

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของกระเจี๊วด

การเตรียมกระเจี๊วดสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้ง(flour) ทำได้โดยการแยกเปลือกแข็งสีดำของฝักกระเจี๊วดออกด้วยมือ จะได้เนื้อภายในเมล็ด ซึ่งมีสีขาวและมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลติดอยู่ด้วย ดังภาพที่ ข.2 ส่วนที่อยู่ภายในเมล็ดประกอบด้วยใบเลี้ยงขนาดใหญ่ 1 ใบ และมีขนาดเล็กเป็นเกล็ดอีก 1 ใบ (สุชาติ, 2542) ในการเตรียมวัตถุดิบ พบว่าได้ปริมาณผลผลิตของเมล็ดกระเจี๊วดเฉลี่ย 34.77 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลผลิตของเมล็ดกระเจี๊วด

ครั้งที่	น้ำหนักกระเจี๊วด ทั้งเปลือก(kg)	น้ำหนักเมล็ด กระเจี๊วด(kg)	ปริมาณผลผลิต (%yield)	ปริมาณผลผลิตเฉลี่ย (%)
1	10	3.451	34.51	34.77±1.08
2	10	3.379	33.79	
3	10	3.499	34.99	
4	10	3.330	33.30	
5	10	3.550	35.50	
6	10	3.626	36.26	

เมื่อนำกระเจี๊วดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้ผลดังตารางที่ 4.2 พบว่าในกระเจี๊วดมีปริมาณความชื้นอยู่ 60.12 เปอร์เซ็นต์ และองค์ประกอบหลักในเนื้อกระเจี๊วดเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง คือ คาร์โบไฮเดรต 83.71 เปอร์เซ็นต์ ทำให้คาดได้ว่ากระเจี๊วดมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้ง องค์ประกอบรองลงมา คือ โปรตีน 11.24 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 3.33 เปอร์เซ็นต์ เส้นใย 1.09 เปอร์เซ็นต์และไขมัน 0.63 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าการที่เนื้อกระเจี๊วดมีปริมาณโปรตีนและเถ้าอยู่สูง จึงคาดว่าหากนำมาผลิตเป็นแป้งก็จะให้แป้งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สอดคล้องกับการรายงานของ Kapur และคณะ(1980) ที่ได้รายงานไว้ว่ากระเจี๊วดเป็นแหล่งของสารอาหารพวกเกลือแร่ที่ดีเมื่อเทียบกับอาหารชนิดอื่นและเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกระเจี๊วดพันธุ์เดียวกัน โดย พัชรา นาสารีย์(2527)

พบว่า องค์ประกอบทางเคมีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน (11.24 และ 15.45 เปอร์เซ็นต์) อาจเนื่องจากผลความแตกต่างของพื้นที่ที่ใช้ปลูก ความแก่อ่อนและระยะเวลาเก็บเกี่ยว เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของกระจั๊บ

องค์ประกอบทางเคมี	กระจั๊บเขาแหลม( <i>Trapa bisbinosa</i> Roxb.)	
	เมล็ดกระจั๊บสดที่ใช้ในการทดลอง <sup>2</sup>	กระจั๊บเมล็ดแห้ง <sup>3</sup>
ความชื้น(%wt)	60.12 ± 0.50	8.30
โปรตีน(%db, Nx6.25)	11.24 ± 0.31	15.45
ไขมัน(%db)	0.63 ± 0.03	0.49
เถ้า(%db)	3.33 ± 0.16	3.20
เส้นใย(%db)	1.09 ± 0.26	1.71
คาร์โบไฮเดรต <sup>1</sup> (%db)	83.71 ± 0.62	79.15

<sup>1</sup>ปริมาณคาร์โบไฮเดรต : คำนวณจากผลต่าง (% dry basis )

$$\% \text{ คาร์โบไฮเดรต} = 100 - (\% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เส้นใย} + \% \text{เถ้า})$$

<sup>2</sup>ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>3</sup>พัทธรา นาสารีย์(2527) วิเคราะห์ที่กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร

#### 4.2 ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจั๊บ

การศึกษาผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจั๊บ ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในการผลิตแป้ง 3 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ การเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การแช่แข็งและการลวก ปัจจัยที่สอง คือ การไม่ ได้แก่ การไม่แห้งและการไม่เปียก และปัจจัยที่สาม คือ ชนิดของเครื่องไม่ ได้แก่ Stone mill และ Ball mill โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่ผลิตได้ มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาผลของแต่ละปัจจัยเหล่านี้ในแป้งชนิดต่าง ๆ (Godoy และคณะ, 1992; Jumduang และ Mohamad,1994 ; Varavinit และ Shobsngob, 1996 ; Chen และคณะ, 1999 ; Piacquadio และคณะ, 2000) แต่ยังไม่มียานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัยที่มีต่อสมบัติของแป้งที่ผลิตได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจศึกษาอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัยที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจั๊บ ซึ่งให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

#### 4.2.1 ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีของแป้งกระฉับ

การศึกษาผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณผลผลิตและสมบัติทางเคมีของแป้งกระฉับที่ผลิตได้วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยแสดงเป็นค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (significance) ดังตารางที่ 4.3 พบว่า อิทธิพลร่วมของการโม่และเครื่องโม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแป้งกระฉับอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนและความชื้น คือ การโม่ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเถ้าทางสถิติ เกิดจาก อิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย คือ การเตรียมวัตถุดิบ การโม่ และเครื่องโม่ ปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษาในการทดลองไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดต่างของแป้งกระฉับ

ตารางที่ 4.3 ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > F$ ) ของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต<sup>1</sup> และสมบัติทางเคมี<sup>1</sup> ของแป้งกระฉับ

ปัจจัยของวิธีการโม่ <sup>2</sup>	df	ปริมาณผลผลิต (%yield)	ความชื้น (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	pH
การเตรียมวัตถุดิบ(A)	1	0.000**	0.469	0.238	0.070	0.073
การโม่(B)	1	0.000**	0.042*	0.001**	0.000**	0.140
เครื่องโม่(C)	1	0.000**	0.727	0.962	0.000**	0.403
A x B	1	0.051	0.146	0.907	0.836	0.582
A x C	1	0.948	0.640	0.957	0.669	0.105
B x C	1	0.013*	0.111	0.693	0.025*	0.673
A x B x C	1	0.121	0.529	0.867	0.034*	0.140
Error	16					

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<sup>2</sup>ปัจจัยของวิธีการโม่ คือ การเตรียมวัตถุดิบ(การแช่แข็งและการลวก) การโม่(โม่แห้งและโม่เปียก) เครื่องโม่(Stone mill และ Ball mill) และอิทธิพลร่วม

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.01$ )

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

## ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณผลผลิต

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติดังตารางที่ 4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตแบ่งทางสถิติคือ อิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการโม่และเครื่องโม่ พบว่า การผลิตแป้งจากวิธีการโม่แห้งร่วมกับการโม่ด้วย Ball mill ให้ปริมาณผลผลิตแป้งกระบี่สูงที่สุด(86.24%) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อใช้วิธีการโม่เปียกร่วมกับการโม่ด้วย Stone mill ให้ปริมาณผลผลิตแป้งกระบี่ต่ำที่สุด(59.11%) เนื่องจากการสูญเสียขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแป้ง ตั้งแต่ขั้นตอนการโม่เปียก โดยองค์ประกอบพวกโปรตีน เส้นใย เกลลีนแร่ และแป้งบางส่วน มีการสูญเสียไปกับน้ำ และเมื่อนำมาโม่ด้วยเครื่อง Stone mill ก็ยังมีการสูญเสียมากขึ้นเนื่องจากการฟุ้งกระจายของแป้งออกจากเครื่องมือ นอกจากนี้เครื่องมือยังมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อทำการโม่จนครบ 4 รอบตามที่กำหนดในการทดลอง พบว่ามีอนุภาคของแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่าตักข้างบนตะแกรงที่ใช้ร่อนอยู่มาก การสูญเสียดังกล่าวจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตต่ำกว่าวิธีการโม่แบบอื่น ๆ แต่การที่ไม่ได้เพิ่มจำนวนรอบในการโม่เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตแป้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มจำนวนรอบจะส่งผลให้เม็ดสตาร์ช(starch granule) ถูกทำลายมากขึ้น(Uriyapongson and Rayas-Duarte, 1994) และได้ปริมาณผลผลิตแป้งในรอบหลังน้อย อาจไม่คุ้มกับพลังงานที่สูญเสียไป เมื่อพิจารณาการโม่แบบเดียวกัน พบว่า การโม่ด้วย Ball mill จะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการโม่ด้วย Stone mill ทั้งการโม่แบบไม่แห้งและไม่เปียก แสดงว่า Ball mill มีประสิทธิภาพสูงกว่า Stone mill

ตารางที่ 4.4 ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณผลผลิตของแป้งกระบี่

การโม่	เครื่องโม่	ปริมาณผลผลิต <sup>1</sup> (%yield)
โม่แห้ง	Stone mill	67.07±4.35 <sup>b</sup>
	Ball mill	86.24±3.50 <sup>a</sup>
โม่เปียก	Stone mill	59.11±5.46 <sup>c</sup>
	Ball mill	71.46±7.80 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.5 ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของแป้งกระฉับ

ปัจจัยหลักของวิธีการโม่	ความชื้น(%) <sup>1</sup>	โปรตีน(%) <sup>1</sup>
การเตรียมวัตถุดิบ <sup>NS</sup>		
การแช่แข็ง	11.58±0.76	10.64±0.75
การลวก	11.75±0.37	10.32±0.81
การโม่		
การโม่แห้ง	11.42±0.45 <sup>b</sup>	11.01±0.31 <sup>a</sup>
การโม่เปียก	11.91±0.63 <sup>a</sup>	9.95±0.74 <sup>b</sup>
เครื่องมือ <sup>NS</sup>		
Stone mill	11.71±0.66	10.49±0.82
Ball mill	11.63±0.54	10.48±0.76

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 12 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกันในปัจจัยเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup>ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.6 ผลของวิธีการโม่ต่อปริมาณเถ้าและค่าความเป็นกรดต่าง(pH)ของแป้งกระฉับ

