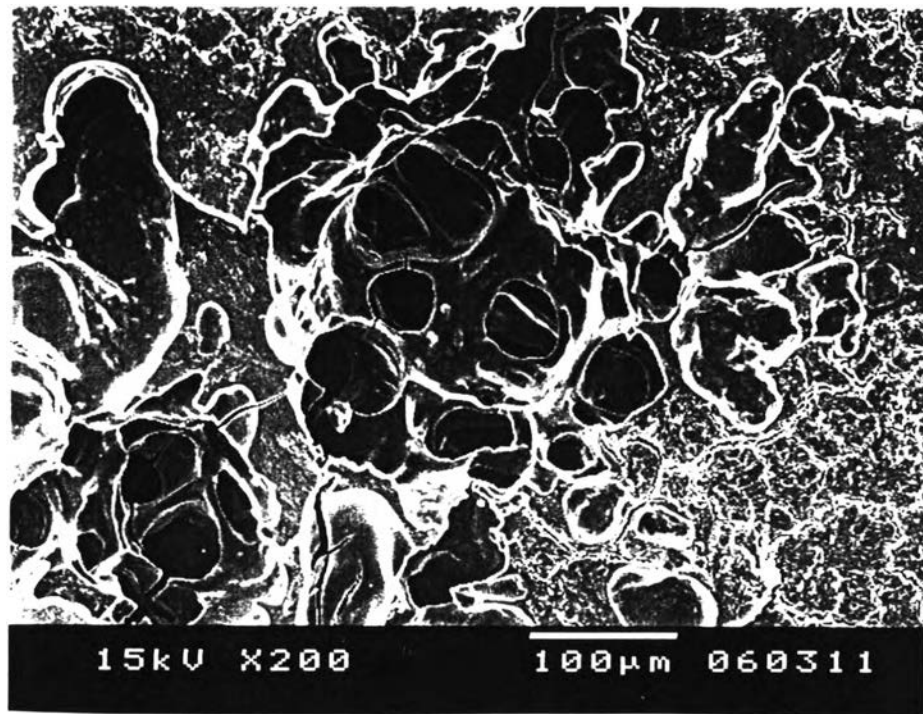
รูปที่ 4.28 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 4 นาที (X2000 เท่า)



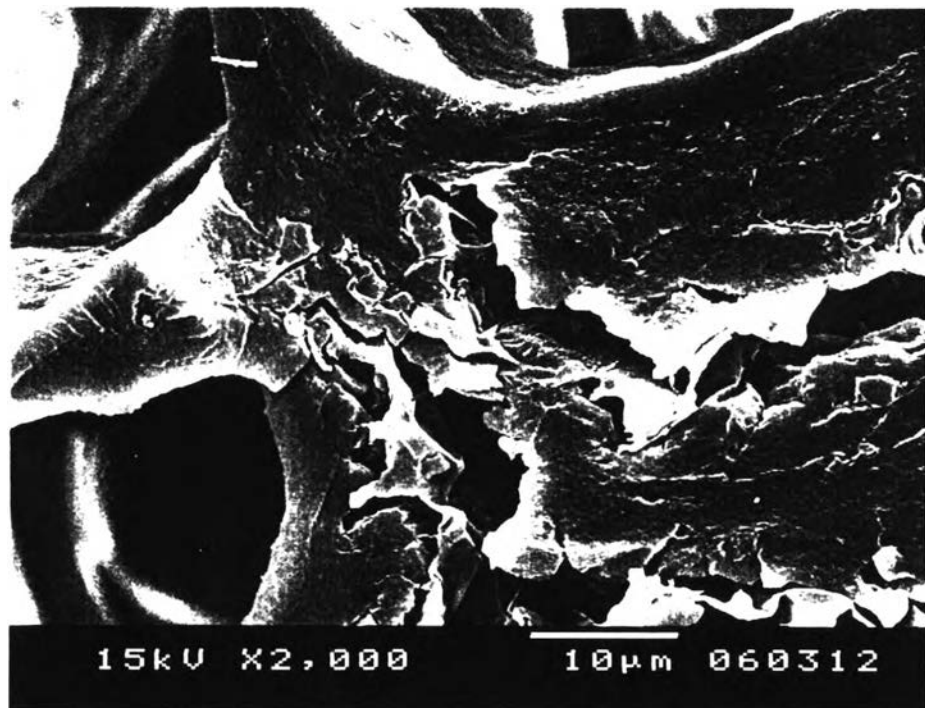
รูปที่ 4.29 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 6 นาที (X200 เท่า)



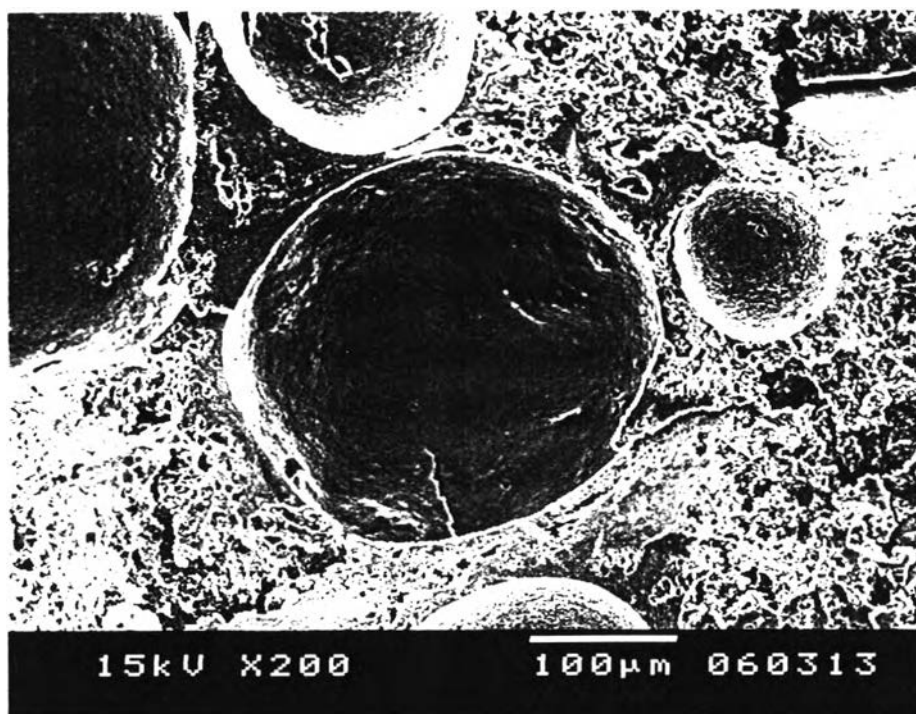
รูปที่ 4.30 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 6 นาที (X2000 เท่า)