การเตรียมวัตถุดิบ	การโม่	เครื่องมือ	วิธีการโม่	ปริมาณเถ้า <sup>1</sup> (%)	pH <sup>2, NS</sup>
แช่แข็ง	โม่แห้ง	Stone mill	FDS	2.11 ± 0.17 <sup>b</sup>	6.27 ± 0.02
		Ball mill	FDB	3.16 ± 0.26 <sup>a</sup>	6.29 ± 0.02
	โม่เปียก	Stone mill	FWS	0.87 ± 0.08 <sup>e</sup>	6.28 ± 0.21
		Ball mill	FWB	1.89 ± 0.43 <sup>bc</sup>	6.31 ± 0.14
ลวก	โม่แห้ง	Stone mill	BDS	1.53 ± 0.14 <sup>cd</sup>	6.39 ± 0.07
		Ball mill	BDB	3.00 ± 0.28 <sup>a</sup>	6.42 ± 0.02
	โม่เปียก	Stone mill	BWS	0.86 ± 0.02 <sup>e</sup>	6.18 ± 0.10
		Ball mill	BWB	1.26 ± 0.09 <sup>de</sup>	6.28 ± 0.28

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<sup>2</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup>ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ( $p > 0.05$ )

### ผลของวิธีการไม่ต่อปริมาณความชื้นของแป้งกระจัด

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความชื้นในแป้งกระจัด คือ การไม่ (ตารางที่ 4.3) โดย วิธีไม่เปียก จะให้แป้งที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าวิธีการไม่แห้ง ดังตารางที่ 4.5 เนื่องจาก วิธีการไม่เปียกมีการไม่วัตถุดิบกับน้ำทำให้มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการไม่แห้ง (วิธีผลิตแป้งแบบไม่เปียกและไม่แห้งแสดงในตารางที่ 3.1) ดังนั้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิและเวลาที่เท่ากัน (55 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง) ปริมาณความชื้นในแป้งจากวิธีไม่เปียกจึงสูงกว่าวิธีไม่แห้ง งานวิจัยของ Piacquadio และคณะ(2000) ได้ศึกษาการผลิตแป้งข้าวโพด 2 พันธุ์ (*Furio* และ *CMS 8806*) โดยวิธีการไม่เปียกและไม่แห้ง พบว่าแป้งข้าวโพดจากทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณความชื้นของแป้งที่ผลิตจากวิธีการไม่เปียก(15.68 และ 13.05% ตามลำดับ) สูงกว่าวิธีการไม่แห้ง(10.45 และ 7.90% ตามลำดับ)

### ผลของวิธีการไม่ต่อปริมาณโปรตีนของแป้งกระจัด

การไม่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลให้ปริมาณโปรตีนในแป้งกระจัดแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.3 โดยการไม่แห้งให้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการไม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.5 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการไม่เปียก โปรตีนบางส่วนได้ละลายออกไปกับน้ำในขั้นตอนการไม่ด้วยน้ำ ให้ผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chen และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการไม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวในประเทศไต้หวัน พบว่าการไม่แห้งให้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าการไม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญ( $p < 0.05$ ) Piacquadio และคณะ(2000) ที่ได้ศึกษาการผลิตแป้ง(flour)ข้าวโพด 2 พันธุ์ (*Furio* และ *CMS 8806*) โดยวิธีการไม่เปียกและไม่แห้ง พบว่าแป้งข้าวโพดจากทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณโปรตีนของแป้งที่ผลิตจากวิธีการไม่แห้ง(8.99 และ 8.78%) สูงกว่าวิธีการไม่เปียก(8.55 และ 8.23%)

ในการทดลองได้ศึกษาการลวกกระจัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในแป้งกระจัด ซึ่งให้ผลต่างจาก Godoy และคณะ(1991) ได้ศึกษาการผลิตแป้ง(flour)เผือก โดยทดลองลวกเผือกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที พบว่าปริมาณโปรตีนในแป้งเผือกต่ำกว่าแป้งที่ได้จากเผือกที่ไม่ได้ลวกอย่างมีนัยสำคัญ( $p < 0.05$ ) โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากการเสียดสภาพของโปรตีน อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบว่าการลวกไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 4.3) อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการลวกแตกต่างกัน โดยใน

การทดลองได้ลดอุณหภูมิในการลวกเมล็ดกระจับ(1 กิโลกรัม)เป็น 90 องศาเซลเซียส ลวกเป็นเวลา 1 นาที พบว่าไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในแป้งกระจับ

### ผลของวิธีการไม่ต่อปริมาณเถ้าของแป้งจากกระจับ

ผลของวิธีการไม่ต่อปริมาณเถ้า ดังตารางที่ 4.3 พบว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย คือการเตรียมวัตถุดิบ การไม่และชนิดของเครื่องไม่มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณเถ้าในแป้งกระจับ โดยแป้งกระจับที่ได้วิธีการไม่ FDB และ BDB มีปริมาณเถ้าสูงที่สุด(3.16 และ 3.00% ตามลำดับ) ดังตารางที่ 4.6 แสดงว่าการเตรียมวัตถุดิบไม่ว่าเป็นการลวกหรือแช่แข็งไม่มีผลปริมาณเถ้าเมื่อใช้วิธีไม่แห้งและไม่ด้วย Ball mill และให้ปริมาณเถ้าสูงกว่าวิธีการไม่แบบอื่น เนื่องจากสารอาหารพวกเกลือแร่ที่ละลายน้ำ ไม่มีการสูญเสียไปในขั้นตอนการไม่แห้งและการไม่ด้วย Ball mill ซึ่งให้ผลในทางเดียวกับปริมาณผลผลิต และพบว่าการไม่แป้งด้วยวิธี FWS และ BWS ให้แป้งที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุด(0.87 และ 0.86% ตามลำดับ) เนื่องจากเกลือแร่มีการสูญเสียไปกับน้ำในขั้นตอนการไม่เปียก(chen และคณะ, 1999) และเมื่อเปรียบเทียบวิธีไม่แห้งและไม่เปียก พบว่า การไม่แห้งจะให้แป้งที่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าการไม่เปียก

### ผลของวิธีการไม่ต่อค่าความเป็นกรดต่างของแป้งกระจับ

การวัดความเป็นกรดต่างของแป้งกระจับที่ผลิตด้วยวิธีการไม่แบบต่าง ๆ เพื่อแสดงถึงคุณภาพของแป้งและบอกได้ถึงความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการผลิต โดยแป้งอาจเกิดการหมักจนเกิดการเน่าเสีย ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการไม่เปียกที่ใช้เวลานานเกินไป หรืออุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการอบแห้งไม่เพียงพอ เป็นต้น หากแป้งเกิดการเน่าเสียความเป็นกรดในแป้งจะสูง เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าแป้งกระจับที่ผลิตได้จากวิธีการไม่แบบต่าง ๆ มี ค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วง 6.18-6.42 ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นค่าปกติของแป้ง โดยอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับแป้งทางการค้าทั่วไป เช่น แป้งมันสำปะหลัง(ค่า pH 4.5-7.0 ) และแป้งข้าวเจ้า(ค่า pH 5.0-7.0 ) ตามมอก.274-2521 และ มอก.638-2529 ตามลำดับ (อุตสาหกรรม, 2521 และอุตสาหกรรม, 2529) โดยแป้งกระจับที่ผลิตได้จากวิธีการไม่แบบต่าง ๆ ในการทดลองมีค่าความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ และแป้งไม่มีกลิ่นอับ หืนหรือเหม็นเปรี้ยว

#### 4.2.2 ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งกระจับ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งกระจับ ได้ศึกษาค่าต่างๆ คือ ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ glucoamylase ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการดูดซับไขมัน ค่าดัชนีความขาวของแป้งและเจลแป้งกระจับ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p>F$ ) ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งกระจับ

ปัจจัยที่ศึกษา	df	ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p>F$ )			
		ขนาดอนุภาคเฉลี่ย( $\mu\text{m}$ )	ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ glucoamylase (%)	การดูดซับน้ำ (%)	การดูดซับน้ำมัน(%)
การเตรียมวัตถุดิบ(A)	1	0.000**	0.000**	0.000**	0.073
การไม่(B)	1	0.177	0.000**	0.822	0.939
เครื่องไม่(C)	1	0.000**	0.000**	0.166	0.000**
A x B	1	0.631	0.319	0.111	0.537
A x C	1	0.022*	0.889	0.969	0.911
B x C	1	0.042*	0.778	0.539	0.304
A x B x C	1	0.887	0.445	0.640	0.379
Error	16				

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ( $p\leq 0.01$ )

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p\leq 0.05$ )



ตารางที่ 4.8 ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p > F$ ) ผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งกระฉับ

ปัจจัยของวิธีการไม่	Df	ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p > F$ )							
		แป้งกระฉับ				เจลแป้งกระฉับ			
		L	a	b	ค่าดัชนีความขาว	L	a	b	ค่าดัชนีความขาว
การเตรียมวัตถุดิบ(A)	1	0.001**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**
การไม่(B)	1	0.000**	0.000**	0.951	0.000**	0.014*	0.002**	0.000**	0.014*
เครื่องไม่(C)	1	0.969	0.161	0.835	0.948	0.268	0.084	0.000**	0.429
A x B	1	0.396	0.000**	0.005**	0.975	0.192	0.982	0.020*	0.288
A x C	1	0.571	0.095	0.101	0.921	0.923	0.929	0.001**	0.897
B x C	1	0.284	0.425	0.035*	0.168	0.372	0.130	0.009**	0.263
A x B x C	1	0.497	0.032*	0.628	0.546	0.536	0.284	0.001**	0.637
Error	16								

\*\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.01$ )

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ( $p \leq 0.05$ )

### ขนาดอนุภาคเฉลี่ย

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.7 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) คือ อิทธิพลร่วมระหว่างการเตรียมวัตถุดิบและเครื่องโม่ และอิทธิพลร่วมระหว่างการโม่และเครื่องโม่ ซึ่งได้แสดงผลความแตกต่างของขนาดอนุภาคเฉลี่ย ในตารางที่ 4.9 และ 4.10 และ ภาพที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.9 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างการเตรียมวัตถุดิบและเครื่องโม่ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งกระจับ

การเตรียมวัตถุดิบ	เครื่องโม่	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย( $\mu\text{m}$ )
การแช่แข็ง	Stone mill	110.97 $\pm$ 2.90 <sup>a</sup>
	Ball mill	85.22 $\pm$ 6.45 <sup>c</sup>
การลวก	Stone mill	116.68 $\pm$ 3.80 <sup>a</sup>
	Ball mill	100.40 $\pm$ 6.01 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

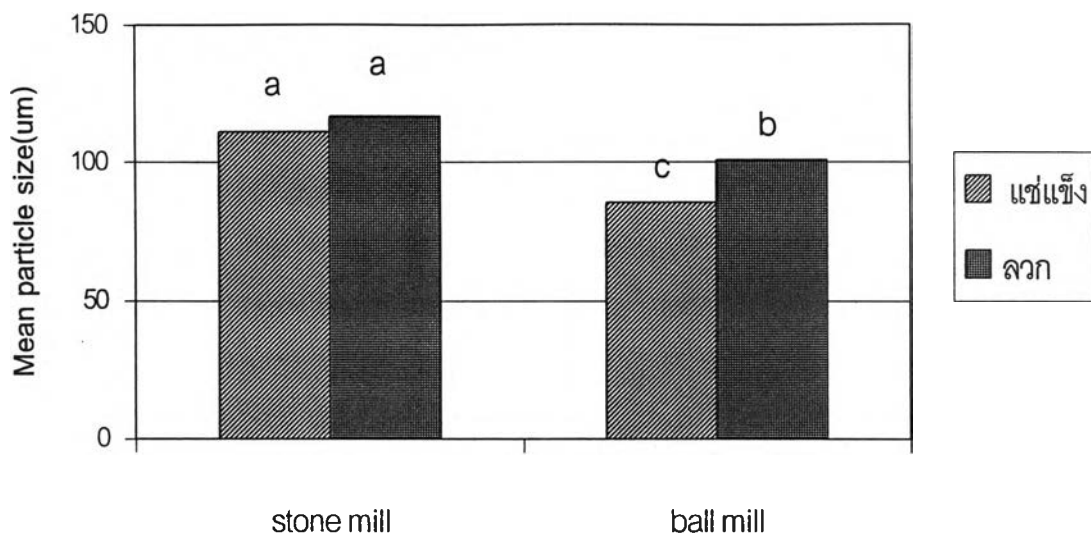
a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.10 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่างการโม่และเครื่องโม่ต่อขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งกระจับ

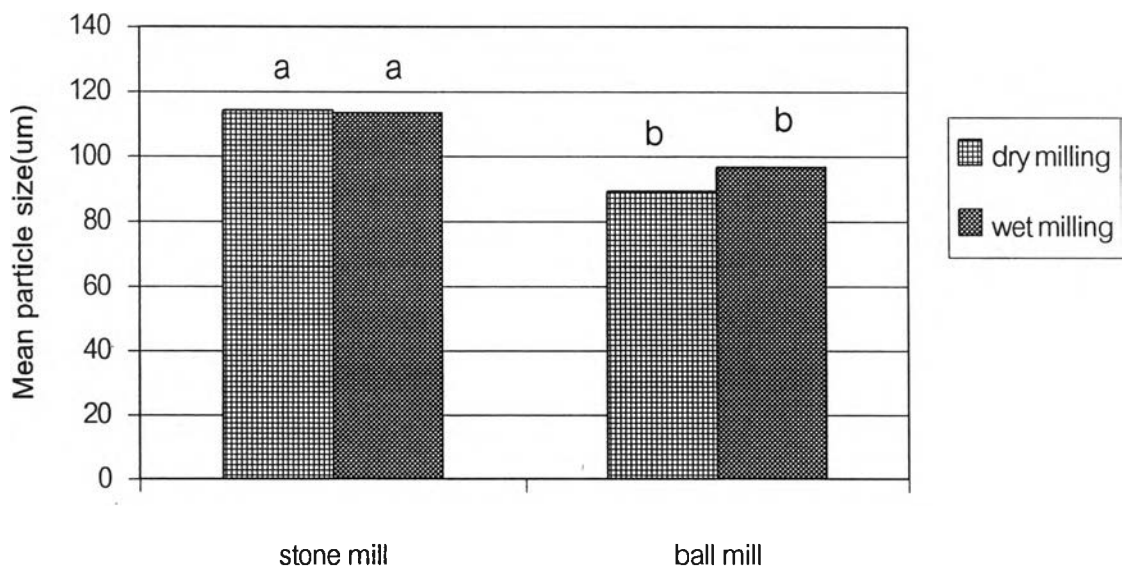
การโม่	เครื่องโม่	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย( $\mu\text{m}$ )
โม่แห้ง	Stone	114.33 $\pm$ 2.93 <sup>a</sup>
	Ball	89.19 $\pm$ 8.21 <sup>b</sup>
โม่เปียก	Stone	113.31 $\pm$ 5.76 <sup>a</sup>
	Ball	96.43 $\pm$ 10.83 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 6 ซ้ำ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 4.1 ผลของการเตรียมวัตถุดิบและเครื่องมือต่อขนาดเฉลี่ยของแป้งกระเจี๊ยบ



ภาพที่ 4.2 ผลของการโม่และเครื่องมือต่อขนาดเฉลี่ยของแป้งกระเจี๊ยบ

จากตารางที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.1 พบว่าการโม่แป้งด้วย stone mill ทั้งการเตรียมวัตถุดิบ โดยการแช่แข็งและการลวกให้แป้งที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าการโม่ ด้วย ball mill อย่างมี นัย สำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) และพบว่าการใช้ Stone mill ในการโม่ทั้งการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่ แข็งและการลวก ให้แป้งที่มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ( $p > 0.05$ ) เนื่องจาก Stone mill สามารถปรับขนาดระยะห่างระหว่างจานหมุน เป็นการกำหนดขนาดของอนุภาคแป้งที่ ผ่านออกมาได้ ในขณะที่การโม่ด้วย Ball mill จะทำการโม่ภายใน chamber จึงไม่สามารถกำหนด ขนาดของอนุภาคที่ผ่านออกมาได้ โดยขนาดของอนุภาคขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการโม่และความแข็ง ของตัวอย่างที่ไม่ด้วย ซึ่งในการทดลองพบว่าวัตถุดิบที่เตรียมโดยการลวกให้ขนาดอนุภาคของแป้ง ใหญ่กว่าการแช่แข็งเมื่อโม่ด้วย Ball mill เนื่องจากการลวกทำให้วัตถุดิบถูกเจลาตินไนซ์ไปบางส่วน เมื่อนำไปอบแห้งจึงทำให้แป้งจับตัวกันแน่นกว่าการแช่แข็ง แต่อย่างไรก็ตามการโม่ด้วยเครื่อง Ball mill ให้แป้งที่มีขนาดเล็กกว่าการโม่ด้วย Stone mill ทั้งการเตรียมวัตถุดิบโดยการลวกและการแช่ แข็ง

จากตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.2 เมื่อพิจารณาการโม่แบบเดียวกันพบว่าการโม่ด้วย Stone mill ให้แป้งที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงกว่าการโม่ด้วย Ball mill ในขณะที่การโม่ด้วยเครื่อง โม่ชนิดเดียวกัน ไม่ว่าจะโม่แห้งหรือโม่เปียก อนุภาคเฉลี่ยของแป้งกระจัดที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน

#### ความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ glucoamylase

โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชในแป้งดิบมีคุณสมบัติเป็น semi-crystalline เอนไซม์จึงย่อยแป้งดิบ ได้ยาก แต่ถ้าโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลายหรือเกิดการเจลาตินไนซ์ เอนไซม์ก็ย่อยได้ ง่ายขึ้น ดังนั้นการตรวจสอบการย่อยแป้งที่ได้จากวิธีการโม่ที่แตกต่างกันด้วยเอนไซม์ glucoamylase และวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น ในสภาวะการย่อยที่เหมือนกัน จะเป็นการ บ่งชี้ได้ถึงผลของวิธีการโม่ต่อการทำลายหรือการเกิดเจลาตินไนซ์ของแป้งกระจัดที่ได้จากวิธีการโม่ แต่ละวิธีได้

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.7 และ 4.11 พบว่า ทั้ง 3 ปัจจัย คือ การเตรียมวัตถุดิบ การโม่ และ เครื่องโม่ มีผลต่อความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ glucoamylase อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) แต่ทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน

ตารางที่ 4.11 ผลของวิธีการไม่ต่อความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ glucoamylase  
ค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมัน