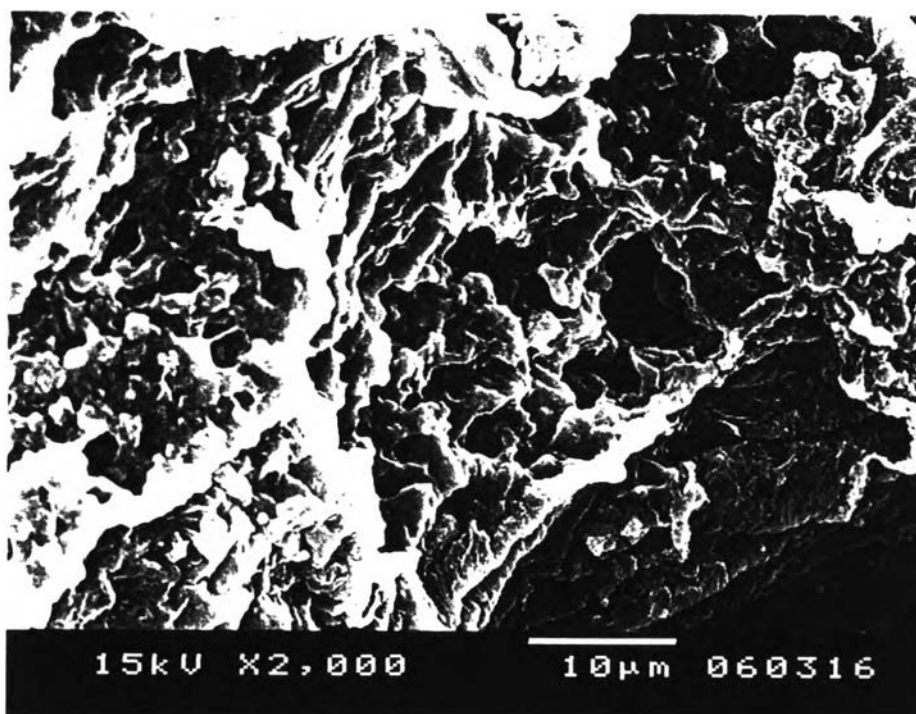
รูปที่ 4.31 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 8 นาที (X200 เท่า)



รูปที่ 4.32 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 8 นาที (X2000 เท่า)



รูปที่ 4.33 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 10 นาที (X200 เท่า)



รูปที่ 4.34 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่ผ่านการนวด 10 นาที (X2000 เท่า)

จากผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมขึ้นจากเวลาในการนวดต่าง ๆ กันด้วยกล้อง SEM พบว่า

กำลังขยาย 200 เท่า

จากรูปพบว่า ตัวอย่างแป้งที่ไม่ผ่านการนวด จะมีลักษณะเนื้อค่อนข้างแน่น พบโพรงอากาศน้อยมาก และมีลักษณะเนื้อค่อนข้างแห้งกระด้าง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับก้อนแป้งที่ไม่ผ่านการนวดจากการสุ่มตัวอย่างในโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ฉ) (รูปที่ ฉ.1) เมื่อเวลาในการนวดเพิ่มมากขึ้นก้อนแป้ง (โมจิ) จะมีโพรงอากาศเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการนวดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาในการนวด 6 นาที พบว่ามีโพรงอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอจำนวนมากกระจายอยู่โดยทั่วไปในก้อนแป้ง ส่วนเวลาในการนวด 8 นาที โพรงอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เกิดจากโพรงอากาศแต่ละโพรงแตกออกจากแรงที่เกิดขึ้นจากการเสียดทานของการนวด และหลอมรวมกันได้เป็นโพรงอากาศขนาดใหญ่ ส่วนเวลาในการนวด 10 นาที พบว่าบางส่วนของผิวก้อนแป้งมีลักษณะฉีกขาดจากแรงเสียดทานของการนวด ส่วนก้อนแป้งหลังผ่านการนวดจากการสุ่มตัวอย่างในโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ฉ) (รูปที่ ฉ.3) พบว่ามีลักษณะของโพรงอากาศขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอโดยทั่วไป

กำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปพบว่า ตัวอย่างแป้งที่ไม่ผ่านการนวด ยังพบผลึกของเม็ดแป้งที่ค่อนข้างสมบูรณ์กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับก้อนแป้งที่ไม่ผ่านการนวดจากการสุ่มตัวอย่างในโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ฉ) (รูปที่ ฉ.2) และมีจำนวนผลึกของเม็ดแป้งน้อยลงเมื่อระยะเวลาในการนวดเพิ่มขึ้น ซึ่งเวลาในการนวด 6 นาที ก้อนแป้งที่ได้ไม่พบผลึกของเม็ดแป้งหลงเหลืออยู่อีกและมีขนาดของโพรงอากาศเท่า ๆ กันและสม่ำเสมอ ส่วนเวลาในการนวด 8 นาที โพรงอากาศค่อนข้างมีขนาดใหญ่และบางส่วนของผิวส่วนเชื่อมต่อนระหว่างโพรงอากาศแต่ละโพรงมีลักษณะถูกทำลายจากแรงเสียดทานของการนวด ในขณะที่เวลาในการนวด 10 นาที ไม่พบโพรงอากาศในก้อนแป้ง (โมจิ) แต่พบว่ามีส่วนของโครงสร้างแป้งที่หลอมรวมกันใหม่อีกครั้ง ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของโพรงอากาศในก้อนแป้ง ส่วนก้อนแป้งหลังผ่านการนวดจากการสุ่มตัวอย่างในโรงงานอุตสาหกรรม (ภาคผนวก ฉ) (รูปที่ ฉ.4) พบโพรงอากาศขนาดใหญ่และขนาดเล็กอยู่รวมกัน และกระจายตัวอยู่ทั่วไปในก้อนแป้ง ดังนั้นที่เวลาในการนวด 6 นาที จึงเป็นเวลาที่ดีที่สุดสำหรับการสร้างโพรงอากาศในก้อนแป้งที่เหมาะสมสำหรับรองรับการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่ใช้เวลานวด 6 นาทีให้ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีปริมาตรการพองตัวค่อนข้างสูง ผลิตภัณฑ์มีลักษณะการพองตัวสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งชิ้น และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมสูง จึงเลือกเวลาในการนวดที่ 6 นาทีเป็นตัวแทนในการศึกษาข้อต่อไป

4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแบ่งต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาเวลาในการนวดแบ่งที่เหมาะสมในข้อ 4.5 พบว่าเวลาในการนวดแบ่งที่ 6 นาทีเป็นภาวะที่เหมาะสมจึงใช้ภาวะนี้เพื่อศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแบ่ง (โมจิ) โดยแปรอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่เย็นเป็น 4 ระดับคือ 10 5 0 และ -5 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการแช่เย็นแบ่งเป็น 3 ระดับคือ 1 2 และ 3 วัน นำมาผลิตผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาตรวจสอบสมบัติทางด้าน ความหนาแน่น (bulk density) ปริมาตรการพองตัว (volume expansion) และความแข็ง (hardness) ได้ผลดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.35 – 4.37

ตารางที่ 4.10 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแบ่งต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