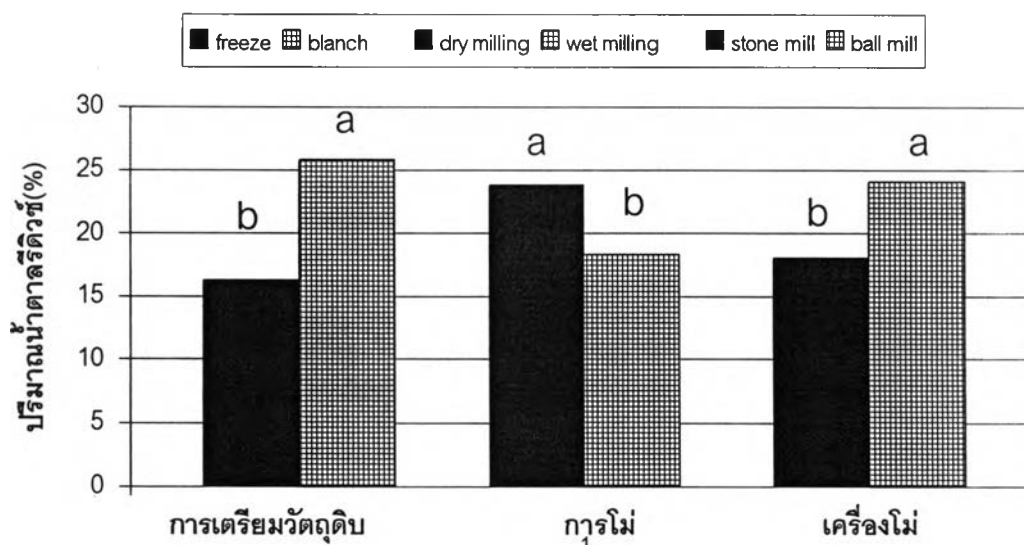
ปัจจัยของวิธีการไม่	ความสามารถในการย่อย ด้วยเอนไซม์ glucoamylase <sup>1</sup> (%)	ค่าการดูดซับน้ำ <sup>1</sup> (%)	ค่าการดูดซับน้ำมัน <sup>1</sup> (%)
การเตรียมวัตถุดิบ			
การแช่แข็ง	15.87±3.93 <sup>b</sup>	137.64±6.21 <sup>b</sup>	102.56±14.94 <sup>NS</sup>
การลวก	25.80±4.81 <sup>a</sup>	170.59±14.36 <sup>a</sup>	98.45±15.82 <sup>NS</sup>
การไม่			
การไม่แห้ง	23.39±6.73 <sup>a</sup>	153.59±23.61 <sup>NS</sup>	100.59±14.18 <sup>NS</sup>
การไม่เปียก	18.27±5.71 <sup>b</sup>	154.64±16.71 <sup>NS</sup>	100.42±16.78 <sup>NS</sup>
เครื่องไม่			
Stone mill	18.01±6.00 <sup>b</sup>	157.42±20.78 <sup>NS</sup>	114.50±6.30 <sup>a</sup>
Ball mill	23.64±6.24 <sup>a</sup>	150.81±19.54 <sup>NS</sup>	86.51±3.93 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 12 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันในปัจจัยเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ( $p > 0.05$ )



ภาพที่ 4.3 ผลของวิธีการไม่ต่อความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์  
glucoamylase

การย่อยแป้งที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบโดยการลวกให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าแป้งที่ได้จากการแช่แข็งอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความร้อนจากการลวก มีผลให้วัตถุดิบเกิดการเจลาติไนซ์ไปบางส่วนทำให้การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ทำได้ง่ายขึ้น

การไม่มียผลต่อการย่อยของเอนไซม์ โดยการไม่แห้งจะให้แป้งที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าการไม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากในการไม่แห้งอาจมีความร้อนเกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อการทำลายเม็ดแป้งได้มากกว่าการไม่เปียก(Jumduang และ Mohamed, 1994) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวงานวิจัยของ Piacquadio(2000) ที่ได้ศึกษาการผลิตแป้งข้าวโพด(corn flour) ด้วยวิธีการไม่แห้งและไม่เปียก และพบว่าการไม่เปียกให้แป้งที่ย่อยด้วยเอนไซม์ glucoamylase ได้ยากกว่าการไม่แห้ง โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากผลของความชื้นเริ่มต้นของแป้งก่อนอบแห้ง โดยการอบแห้งที่มีความชื้นสูงที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้งให้มีเสถียรภาพมากขึ้น(Piacquadio, 2000) โดยแป้งจากการไม่เปียกมีความชื้นเริ่มต้นก่อนอบแห้งสูงกว่าการไม่แห้ง จึงอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้งให้มีเสถียรภาพมากขึ้น ทำให้การย่อยด้วยเอนไซม์ทำได้ยากกว่าแป้งวิธีการไม่แห้ง

ชนิดของเครื่องไม่มียผลต่อความสามารถในการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ โดยพบว่าแป้งที่ได้จากการไม่ด้วยเครื่อง Ball mill มีผลให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่าการไม่ด้วยเครื่อง Stone mill ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก แรงกลที่ใช้ในการไม่ของเครื่องไม่แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โดยในการทดลองนี้ การไม่ด้วย Ball mill ใช้ ball ที่มีขนาดเล็กและใช้ความเร็วรอบในการไม่สูง แรงกลที่ใช้ในการไม่จึงเป็นแรง impact (Fellows, 1990) ส่วน Stone mill ที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบ single disc แรงกลที่ใช้เป็นแรง shear โดยแป้งที่ได้จากการไม่ด้วย Ball mill ให้แป้งที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าแป้งที่ไม่ด้วย Stone mill (ตารางที่ 4.9 และ 4.10) ดังนั้นอาจส่งผลให้เม็ดแป้งถูกทำลายได้มากกว่าด้วย ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์จึงสูงกว่าการไม่ด้วย Stone mill โดยมิงานวิจัยของ Tamaki และคณะ(1997) ที่ใช้ Ball mill เพื่อเพิ่มความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ amylase ในสตาร์ชมันฝรั่ง เนื่องจากสตาร์ชมันฝรั่งเป็นสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ amylase โดยพบว่าความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการไม่ด้วย Ball mill เพิ่มขึ้น เนื่องจากการไม่ด้วย Ball mill มีผลให้เกิดการเจลาติไนซ์ของสตาร์ชโดยไม่ต้องใช้ความร้อนและเม็ดแป้งยังคงรูปร่างอยู่ได้ แต่จะมีผลต่อการทำลายโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้ง

## ค่าการดูดซับน้ำ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.3 และ 4.11 พบว่าการเตรียมวัตถุดิบมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำของแป้งกระจับอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งกระจับที่ได้จากการเตรียมโดยการลวกจะให้ค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งที่ได้จากการเตรียมโดยการแช่แข็ง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Godoy และคณะ(1992) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าแป้งเผือกที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบโดยการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที ให้ค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งเผือกที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ไม่ได้ลวก โดยได้ให้เหตุผลว่า การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของความร้อน เมื่อคาร์โบไฮเดรตได้รับความร้อนจะเกิดการเจลาติไนซ์ รวมทั้งเส้นใยก็มีการพองตัวเกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ดังแสดงค่าการดูดซับน้ำของแป้ง(Flour) ชนิดต่าง ๆ ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าการดูดซับน้ำของแป้ง(Flour) ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแป้ง(Flour)	ค่าการดูดซับน้ำ(%w/w)
กระจับ <sup>1</sup>	
เตรียมวัตถุดิบโดยการแช่แข็ง	137.64±5.95
เตรียมวัตถุดิบโดยการลวก	170.75±13.75
ข้าวเหนียว <sup>2</sup>	118.71±2.50
เผือก <sup>3</sup>	
ไม่ลวก	114
ลวก (60 °C )	125
ลวก (100 °C )	223
สลี <sup>3</sup>	68
Wing bean flour <sup>4</sup>	210
Wing bean flour <sup>4</sup> (heat process)	290
Green mung bean flour <sup>5</sup>	210±20

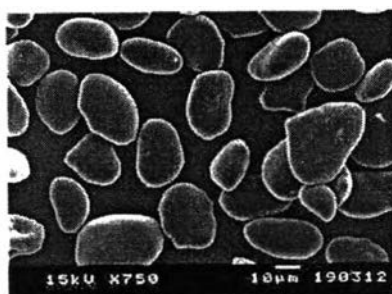
ที่มา : <sup>1</sup>จากการทดลอง; <sup>2</sup>Jumduang and Mohamed(1994); <sup>3</sup>Godoy et al. (1992)

<sup>4</sup>Narayana and Rao(1982); <sup>5</sup>Dzudie and Hardly (1996)

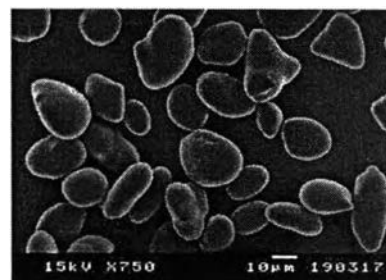
## ค่าการดูดซับน้ำมัน

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.3 และ 4.11 พบว่าเครื่องโม่ไม่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำมันของแป้งกระเจียบอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งกระเจียบที่ได้จากการโม่ด้วย Stone mill มีค่าการดูดซับน้ำมันสูงกว่าการโม่ด้วยเครื่อง Ball mill อาจเกิดจากการโม่ด้วย Stone mill มีผลต่อการทำลายเม็ดแป้งน้อยกว่า ซึ่งอาจส่งผลให้มีหมู่ -OH ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำออกมา (exposed) น้อยกว่า จึงทำให้ค่าการดูดซับน้ำมันมีค่าสูงกว่าการโม่ด้วย Ball mill ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ glucoamylase ดังได้กล่าวมาแล้ว พบว่าแป้งจากการโม่ด้วย Ball mill ถูกย่อยได้ง่ายกว่าแป้งที่ได้จากการโม่ด้วย Stone mill

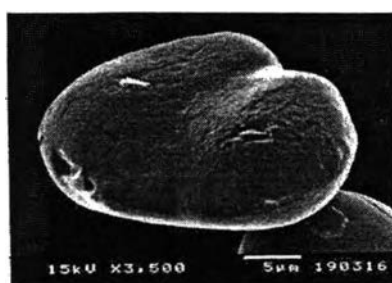
เมื่อตรวจสอบสภาพของพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชที่สกัดจากแป้งที่โม่ด้วย Ball mill และ Stone mill เปรียบเทียบกัน ดังภาพที่ 4.4 พบว่า เม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งที่โม่ด้วย Ball mill (FWB) มีสภาพพื้นผิวที่ถูกทำลายมากกว่าเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งที่โม่ด้วย Stone mill (FWS)



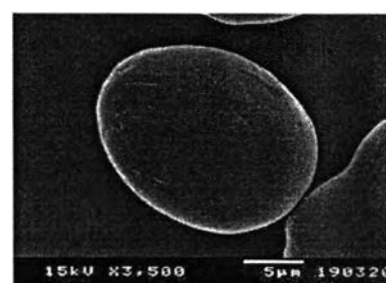
Ball mill (กำลังขยาย 750 เท่า)



Stone mill (กำลังขยาย 750 เท่า)



Ball mill (กำลังขยาย 3500 เท่า)



Stone mill (กำลังขยาย 3500 เท่า)

ภาพที่ 4.4 ลักษณะสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชที่สกัดจากแป้งที่โม่ด้วย Ball mill และ Stone mill จากเครื่อง SEM