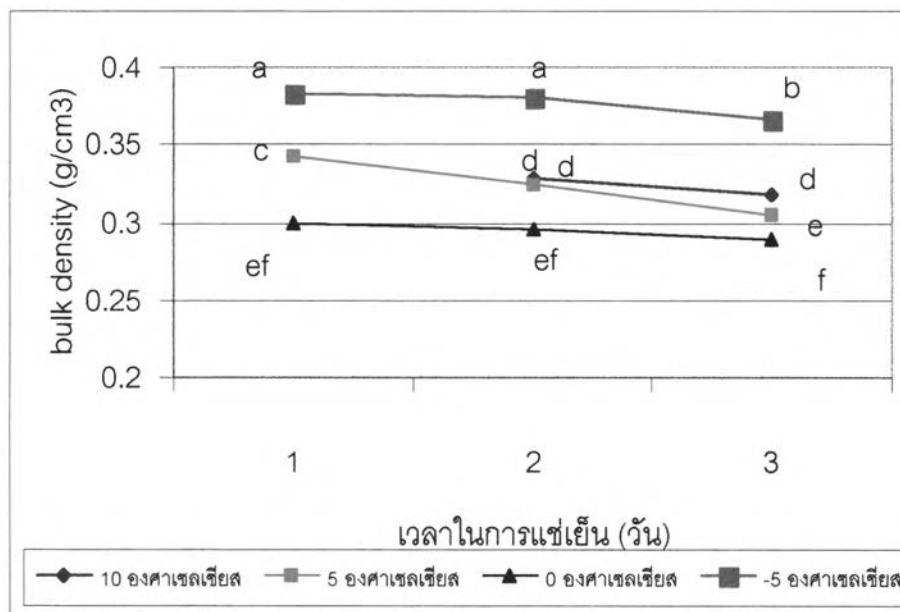
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (วัน)	ความหนาแน่น * (g/cm ³)	ปริมาตรการพองตัว * (%)	ความแข็ง* (gram)
10	1	No data	No data	No data
	2	0.328 ± 0.05 d	226.46 ± 0.23 d	1705.30 ± 45.81 cde
	3	0.318 ± 0.01 d	243.90 ± 1.12 c	1530.57 ± 44.76 ef
5	1	0.342 ± 0.01 c	219.40 ± 2.80 d	1799.17 ± 76.08 bcd
	2	0.324 ± 0.07 e	269.40 ± 4.84 b	1663.50 ± 258.08 de
	3	0.304 ± 0.03 ef	273.56 ± 4.79 b	1438.82 ± 59.10 f
0	1	0.300 ± 0.05 ef	270.20 ± 0.11 b	1718.68 ± 48.99 cde
	2	0.295 ± 0.05 f	274.13 ± 5.56 b	1572.36 ± 77.23 ef
	3	0.289 ± 0.03 a	305.33 ± 4.44 a	1302.41 ± 48.97 g
-5	1	0.383 ± 0.02 a	189.16 ± 8.60 e	2104.58 ± 125.01 a
	2	0.380 ± 0.04 a	200.15 ± 1.53 e	1912.02 ± 33.77 b
	3	a0.366 ± 0.09 a	215.82 ± 3.21 d	1862.97 ± 82.54 bc

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6.1 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ความหนาแน่น (bulk density)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.35



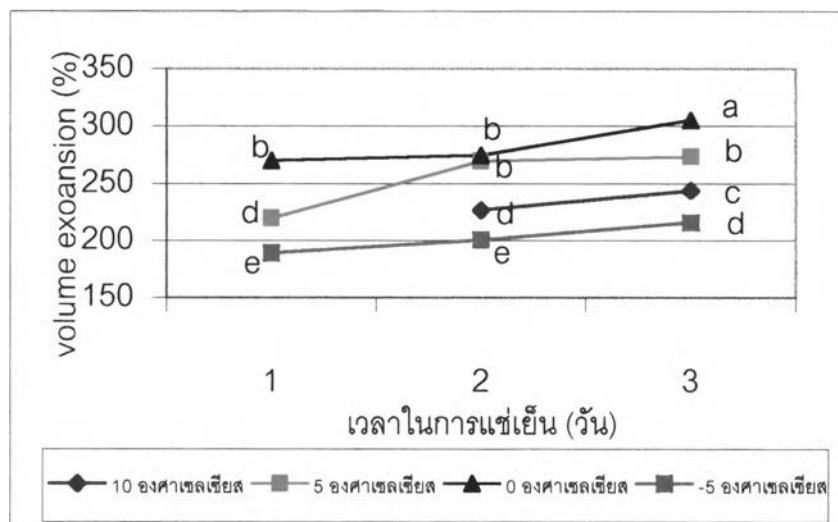
a,b ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.35 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแบ่งต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๑.7) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่เย็น มีผลให้ความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแบ่งแช่เย็นที่ -5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 และ 2 วัน จะมีความหนาแน่นสูง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแบ่งแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลาจะมีความหนาแน่นต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เวลา 1 วัน ไม่สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากแบ่งที่ได้ไม่คงรูปมีลักษณะเหนียวเยิ้มไม่เป็นรูปร่าง จึงไม่สามารถตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ จึงไม่มีผลทดสอบทางกายภาพ

ปริมาตรการพองตัว (volume expansion)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.36



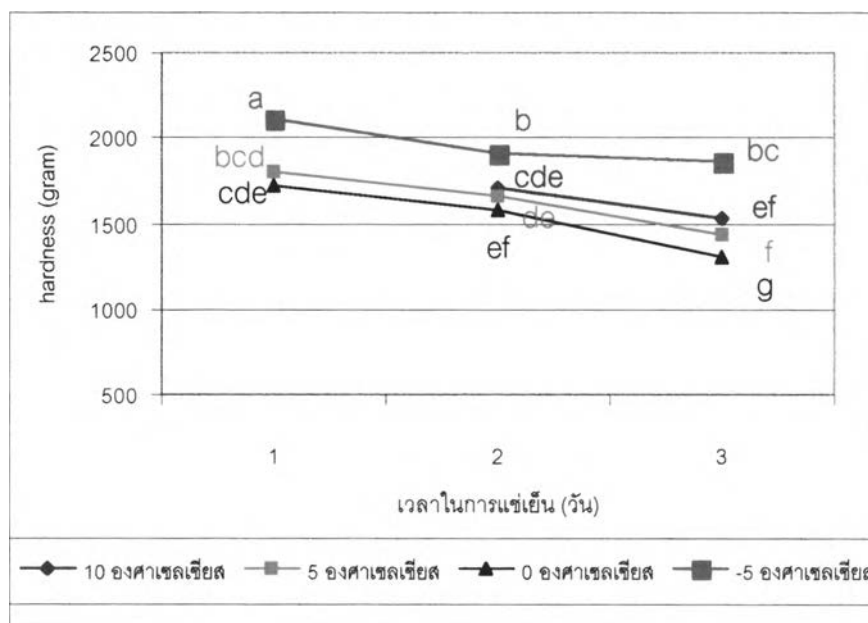
a,b ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.36 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแบ่งต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๑.7) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่เย็นแบ่งมีผลทำให้ปริมาตรการพองตัวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแบ่งแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จะมีปริมาตรการพองตัวสูงสุด ($p \leq 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแบ่งแช่เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วัน 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน และ -5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จะมีปริมาตรการพองตัวต่ำและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เวลา 1 วัน ไม่สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากแบ่งที่ได้ไม่คงรูปมีลักษณะเหนียวเยิ้มไม่เป็นรูปร่าง จึงไม่สามารถตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ จึงไม่มีผลทดสอบทางกายภาพ

ค่าความแข็ง (hardness)

จากค่าเฉลี่ยในตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.37



a, b ตัวอักษรที่ต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.37 อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแป็งต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๔.7) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการแช่เย็นแป็งมีผลทำให้ความแข็งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป็งแช่เย็นที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน จะมีความแข็งสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป็งแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จะมีความแข็งต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เวลา 1 วัน ไม่สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากแป็งที่ได้ไม่คงรูปมีลักษณะเหนียวเยิ้มไม่เป็นรูปร่าง จึงไม่สามารถตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ จึงไม่มีผลทดสอบทางกายภาพ