### ค่าดัชนีความขาวของแป้งกระฉับ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.8 และ 4.13 พบว่าการเตรียมวัตถุดิบและการไม่ มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของแป้งกระฉับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) โดยไม่มีอิทธิพลต่อกัน พบว่า การลวกให้แป้งที่ขาวกว่าการแช่แข็งวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การลวกสามารถทำลายเอนไซม์ที่มีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล คือ polyphenol oxidase ที่อยู่ในกระฉับสดได้ และสามารถทำลายเอนไซม์ peroxidase ได้บางส่วน โดยเมื่อทดสอบ peroxidase test พบว่า กระฉับที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ผลการทดสอบพบว่ายังมีการเปลี่ยนแปลงสีเล็กน้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 1 นาที พบว่าไม่มีการทำงานของเอนไซม์ peroxidase แต่ที่ไม่เลือกอุณหภูมิในการลวกเป็น 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากกระฉับเกิดการเจลาติไนซ์มาก ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของแป้งกระฉับ ส่วนการแช่แข็งวัตถุดิบ เอนไซม์ในวัตถุดิบถูกทำลายไปบางส่วนในระหว่างการแช่แข็ง แต่เมื่อละลายน้ำแข็งเอนไซม์ก็สามารถทำงานได้อีก สีของแป้งจึงขาวน้อยกว่าการลวก Varavinit และ Shobsngob(1996) ได้ศึกษาผลของการแช่แข็งวัตถุดิบต่อค่าสีของแป้งกล้วยน้ำว่า พบว่าการแช่แข็งกล้วยดิบก่อนผลิตแป้ง ให้สีของแป้งกล้วยขาวกว่าแป้งที่ผลิตจากกล้วยดิบที่ไม่ได้แช่แข็ง แสดงว่าการแช่แข็งก็มีผลต่อความขาวของแป้งเช่นกัน อย่างไรก็ตามการลวกมีผลให้แป้งกระฉับขาวขึ้นได้มากกว่าการแช่แข็ง

นอกจากนี้ยังพบว่าการไม่มีผลให้ค่าดัชนีความขาวของแป้งกระฉับแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.8 โดยพบว่าการไม่แห้งจะให้สีของแป้งขาวกว่าการไม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในระหว่างการไม่เปียกเอนไซม์ polyphenol oxidase และ peroxidase ที่เหลืออยู่ในวัตถุดิบยังสามารถทำงานได้ โดยทำให้ปฏิกิริยาสีน้ำตาลเกิดขึ้นก่อนนำไปอบแห้ง ในขณะที่การไม่แห้ง วัตถุดิบถูกอบแห้งก่อนการไม่ ดังนั้น เอนไซม์จึงถูกทำลายไปในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองผลิตแป้งกล้วยโดย Varavinit และ Shobsngob(1996)

### ค่าดัชนีความขาวของเจลแป้งกระฉับ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.8 และ 4.13 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของเจลแป้งกระฉับ คือ การเตรียมวัตถุดิบและการไม่ โดยทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมต่อกัน พบว่า การเตรียมวัตถุดิบ โดยการลวกจะให้เจลแป้งกระฉับที่ขาวกว่าการแช่แข็ง

อย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) และการไม่แห้งจะให้เจลแป้งกระจับขาวกว่าการไม่เปียก ซึ่งให้ผลทำนองเดียวกับค่าดัชนีความขาวจากแป้งกระจับ โดยอธิบายผลได้เช่นเดียวกับผลของการเตรียมวัตถุดิบต่อค่าดัชนีความขาวของแป้งกระจับ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของเจลแป้งกระจับที่ได้มีสีออกม่วงแดงและมีกลิ่นหอม ซึ่งสีที่แตกต่างกันของเจลแป้งกระจับขึ้นอยู่กับ การเตรียมวัตถุดิบและการไม่ ดังแสดงในภาพที่ ข.3

ตารางที่ 4.13 ผลของวิธีการไม่ต่อค่าดัชนีความขาวของแป้งและเจลแป้งกระจับ

ปัจจัยของวิธีการไม่	ค่าดัชนีความขาวของแป้งกระจับ	ค่าดัชนีความขาวของเจลแป้งกระจับ
การเตรียมวัตถุดิบ		
การแช่แข็ง	85.91±1.67 <sup>b</sup>	62.19±1.39 <sup>b</sup>
การลวก	87.79±1.34 <sup>a</sup>	66.06±1.41 <sup>a</sup>
การไม่		
การไม่แห้ง	88.03±1.35 <sup>a</sup>	64.84±1.87 <sup>a</sup>
การไม่เปียก	85.67±1.28 <sup>b</sup>	63.41±2.73 <sup>b</sup>
เครื่องมือ <sup>NS</sup>		
Stone mill	86.84±1.44	63.92±2.47
Ball mill	86.86±2.10	64.33±2.43

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 12 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกันในปัจจัยเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.14 ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p > F$ )ของผลของวิธีการไม่ต่อความแข็งแรงของเจลแป้งกระจับ

ปัจจัยที่ศึกษา	Df	ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ( $p > F$ )		
		ความแข็งแรงของเจล		
		25 °C, 4 hr	4 °C, 24 hr	4 °C, 72 hr
วิธีการไม่	7	0.000**	0.000**	0.000**
Error	16			

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ 4.15 ผลของวิธีการโม่ต่อความแข็งแรงของเจลแป้งกระจัด

การเตรียม วัตถุดิบ	การโม่	เครื่องโม่	วิธีการโม่	ความแข็งแรงของเจลแป้งกระจัด(กรัม) <sup>1</sup>		
				25 °C, 4 hr	4 °C, 24 hr	4 °C, 72 hr
แช่แข็ง	โม่แห้ง	Stone mill	FDS	4.614±0.183 <sup>b</sup>	6.102±0.293 <sup>bc</sup>	12.678±1.350 <sup>c</sup>
		Ball mill	FDB	3.848±0.123 <sup>cd</sup>	4.777±01.07 <sup>d</sup>	9.742±0.081 <sup>e</sup>
	โม่เปียก	Stone mill	FWS	5.310±0.100 <sup>a</sup>	7.462±0.241 <sup>a</sup>	15.984±0.051 <sup>a</sup>
		Ball mill	FWB	4.797±0.161 <sup>b</sup>	7.229±0.071 <sup>a</sup>	14.027±0.425 <sup>b</sup>
ลวก	โม่แห้ง	Stone mill	BDS	3.987±0.263 <sup>c</sup>	5.770±0.228 <sup>c</sup>	8.688±0.566 <sup>e</sup>
		Ball mill	BDB	3.486±0.100 <sup>d</sup>	3.752±0.032 <sup>e</sup>	5.347±0.150 <sup>f</sup>
	โม่เปียก	Stone mill	BWS	4.941±0.343 <sup>ab</sup>	6.530±0.443 <sup>b</sup>	13.243±0.588 <sup>bc</sup>
		Ball mill	BWB	4.516±0.471 <sup>b</sup>	5.673±0.503 <sup>c</sup>	10.953±0.862 <sup>d</sup>

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

## ความแข็งแรงของเจลแป้งกระจับ

ในการวัดความแข็งแรงของเจลทำได้โดย เตรียมน้ำแป้งกระจับความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับกวนตลอดเวลา เทใส่ถ้วยพลาสติก แบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนที่ 2 และ 3 เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ และวัดความแข็งแรงของเจลด้วย Texture Analyzer สภาวะในการวัด ดังแสดงในภาคผนวก ก.14 จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าวิธีการไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลแป้งกระจับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

วิธีการไม่แบบ FWS(แช่แข็ง-ไม่เปียก-Stone mill) ให้แป้งกระจับที่มีความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด(5.310, 7.462และ15.984) ทั้งเจลแป้งกระจับที่เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.15 ในขณะที่ วิธีการไม่แบบ BDB(ลวก-ไม่แห้ง-Ball mill) ให้แป้งกระจับที่มีค่าความแข็งแรงของเจลต่ำที่สุด(3.486, 3.752 และ 5.347) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การไม่เปียกจะให้แป้งที่บริสุทธิ์กว่าการไม่แห้ง เนื่องจากส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่แป้ง เช่น โปรตีน เกลือแร่ ได้สูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ไม่ (ดังแสดงในตารางการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกระจับในตารางที่ 4.4 และ 4.5) โดยส่วนประกอบอื่น ๆ ในแป้งที่ได้จากการไม่แห้ง อาจไปขัดขวางการเกิดเจลจึงทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก และการไม่แห้งอาจทำให้เม็ดสตาร์ชถูกทำลายได้มากกว่าการไม่เปียก เนื่องจากในการไม่แห้งอาจมีความร้อนเกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อการทำลายเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าการไม่เปียก(Jumduang และ Mohamed, 1994) นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการไม่ด้วย Stone mill ให้แป้งที่มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงกว่าการไม่ด้วย Ball mill เนื่องจาก การไม่ด้วย Ball mill ได้แป้งที่มีปริมาณผลผลิตสูงกว่าการไม่ด้วย Stone mill ซึ่งทำให้ส่วนประกอบอื่น ๆ ปนมามากด้วย และอาจมีผลไปขัดขวางการเกิดเจลของแป้งได้ อีกทั้งยังมีผลต่อการทำลายเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าการไม่ด้วย Stone mill

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีการไม่แบบ FWS คือ การเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่แข็ง ไม่เปียกและไม่ด้วย Stone mill จะให้แป้งกระจับที่มีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด อาจเกิดจากแป้งที่ได้มีความบริสุทธิ์สูงและ เม็ดแป้งถูกทำลายหรือเกิดเจลได้น้อยที่สุด

## สมบัติด้านความหนืดของแป้งกระจับ

ในการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของแป้งกระจับโดยวัดด้วยเครื่อง RVA (Rapid Visco Analyser) ซึ่งมีการทำงานเช่นเดียวกับเครื่อง Brabender Viscoamylograph เป็นเครื่องที่ใช้ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพิจารณาความหนืดขณะให้ความร้อนและทำให้เย็น โดยคุณสมบัติพิเศษของเครื่อง RVA คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับอุณหภูมิ ทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคู่ไปกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายในเวลาสั้น และยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า เครื่อง Brabender Viscoamylograph ด้วย รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ดังแสดงในแผนวก ก.15 โดยค่าที่วัดได้ คือ pasting temperature (อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจล) peak viscosity (ความหนืดสูงสุด) Minimum viscosity (ความหนืดต่ำสุด) final viscosity (ความหนืดสุดท้าย) breakdown (การแตกตัว) และ setback (การคืนตัว)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4.16 พบว่า วิธีการไม่มีผลต่อค่า peak viscosity, Minimum viscosity, final viscosity, breakdown และ setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อ pasting temperature ทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จากตารางที่ 4.17 พบว่า วิธีการไม่แบบ FWS (แช่แข็ง-ไม่เปียก-Stone mill) ให้แป้งกระจับที่มีค่า peak viscosity, minimum viscosity, breakdown, final viscosity และ setback สูงที่สุด (280.67, 227.21, 53.46, 433.75 และ 206.25 ตามลำดับ) ในขณะที่ วิธีการไม่แบบ BDB (ลวก-ไม่แห้ง-Ball mill) ให้แป้งกระจับที่สมบัติด้านความหนืดต่ำที่สุด (85.96, 72.00, 13.93, 98.00 และ 26.00 ตามลำดับ) โดยให้ผลสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจล (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.16 ค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > F$ ) ของผลของวิธีการไม่ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกระจับด้วยเครื่อง RVA (Rapid Visco Analyser)

ปัจจัยที่ศึกษา	df	ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > F$ )					
		สมบัติด้านความหนืด (RVU)					Pasting Temperature (°C)
		Peak viscosity	Minimum viscosity	Break-down	Final viscosity	Setback	
วิธีการไม่	7	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.092 <sup>NS</sup>
Error	8						

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์ ( $p < 0.01$ ) <sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.17 ผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกระจุบที่วัดด้วยเครื่อง RVA(Rapid Visco Analyser)

การเตรียม วัตถุดิบ	การโม่	เครื่องโม่	วิธีการ โม่	Peak viscosity (RVU)	Minimum viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback	Pasting Temperature (°C) <sup>NS</sup>
แช่แข็ง	ไม่แห้ง	Stone mill	FDS	196.13±0.53 <sup>c</sup>	168.29±0.30 <sup>c</sup>	27.84±0.23 <sup>bcd</sup>	263.88±10.32 <sup>c</sup>	100.09±3.66 <sup>c</sup>	83.13±0.53
		Ball mill	FDB	189.46±6.07 <sup>c</sup>	146.50±4.48 <sup>d</sup>	40.46±5.13 <sup>ab</sup>	241.83±11.31 <sup>d</sup>	65.84±10.37 <sup>de</sup>	82.70±1.06
	ไม่เปียก	Stone mill	FWS	280.67±1.89 <sup>a</sup>	227.211±3.85 <sup>a</sup>	53.46±11.96 <sup>a</sup>	433.75±13.43 <sup>a</sup>	206.25±0.00 <sup>a</sup>	82.45±0.50
		Ball mill	FWB	238.00±7.54 <sup>b</sup>	190.42±4.12 <sup>b</sup>	47.58±11.67 <sup>ab</sup>	336.12±11.25 <sup>b</sup>	145.71±7.13 <sup>b</sup>	81.63±0.53
ลวก	ไม่แห้ง	Stone mill	BDS	130.46±19.86 <sup>e</sup>	112.42±10.96 <sup>e</sup>	18.04±8.90 <sup>cd</sup>	154.04±28.69 <sup>e</sup>	41.63±17.74 <sup>ef</sup>	83.17±0.46
		Ball mill	BDB	85.96±10.31 <sup>f</sup>	72.00±13.19 <sup>f</sup>	13.96±2.89 <sup>d</sup>	98.00±12.26 <sup>f</sup>	26.00±0.95 <sup>f</sup>	83.50±0.07
	ไม่เปียก	Stone mill	BWS	229.50±0.35 <sup>b</sup>	189.00±1.76 <sup>b</sup>	40.50±1.41 <sup>ab</sup>	327.7±12.77 <sup>b</sup>	138.71±1.00 <sup>b</sup>	82.75±0.07
		Ball mill	BWB	164.79±13.02 <sup>d</sup>	127.42±2.24 <sup>e</sup>	37.38±5.27 <sup>abc</sup>	207.63±22.34 <sup>c</sup>	80.21±24.57 <sup>cd</sup>	83.45±0.28

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p≤0.05)

NS : ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(p>0.05)

เมื่อพิจารณาวิธีการโม่แป้งจากทั้ง 8 วิธี ที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกระจับ จากตารางที่ 4.17 พบว่า วิธีการโม่แบบ FWS(แช่แข็ง-โม่เปียก-Stone mill) ให้แป้งกระจับที่มีค่า peak viscosity, minimum viscosity, breakdown, final viscosity และ setback สูงที่สุด รองลงมา คือ วิธีการโม่แบบ FWB(แช่แข็ง-โม่เปียก-Ball mill) และ BWS(ลวก-โม่เปียก-Stone mill) ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นการโม่เปียก แต่การที่วิธี FWB มีค่าความหนืดต่ำกว่าวิธี FWS เนื่องจากการใช้เครื่องโม่ต่างกัน โดยวิธี FWB เป็นการโม่แป้งด้วย Ball mill ซึ่งการโม่แป้งด้วย Ball mill มีผลให้แป้งที่ได้มีองค์ประกอบอื่น ๆ ในแป้งสูงกว่าการโม่ด้วย Stone mill(ตารางที่ 4.6) อีกทั้งความสามารถในการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ glucoamylase ก็สูงกว่าด้วย (ตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.3) ดังนั้น ส่วนประกอบอื่น ๆ ในแป้งอาจไปขัดขวางการพองตัวของแป้งทำให้แป้งมีความหนืดลดลงหรือเกิดจากการโม่แป้งด้วย Ball mill ที่เม็ดสตาร์ชในแป้งถูกทำลายได้มากกว่า ความหนืดของแป้งจึงต่ำกว่าการโม่ด้วย Stone mill ส่วนการวิธีการโม่แบบ BWS มีความหนืดต่ำกว่าวิธีการโม่แบบ FWS เกิดจากผลของการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยวิธี BWS เตรียมตัวอย่างโดยการลวก มีผลให้ความหนืดของแป้งต่ำกว่าการแช่แข็ง เนื่องจากการลวกทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ได้มากกว่าการแช่แข็ง พิจารณาจากค่าความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ที่สูงกว่า (ตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.3)

จะเห็นได้ว่าวิธีการโม่ที่มีขั้นตอนทำให้เม็ดสตาร์ชเสียหายหรือเกิดเจลาติไนซ์ จะส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลงด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเจลที่ลดต่ำลงเช่นกัน ยังมีขั้นตอนที่มีผลต่อการทำลายเม็ดสตาร์ชหรือเม็ดสตาร์ชเกิดเจลาติไนซ์ได้มาก ความหนืดของแป้งก็จะลดลงมาก ดังผลความหนืดของแป้งที่ผลิตจากวิธีการโม่แบบ BDB(ลวก-โม่แห้ง-Ball mill) ที่ให้ความหนืดของแป้งต่ำสุด เนื่องจากผลของการลวกที่ส่งผลให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ การโม่แห้งซึ่งเม็ดสตาร์ชถูกทำลายได้มากเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการโม่ และการโม่แห้งยังมีผลให้แป้งที่ได้มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น เถ้าและโปรตีน สูงกว่าการโม่เปียก นอกจากนี้การโม่ด้วย Ball mill ยังมีผลต่อการทำลายเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าการโม่ด้วย Stone mill อีกด้วย

#### 4.3 แนวทางการใช้ประโยชน์จากแป้งกระจับ

จากการศึกษาผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งกระจับ ดังแสดงในข้อ 4.2 พบว่าแป้งกระจับที่ผลิตได้จากวิธีการโม่ทั้ง 8 วิธีที่แตกต่างกัน ส่งผลให้แป้งกระจับที่ได้มีสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเลือกวิธีการโม่เพื่อผลิตแป้งกระจับ ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้วย โดยทั่วไปสามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งการใช้ประกอบอาหารในรูปของแป้ง(flour)หรือนำไปสกัดเป็นสตาร์ช(starch)

โดยการใช้ในรูปของแป้ง(flour)จะพิจารณาจากวิธีการผลิตที่ให้ปริมาณผลผลิตแป้งสูง แป้งที่ได้มีคุณค่าทางอาหาร สีของแป้งขาว รวมถึงมีสมบัติที่สามารถใช้ในสูตรอาหารได้ คือ มีค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมันสูง เนื่องจากสูตรอาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำและน้ำมัน การที่แป้งค่าการดูดซับน้ำหรือน้ำมันสูงจะสามารถใช้ เป็น binder ในสูตรอาหารที่มีน้ำหรือไขมันอยู่สูงได้เช่น เค้ก คุกกี้ เป็นต้น ซึ่งสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งกระจับแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวิธีการโม่ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การโม่ และชนิดของเครื่องโม่ที่ใช้

ส่วนการนำแป้งไปใช้สกัดเป็นสตาร์ช วิธีการผลิตแป้งต้องไม่มีผลไปทำลายเม็ดสตาร์ชหรือทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งในการทดลองสามารถตรวจสอบโดยศึกษาความสามารถในการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ glucoamylase โดยถ้าเม็ดสตาร์ชถูกทำลายหรือเกิดการเจลาติไนซ์มาก ความสามารถในการย่อยด้วยเอนไซม์ glucoamylase ก็สูงขึ้นด้วย และส่งผลให้ความแข็งแรงของเจลและสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วย RVA ต่ำลงด้วย ดังนั้น ในการทดลองจึงได้เลือกวิธีการโม่แป้งที่ส่งผลต่อการทำลายเม็ดสตาร์ชหรือวิธีที่มีผลให้เกิดเจลาติไนซ์ต่ำสุด ซึ่งพิจารณาจากค่าความสามารถในการย่อยเอนไซม์ต่ำและค่าความแข็งแรงของเจลและสมบัติด้านความหนืดสูงสุด คือ วิธีการโม่แบบ FWS ที่มีการเตรียมวัตถุดิบโดยการแช่แข็ง ร่วมกับการโม่เปียกและโม่ด้วย Stone mill