4.6.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน ความกรอบ ความรู้สึกละลายในปาก ลักษณะของเนื้อขนมขบเคี้ยว กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ต่ออุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแป็งของขนมขบเคี้ยวที่ทำจากข้าว ได้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อแปรรูปอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแป็ง

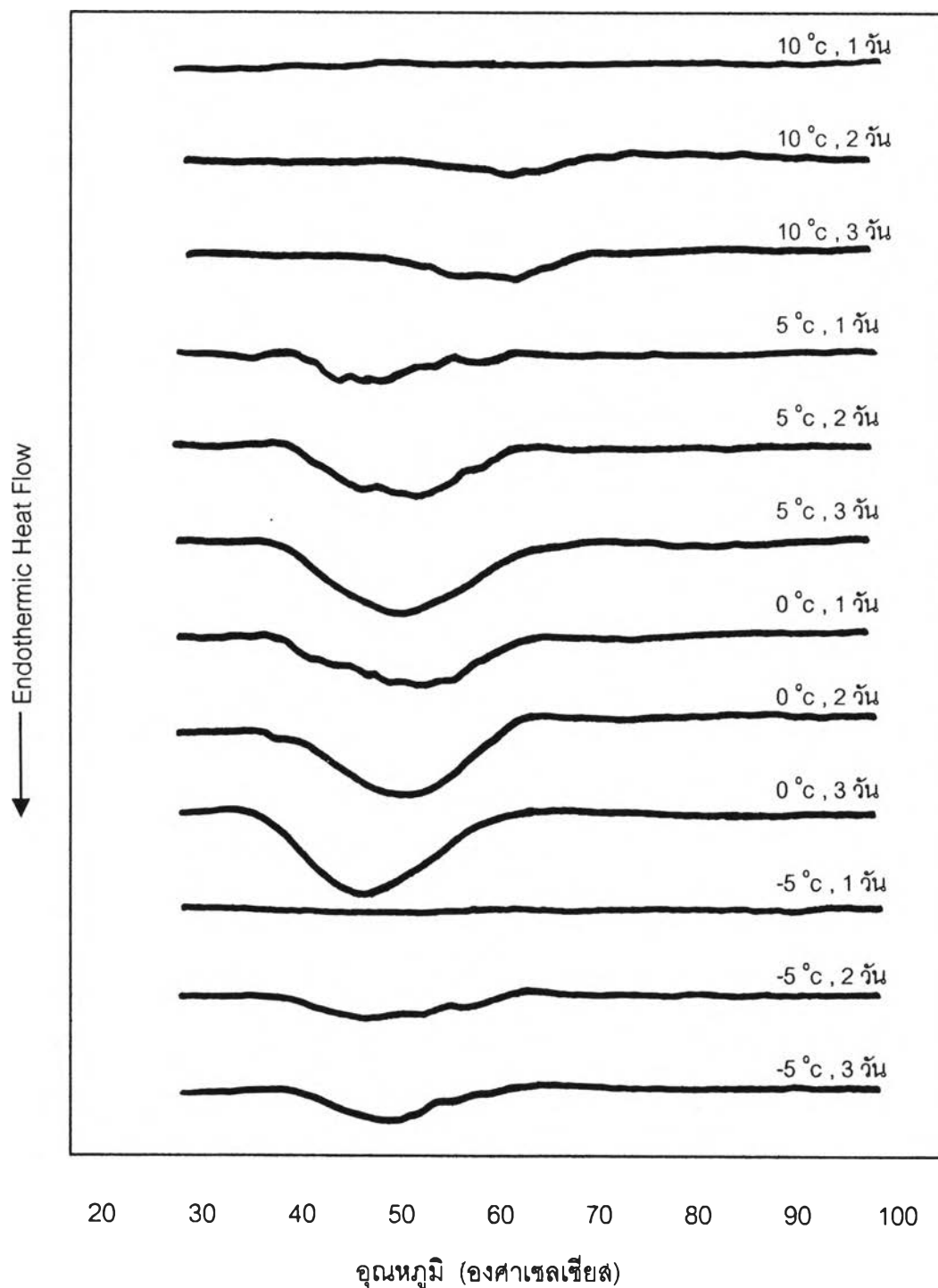
อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	เวลา (วัน)	ความกรอบ	ลักษณะการ ละลายในปาก	ลักษณะความ หยาบของผลิต ภัณฑ์	กลิ่นหอม ^{ns} ของข้าว	การยอมรับ ^{ns} รวม
10	1	no data	no data	no data	no data	no data
	2	6.20 ± 0.39 ^a	5.40 ± 0.28 ^b	4.00 ± 0.21 ^d	5.60 ± 0.01	5.20 ± 0.33
	3	7.20 ± 0.14 ^a	7.20 ± 0.57 ^a	6.80 ± 0.41 ^{ab}	6.00 ± 0.26	5.20 ± 0.04
5	1	3.40 ± 0.08 ^b	3.40 ± 0.24 ^d	4.40 ± 0.41 ^{cd}	5.80 ± 0.17	5.20 ± 0.17
	2	7.80 ± 0.27 ^a	7.40 ± 0.84 ^a	7.60 ± 0.54 ^a	6.40 ± 0.85	7.40 ± 0.25
	3	7.80 ± 0.34 ^a	7.40 ± 0.73 ^a	7.80 ± 0.47 ^a	6.20 ± 0.17	6.80 ± 0.07
0	1	7.80 ± 0.54 ^a	7.40 ± 0.18 ^a	6.80 ± 0.61 ^{ab}	5.20 ± 0.14	6.20 ± 0.75
	2	7.80 ± 0.67 ^a	7.80 ± 0.01 ^a	7.60 ± 0.34 ^a	6.20 ± 0.72	7.80 ± 0.75
	3	7.80 ± 0.24 ^a	7.80 ± 0.47 ^a	7.60 ± 0.61 ^a	4.40 ± 0.14	5.80 ± 0.32
-5	1	2.60 ± 0.16 ^b	5.20 ± 0.27 ^{bc}	4.60 ± 0.28 ^{cd}	5.40 ± 0.36	3.8 ± 0.17
	2	3.60 ± 0.13 ^b	4.20 ± 0.41 ^{cd}	5.60 ± 0.41 ^{bcd}	5.80 ± 0.17	4.40 ± 0.02
	3	4.00 ± 0.21 ^b	4.00 ± 0.36 ^d	5.80 ± 0.09 ^{bc}	6.00 ± 0.67	5.00 ± 0.26

a,b ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตาราง ๑.8) พบว่าอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและเวลาในการแช่เย็นแป็ง ไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นหอมของข้าวและการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีผลต่อคะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก และลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.11 พบว่าภาวะที่ใช้อุณหภูมิในการแช่เย็นแป็งที่ 0 องศาเซลเซียสทุกระดับเวลา 10 และ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 และ 3 วัน จะได้คะแนนด้านความกรอบ ลักษณะการละลายในปาก และลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์สูงโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วย DSC