#### 4.4 การสกัดสารจากกระเจับ

การสกัดสารจากกระเจับ โดยสกัดจากเมล็ดกระเจับสดและแป้งกระเจับ และใช้สารละลายในการสกัด 2 ชนิด คือ น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้วิธีการสกัดสาร 3 วิธี คือ

1. การสกัดสารจากเมล็ดกระเจับสดด้วยน้ำ
2. การสกัดสารจากเมล็ดกระเจับสดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. การสกัดสารจากแป้งกระเจับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

โดยประสิทธิภาพของการสกัดพิจารณาจาก ปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีนและค่าดัชนีความขาว แสดงผลดังตารางที่ 4.18 และ 4.19 รวมทั้งได้พิจารณาถึงความยากง่ายของวิธีการสกัดด้วย

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีสกัดสารต่อปริมาณผลผลิต โปรตีนและค่าดัชนีความขาว

ANOVA	df	ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ(p>F)		
		ปริมาณผลผลิต <sup>1</sup> (%)	ปริมาณโปรตีน <sup>1</sup> (%)	ดัชนีความขาว
วิธีสกัดสาร	2	0.001**	0.572	0.021*
Error	6			

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ( $p \leq 0.01$ )

ตารางที่ 4.19 ผลของการสกัดสารต่อปริมาณผลผลิต โปรตีนและค่าดัชนีความขาว ของสารสกัดกระเจับ

การสกัดสาร	ปริมาณผลผลิต <sup>1</sup> <sup>2</sup> (%)	ปริมาณโปรตีน <sup>1, 2, NS</sup> (%)	ดัชนีความขาว <sup>2</sup>
กระเจับสดสกัดด้วยน้ำ	46.83±2.92 <sup>a</sup>	0.10±0.004	98.19±0.28 <sup>a</sup>
กระเจับสดสกัดด้วย NaOH(0.2%)	37.03±1.97 <sup>b</sup>	0.07±0.002	98.45±0.04 <sup>a</sup>
แป้งกระเจับสกัดด้วยNaOH(0.2%)	32.81±2.50 <sup>b</sup>	0.10±0.006	97.68±0.40 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

<sup>2</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ )

<sup>NS</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ( $p > 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติดังตารางที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า วิธีสกัดสตาร์ชมีผลต่อปริมาณผลผลิตและค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชกระจัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการสกัดสตาร์ชจากกระจัดสดด้วยน้ำ ให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด ในขณะที่การสกัดสตาร์ชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้งจากกระจัดสดและแป้งกระจัดให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในการสกัดสตาร์ชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สตาร์ชที่ได้มีการสูญเสียไปในขั้นตอนการล้างโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หลายครั้งเพื่อให้สตาร์ชบริสุทธิ์ โดย  $\text{OH}^-$  ของสารละลายต่างที่ใช้สกัดมีผลให้ หมู่  $-\text{OH}$  บริเวณพื้นผิวของสตาร์ชเกิดการผลึกกัน การเกาะตัวของเม็ดสตาร์ชจึงเกิดได้ไม่ดี เมื่อมีการล้างโปรตีนหลายครั้งจึงทำให้เม็ดสตาร์ชมีการสูญเสียได้มาก ในขณะที่การสกัดด้วยน้ำ สตาร์ชมีการเกาะตัวกันดีกว่าทำให้สตาร์ชมีการสูญเสียไประหว่างขั้นตอนการล้างโปรตีนได้น้อยกว่า ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับ Galvez และ Resurreccion (1993) ซึ่งได้รายงานไว้ว่าการสกัดสตาร์ชด้วยน้ำให้ปริมาณผลผลิตและประสิทธิภาพในการสกัดสูงกว่าการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยให้เหตุผลว่าเกิดจากการที่ สตาร์ชบางส่วนสามารถสูญเสียไปกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้มากกว่าน้ำ (Galvez และ Resurreccion, 1993) อย่างไรก็ตามในการผลิตสตาร์ชจากวัตถุดิบที่สกัดได้ยาก การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด โดยทำให้พันธะที่เกิดจากการจับกันของเม็ดสตาร์ชกับส่วนประกอบอื่น ๆ อ่อนลง ทำให้การแยกโปรตีน เส้นใย หรือ คัพพะ ออกได้ง่ายขึ้น (Knight, 1969) โดยประสิทธิภาพของการสกัด สตาร์ชขึ้นอยู่กับวิธีการล้างโปรตีนออกจากเม็ด สตาร์ชเป็นสำคัญ (Gracze, 1965)

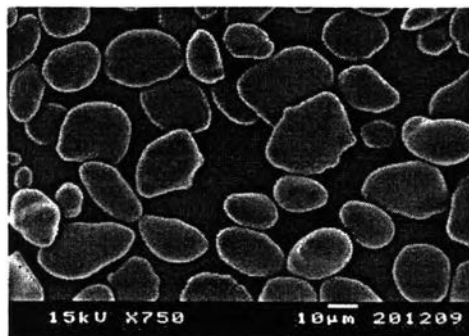
จากตารางที่ 4.19 และ พบว่าปริมาณโปรตีนของสตาร์ชกระจัด จากการสกัดสตาร์ชทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณโปรตีนที่อยู่ในช่วง 0.07-0.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโดยปกติแล้วในสตาร์ชควรมีปริมาณโปรตีนไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการสกัดสตาร์ชจากกระจัดสดโดยใช้น้ำตามวิธีดังภาพที่ 3.3 สามารถล้างโปรตีนออกจนได้สตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูง (โปรตีน 0.10 เปอร์เซ็นต์) แต่พบว่าการสกัดกระจัดสดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ใช้วิธีการสกัดสตาร์ชเช่นเดียวกับการสกัดด้วยน้ำ) ได้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด (0.07 เปอร์เซ็นต์) แสดงว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ช่วยให้การละลายโปรตีนออกไปได้ดีกว่าการใช้น้ำ แต่ในส่วนของ การสกัดสตาร์ชจากแป้งกระจัดใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด เนื่องจากงานวิจัยที่สกัดสตาร์ชจากแป้ง (flour) โดยทั่วไปใช้ต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ในการสกัด (Jane และ คณะ, 1992 ; Misty และ Eckhoff, 1992 ; Varavinit และ Shobsngob, 1996) โดย Misty และ Eckhoff (1992) พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ สามารถละลายโปรตีนออกจากแป้งข้าวโพดได้ดีกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.4 % ที่เป็นเช่นนี้

เนื่องจากโปรตีนพวก glutenins ละลายได้ดีในสารละลายต่างที่ความเข้มข้นต่ำ โดยสารละลายต่างที่ความเข้มข้นสูงจะมีผลให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์(cold gelatinize) ทำให้สมบัติของสตาร์ชเสียไป และเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตด้วย(Radosavljevic และคณะ, 1998) ดังนั้นการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด เพื่อต้องการให้สตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง(โปรตีนต่ำ) และเพิ่มปริมาณผลผลิต นอกจากนี้การอบแห้งในขั้นตอนการเตรียมแป้งอาจมีผลให้โปรตีนเกาะบนเม็ดสตาร์ชแน่นขึ้น ดังนั้นการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะช่วยละลายโปรตีนออกไปได้ดียิ่งขึ้น

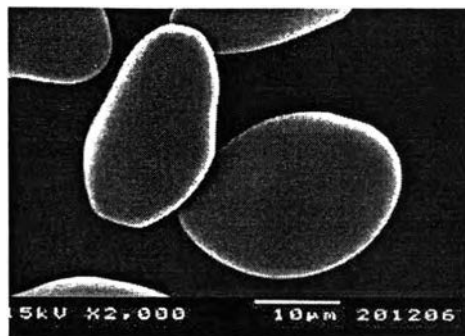
วิธีการสกัดสตาร์ชมีผลต่อค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า สตาร์ชที่สกัดจากแป้งกระเจี๊ยบมีค่าดัชนีความขาวต่ำสุด โดยสตาร์ชที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบสด ทั้งการสกัดด้วยน้ำและโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ค่าดัชนีความขาวไม่แตกต่างกันทางสถิติ( $p > 0.05$ ) แสดงว่าในขั้นตอนการเตรียมแป้งกระเจี๊ยบอาจเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลระหว่างโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตก่อนนำมาสกัดสตาร์ช จึงมีผลต่อความขาวของสตาร์ชที่สกัดได้

เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชกระเจี๊ยบที่สกัดจากทั้ง 3 วิธี เพื่อนำสตาร์ชจากกระเจี๊ยบไปศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป สรุปได้ว่าวิธีการสกัด สตาร์ชจากกระเจี๊ยบที่ดีที่สุดในการทดลองนี้ คือ การสกัดสตาร์ชจากกระเจี๊ยบสดโดยใช้น้ำในการสกัด เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุด สตาร์ชมีสีขาวที่สุด ในขณะที่ปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างจากสตาร์ชที่สกัดจากวิธีอื่น โดยวิธีที่ใช้น้ำสกัด เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและลดต้นทุนการใช้สารเคมีด้วย นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าสามารถสกัดสตาร์ชจากเมล็ดกระเจี๊ยบได้ง่ายด้วยน้ำและสตาร์ชที่ได้มีสีขาว โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับรงควัตถุในวัตถุดิบซึ่งอาจส่งผลต่อความขาวของสตาร์ชที่สกัดได้ เช่น ถั่วเขียวและถั่วมะแฮะ ที่มีรงควัตถุในเปลือกซึ่งมีผลต่อสีของสตาร์ชที่สกัดได้และสามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย(Singh และคณะ, 1989)