นำตัวอย่างแป้งที่ได้จากชั้นขนมหลังจากแช่เย็นที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน (ดังภาคผนวก ค1-2) มาศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งด้วยเครื่อง DSC ให้ผลดังรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.12



รูปที่ 4.38 DSC thermograms ของแป้งหลังจากแช่เย็นที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

ตารางที่ 4.12 DSC Characteristics ของแป้งที่ได้จากขึ้นขนมหลังจากการแช่เย็นที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (วัน)	To ¹⁾ (องศาเซลเซียส)	Tc ²⁾ (องศาเซลเซียส)	ΔH (cal/g) ³⁾
10	1	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
	2	49.8	65.2	0.42
	3	50.1	65.5	0.85
5	1	38.3	61.8	2.82
	2	36.5	59.3	6.65
	3	36.1	61.2	8.20
0	1	36.3	62.2	5.33
	2	37.5	60.7	8.76
	3	36.5	60.8	8.80
-5	1	- ⁴⁾	- ⁴⁾	- ⁴⁾
	2	37.3	61.1	0.44
	3	38.8	62.3	0.53

1) To (องศาเซลเซียส) ¹⁾ : onset temperature

2) Tc (องศาเซลเซียส) ²⁾ : conclusion temperature

3) ΔH (cal/g) ³⁾ : enthalpy

4) : no peak

ผลแสดงในรูปที่ 4.38 และตารางที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิในการแช่เย็นแป้งที่ 10 องศาเซลเซียส และ -5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน ไม่ปรากฏ peak ใน DSC thermograms ส่วนที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วันเกิดการรีโทรเกรด (retrograde) สูงสุด เนื่องจากพลังงานในการหลอมเหลวผลึก (ΔH) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วันและ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิ 10 และ -5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 และ 3 วัน เกิดการรีโทรเกรดค่อนข้างต่ำ เนื่องจากพลังงานในการหลอมเหลวผลึก (ΔH) มีค่าค่อนข้างต่ำ ในขณะที่แต่ละอุณหภูมิมี่ค่าพลังงานในการหลอมเหลวผลึก (ΔH) สูงขึ้นตามระยะเวลาการแช่เย็นแป้งที่เพิ่มขึ้นซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เกิดการรีโทรเกรดมากขึ้นตามระยะเวลาการแช่เย็นที่เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งแชเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วันให้ความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ ปริมาตรการพองตัวของตัวอย่างสูง และสะดวกในการผลิตรวมถึงประหยัดพลังงานในการผลิตมากกว่าภาวะแชเย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และมีคะแนนทางประสาทสัมผัสสูง จึงเลือกอุณหภูมิและเวลาในการแชเย็นที่ 5 องศาเซลเซียสเวลา 2 วันเป็นตัวแทนในการศึกษาข้อต่อไป

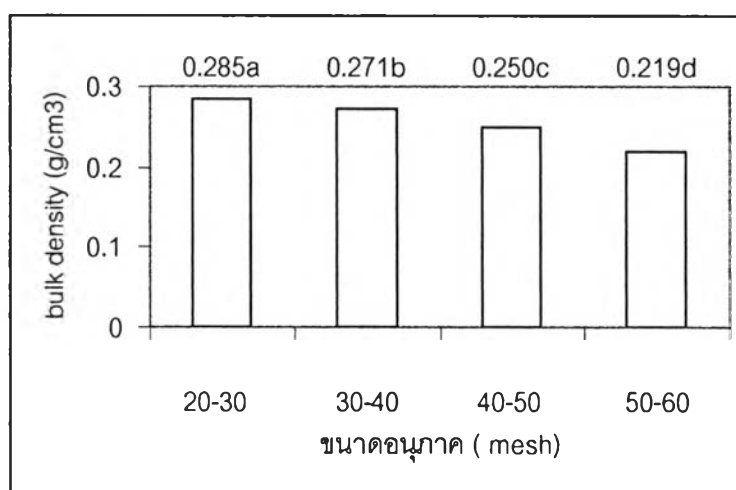
4.7 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

จากการศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการแชเย็นแป้งที่เหมาะสมในข้อ 4.6 พบว่าอุณหภูมิในการแชเย็นที่ 5 องศาเซลเซียสเวลาในการแช่ 2 วันเป็นภาวะที่เหมาะสมจึงใช้ภาวะนี้เพื่อศึกษาผลของขนาดอนุภาค โดยแปรขนาดอนุภาคแป้งเป็น 4 ระดับคือ 20-30 mesh 30-40 mesh 40-50 mesh และ 50-60 mesh นำมาทำผลิตภัณฑ์ตามรูปที่ 3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาตรวจสอบสมบัติทางด้าน ปริมาตรการพองตัว (volume expansion) ความหนาแน่น(bulk density) และความแข็ง (hardness) ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.39 – 4.41

4.7.1 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ค่าความหนาแน่น (bulk density)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวมีผลต่อความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง ๑.9) ดังแสดงในรูปที่ 4.39



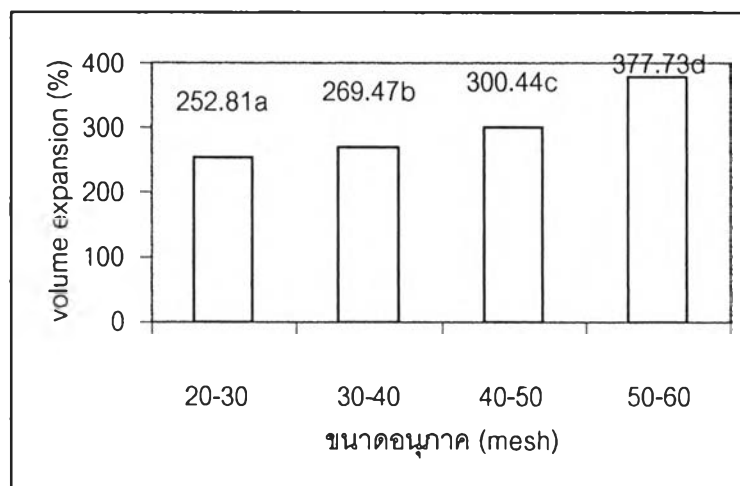
a, b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.39 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 20-30 mesh มีค่าความหนาแน่นสูงสุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 30-40 mesh ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 40-50 mesh ให้ค่าความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่มีขนาดอนุภาค 50-60 mesh มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด

ปริมาตรการพองตัว (volume expansion)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวมีผลต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง จ.9) ดังแสดงในรูปที่ 4.40



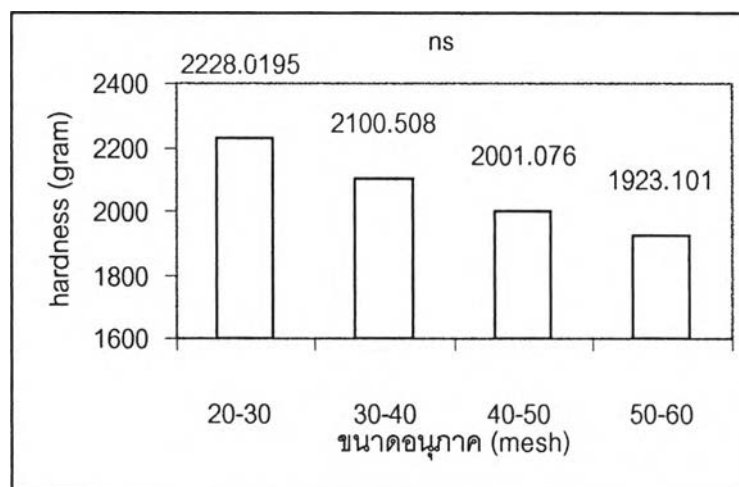
a,b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.40 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวต่อปริมาตรการพองตัวของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 20-30 mesh มีปริมาตรการพองตัวต่ำที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 30-40 mesh ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาค 40-50 mesh ให้ปริมาตรการพองตัวค่อนข้างสูง ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่มีขนาดอนุภาค 50-60 mesh มีปริมาตรการพองตัวสูงที่สุด

ค่าความแข็ง (hardness)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวไม่มีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง จ.9) ดังแสดงในรูปที่ 4.41



a,b ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.41 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวทุกขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่ามีแนวโน้มจะให้ค่าความแข็งที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า โดยค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น

4.7.2 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้าน ความกรอบ ความรู้สึกละลายในปาก ลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมต่ออนุภาคของแป้งข้าวเหนียวของผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เมื่อแปรขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียว

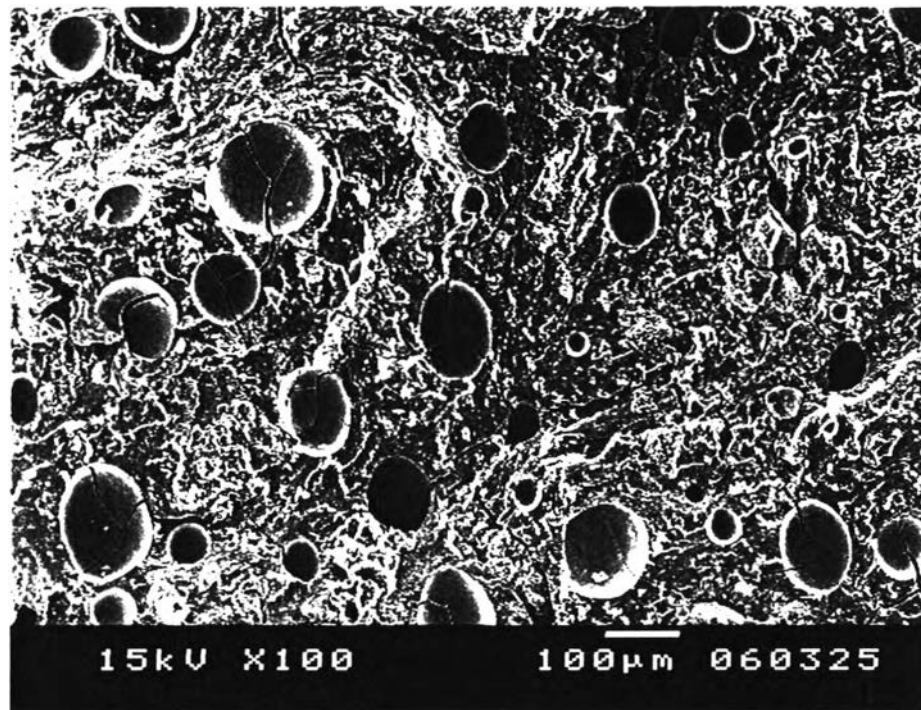
ขนาดอนุภาค (mesh)	ความกรอบ	ลักษณะการ ^{ns} ละลายในปาก	ลักษณะความ หยาบของ ผลิตภัณฑ์	กลิ่นหอม ^{ns} ของข้าว	การยอมรับรวม ^{ns}
20-30	5.2 ± 0.07 b	5.6 ± 0.04	5.2 ± 0.05 b	5.3 ± 0.01	5.0 ± 0.07
30-40	6.9 ± 0.01 a	7.4 ± 0.01	6.5 ± 0.08 a	6.3 ± 0.01	6.9 ± 0.01
40-50	7.1 ± 0.06 a	6.9 ± 0.08	6.6 ± 0.06 a	4.8 ± 0.08	6.1 ± 0.07
50-60	7.7 ± 0.09 a	7.1 ± 0.01	7.4 ± 0.08 a	6.2 ± 0.01	6.7 ± 0.01

a,b ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

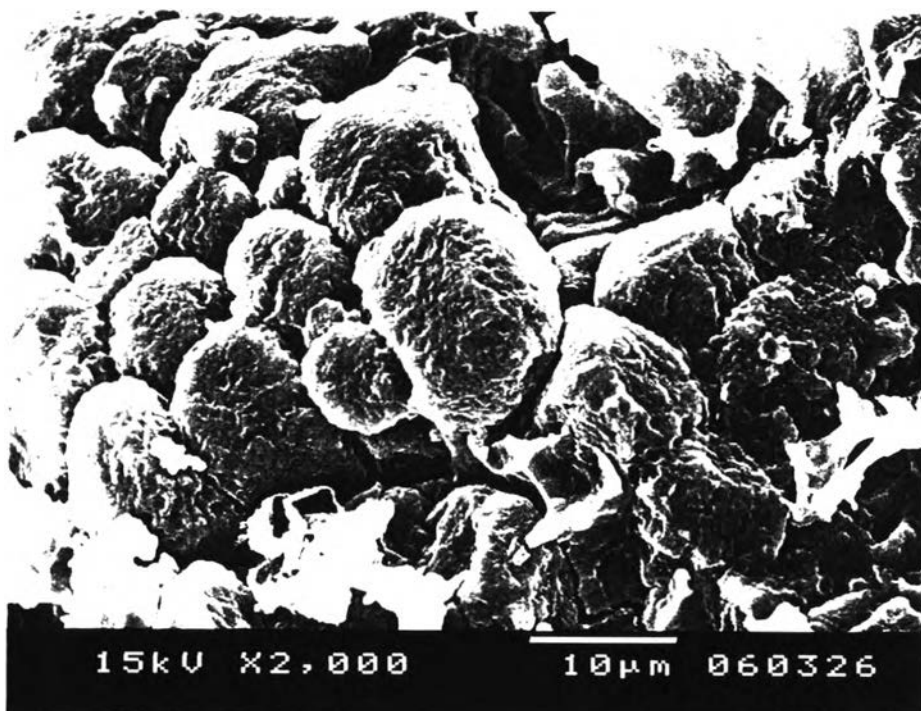
จากตารางที่ 4.13 พบว่าขนาดอนุภาคไม่มีผลต่อคะแนนด้านลักษณะการละลายในปาก กลิ่นหอมของข้าว และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีผลต่อคะแนนด้านความกรอบ และลักษณะความหยาบของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยคะแนนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง

4.7.3 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้งด้วยกล้อง SEM

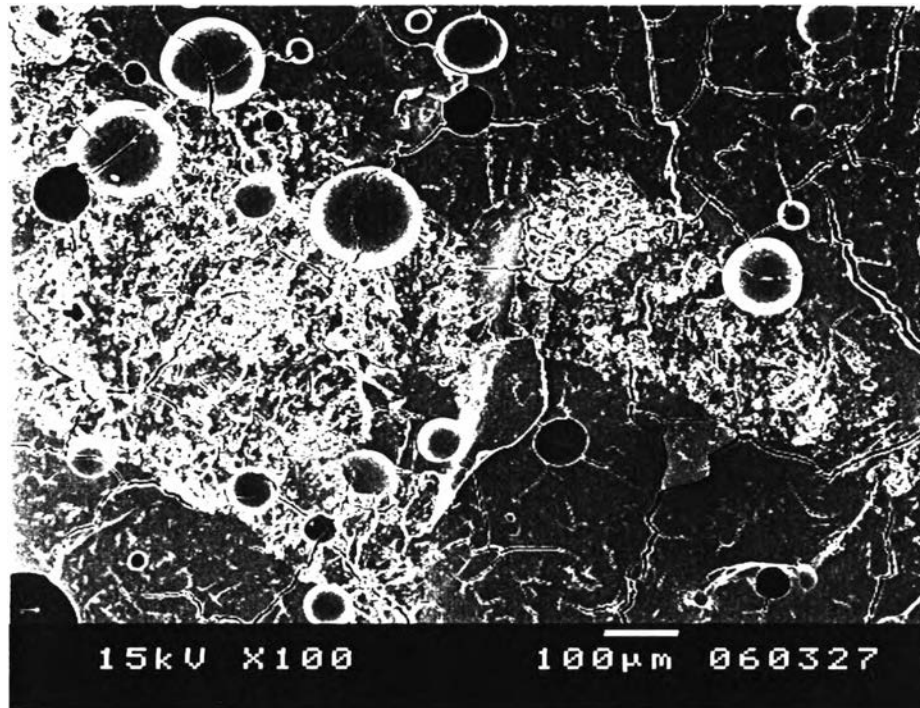
นำตัวอย่างก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กัน มาศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของก้อนแป้งและลักษณะผลึกของเม็ดแป้ง โดยใช้กำลังขยาย 100 และ 2000 เท่า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.42 – 4.49



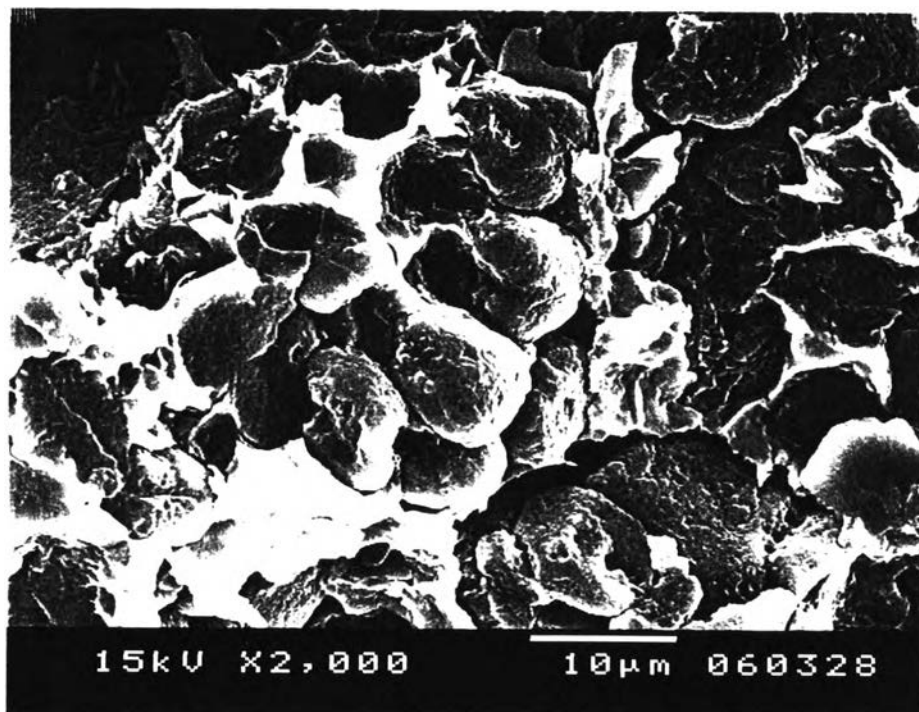
รูปที่ 4.42 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแข็ง (โม่จี้) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 20-30 mesh (x 100 เท่า)



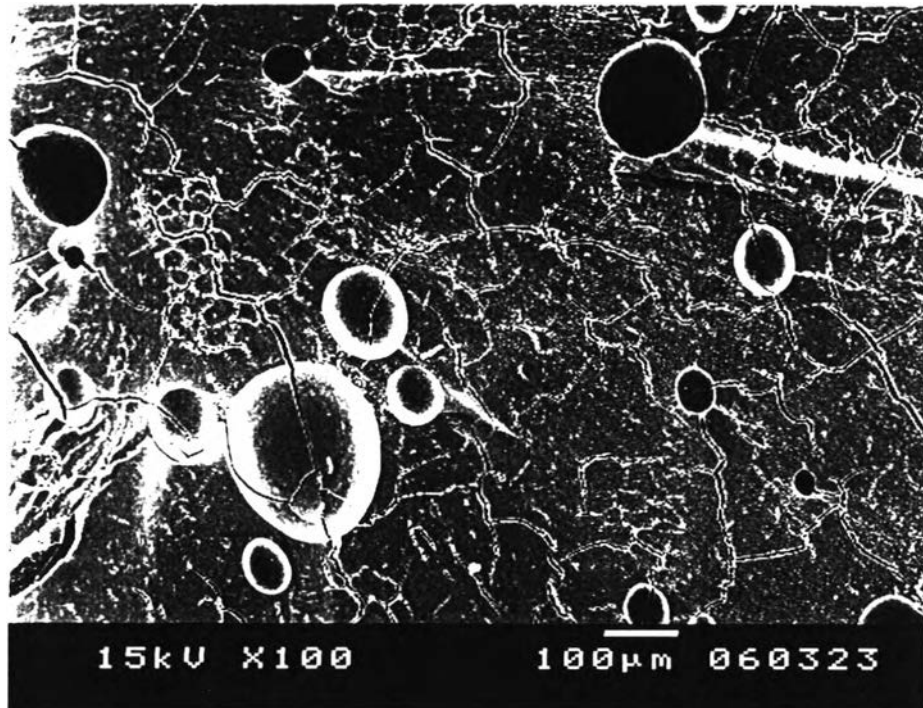
รูปที่ 4.43 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแข็ง (โม่จี้) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 20-30 mesh (x 2000 เท่า)



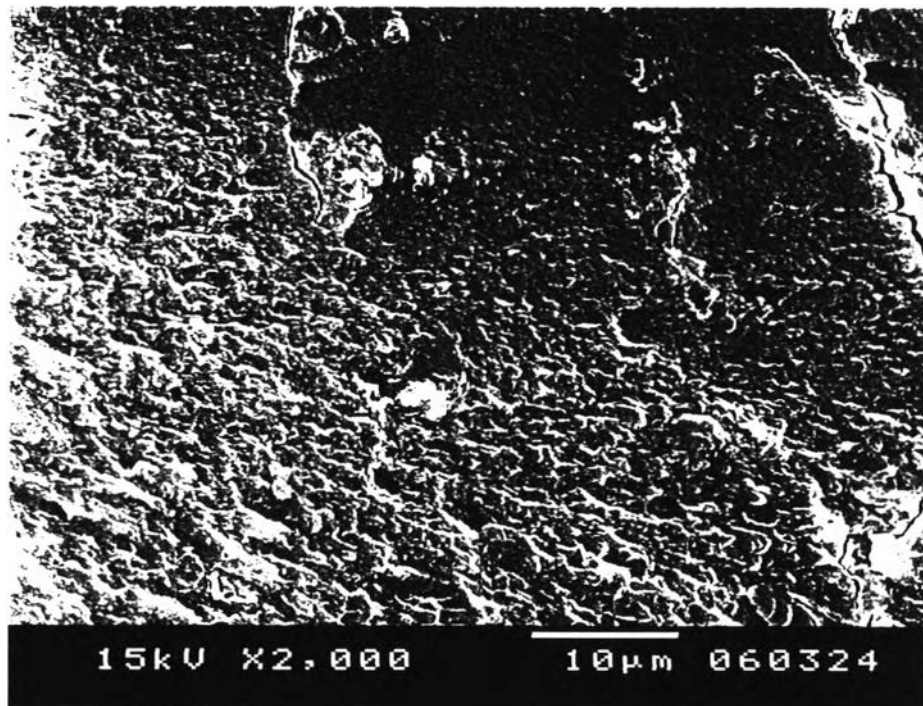
รูปที่ 4.44 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 30-40 mesh (x 100 เท่า)



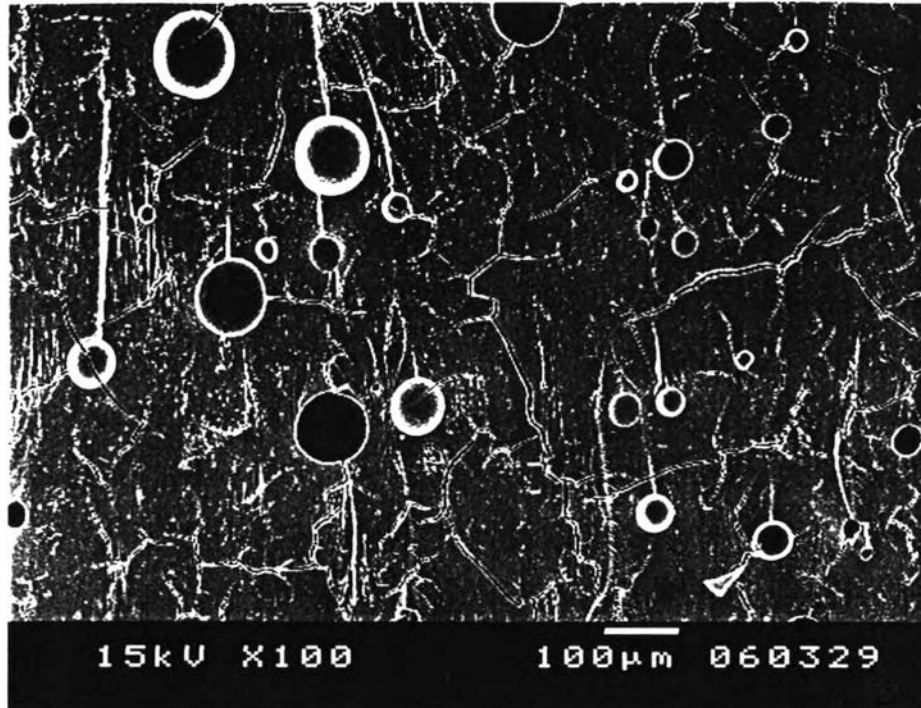
รูปที่ 4.45 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 30-40 mesh (x 2000 เท่า)



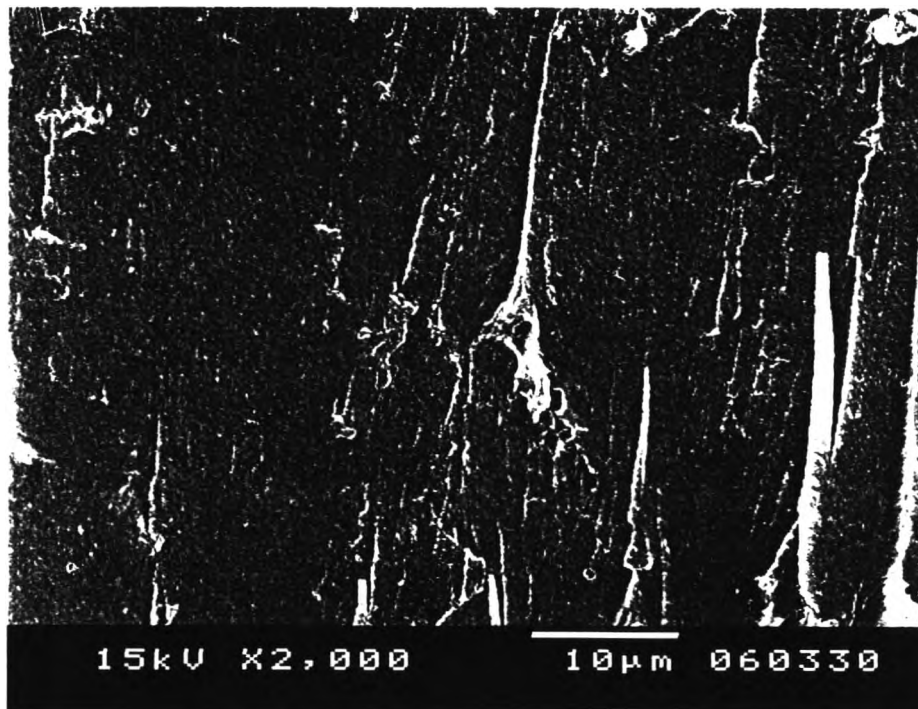
รูปที่ 4.46 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 40-50 mesh (x 100 เท่า)



รูปที่ 4.47 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 40-50 mesh (x 2000 เท่า)



รูปที่ 4.48 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (ไมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 50-60 mesh (x 100 เท่า)



รูปที่ 4.49 ลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (ไมจิ) ที่เตรียมจากอนุภาคแป้งขนาด 50-60 mesh (x 2000 เท่า)

จากผลการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างภายในก้อนแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคต่าง ๆ กันด้วยกล้อง SEM พบว่า

กำลังขยาย 100 เท่า

จากรูปพบว่า ตัวอย่างแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวขนาดอนุภาค 20-30 mesh จะมีลักษณะของผิวด้านนอกขรุขระ และมีโพรงอากาศกระจายอยู่ทั่วไป และจะมีลักษณะผิวที่เรียบสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของแป้งที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์เล็กลง

กำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปพบว่า ตัวอย่างแป้ง (โมจิ) ที่เตรียมขึ้นจากแป้งที่มีขนาดอนุภาค 20-30 mesh ยังพบเม็ดแป้งขนาดใหญ่ที่พองตัวและยังไม่แตกออกกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนแป้งที่มีขนาดอนุภาค 30-40 mesh จะพบเม็ดแป้งที่พองตัวอยู่รวมกับส่วนของพื้นผิวแป้งที่มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเกิดจากการหลอมรวมกันของเม็ดแป้งที่พองตัวและแตกออก โดยไม่พบส่วนของเม็ดแป้งที่ยังไม่พองตัวเหลืออยู่จากก้อนแป้งที่เตรียมขึ้นจากแป้งข้าวเหนียวขนาดอนุภาค 40-50 mesh และ 50-60 mesh