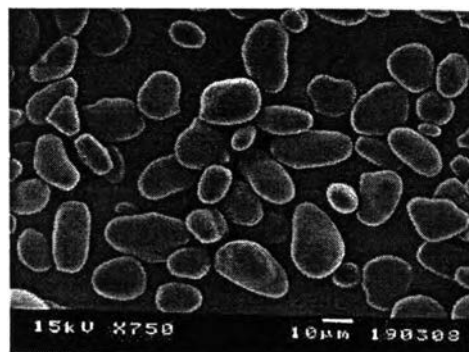
เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างและสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกระเจี๊ยบที่สกัดได้จากวิธีสกัดทั้ง 3 วิธี ด้วย SEM(Scanning Electron Microscope) ดังแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกระเจี๊ยบที่สกัดได้จากทั้ง 3 วิธี มีรูปร่างเหมือนกัน โดยมีรูปร่างหลายแบบ มีทั้งแบบกลม รี รูปไข่และรูปร่างคล้ายเมล็ดกระเจี๊ยบ ซึ่งเม็ดสตาร์ชจากแหล่งเดียวกันจะมีรูปร่างเหมือนกันไม่ว่าสกัดด้วยวิธีใด แต่พบว่าพื้นที่ผิวของสตาร์ชที่สกัดได้จากแป้งกระเจี๊ยบมีรอยขรุขระบ้างเล็กน้อยอาจเกิดจากผลของความร้อนจาก การอบแห้งหรือการไม้อบในขั้นตอนการเตรียมแป้ง จะเห็นได้จากภาพที่ 4.5 ที่กำลังขยาย 3500 เท่า



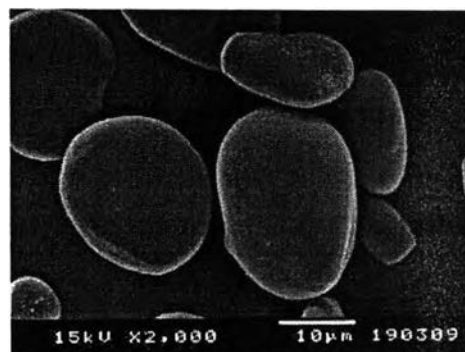
เมล็ดกระเจี๊ยบสกัดด้วยน้ำ (750 เท่า)



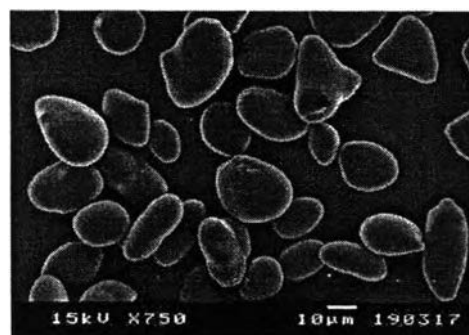
เมล็ดกระเจี๊ยบสกัดด้วยน้ำ (2000 เท่า)



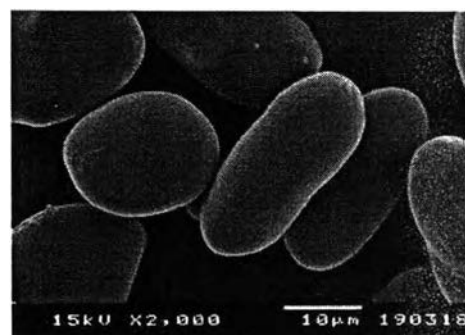
เมล็ดกระเจี๊ยบสกัดด้วย NaOH (750 เท่า)



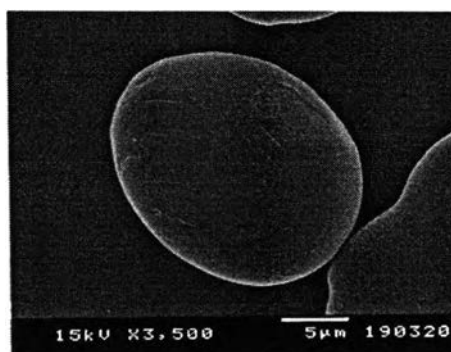
เมล็ดกระเจี๊ยบสกัดด้วย NaOH (2000 เท่า)



แป้งกระเจี๊ยบสกัดด้วย NaOH (750 เท่า)



แป้งกระเจี๊ยบสกัดด้วย NaOH (2000 เท่า)



แป้งกระเจี๊ยบสกัดด้วย NaOH (3500 เท่า)

ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างและสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกระเจี๊ยบที่สกัดจากวิธีต่างๆ

## 4.5 สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากกระฉับ

### 4.5.1 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกระฉับ

นำสตาร์ชจากกระฉับ ที่สกัดโดยใช้เมล็ดกระฉับสดเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นและสกัดด้วยน้ำ มาศึกษาสมบัติทางเคมีและปริมาณผลผลิต ให้ผลดังตารางที่ 4.20 พบว่า สตาร์ชที่ได้มีปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง 47.67 เปอร์เซ็นต์ และมีความบริสุทธิ์สูง ดังจะเห็นได้จากการที่สตาร์ชมีปริมาณโปรตีน 0.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้า 0.07 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งปริมาณสตาร์ช 98.17 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการสกัดสตาร์ชจากกระฉับสามารถทำได้ง่ายโดยใช้น้ำในการสกัดและให้ผลผลิตสูง โดยไม่ต้องใช้สารเคมีในการสกัด

ตารางที่ 4.20 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากกระฉับ

ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมี	ค่าเฉลี่ย <sup>1</sup> ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณผลผลิต(%db)	47.67 ± 2.88
ความชื้น(%wt)	9.78 ± 0.62
โปรตีน(%db)	0.11 ± 0.03
เถ้า(%db)	0.07 ± 0.01
สตาร์ช(%db)	98.18 ± 0.69
อะมิโลส(%db)	29.62 ± 0.89

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

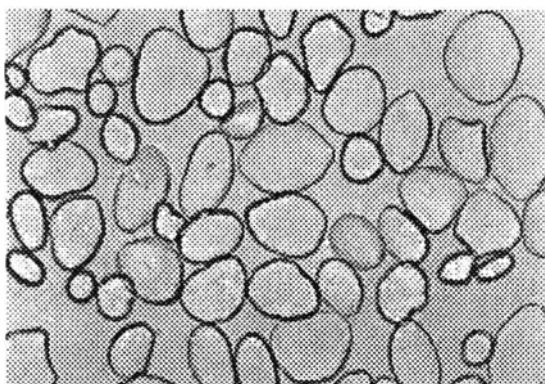
### 4.5.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกระฉับ

ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชโดยทั่วไป สมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การศึกษาถึงลักษณะของเม็ดสตาร์ช(Starch Morphology) โดยสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีลักษณะของเม็ดสตาร์ชแตกต่างกันไป ทั้งขนาดและ/หรือรูปร่าง ซึ่งวิธีการตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด โดยสามารถตรวจสอบลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ช ตำแหน่งของไฮลัม รวมทั้งสามารถตรวจสอบความเสียหายและการปนเปื้อนของแป้งชนิดอื่นได้อีกด้วย การตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชจากกระฉับด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงปกติ(normal light)ดังรูปที่ 4.6 ก. และภายใต้แสงโพลาไรซ์(polarized light)ดังรูปที่ 4.6 ข.

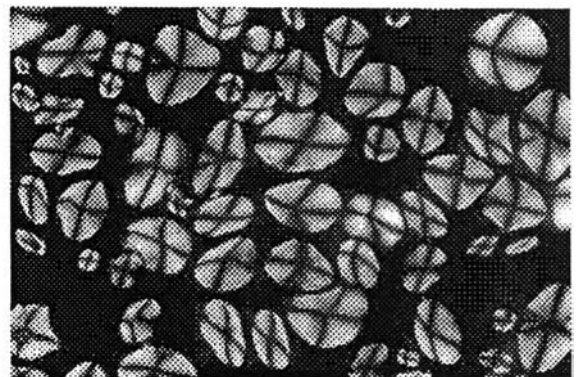
#### 4.5.2.1 ลักษณะ Birefringence ของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ

ลักษณะ Birefringence เกิดจากความสามารถในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ของผลึกภายในเม็ดสตาร์ช เกิดเป็นแนวสีดำและแนวสีดําจะตัดกันที่ไฮลัม(hilum) ทำให้ทราบการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ช โดยภายในเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ มีไฮลัมเป็นจุดศูนย์กลางและสายพอลิเมอร์เหล่านี้จะเรียงตัวกันในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งพื้นที่มืดที่เห็นภายใต้แสงโพลาไรซ์เป็นตำแหน่งเฉลี่ยของของสายพอลิเมอร์ที่อยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับแสงโพลาไรซ์ แต่เนื่องจากพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นสายพอลิเมอร์บางสายที่ไม่อยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำให้สามารถบิดระนาบแสงและเห็นเป็นพื้นที่สว่างเกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ในการตรวจสอบลักษณะ Birefringence ของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ เพื่อตรวจสอบความเสียหายของเม็ดสตาร์ช หากโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย ลักษณะ Birefringence จะหายไปด้วย โดยในการทดลองได้ตัดแปลงแหล่งกำเนิดแสงปกติ (normal light) ของกล้องจุลทรรศน์ด้วยแผ่นโพลาไรซ์ ทำให้เกิดแหล่งกำเนิดระนาบเดียว (polarize light) เพื่อสามารถส่องดูลักษณะ Birefringence จากกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาได้ แสดงดังภาพที่ 4.6 พบว่า เม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บส่วนใหญ่ส่วนใหญ่ มีรูปร่างกลม รีและรูปไข่ และมีการกระจายขนาดทั้งขนาดใหญ่และเล็ก การตรวจสอบลักษณะ Birefringence พบว่าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะ Birefringence ชัดเจนและตำแหน่งไฮลัมอยู่ตรงกลางเม็ดสตาร์ช แสดงว่ามีการสร้างสายพอลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินจากจุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ชและขยายออกตามแนวรัศมีของเม็ดสตาร์ช



ก.



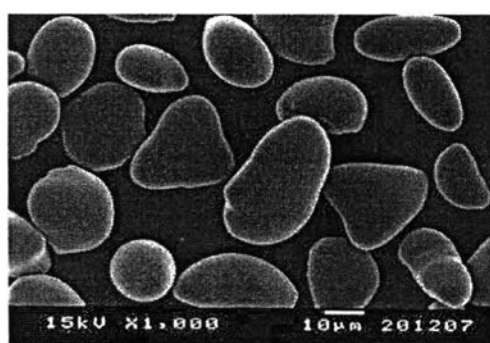
ข.

ภาพที่ 4.6 รูปร่างและลักษณะ Birefringence ของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ

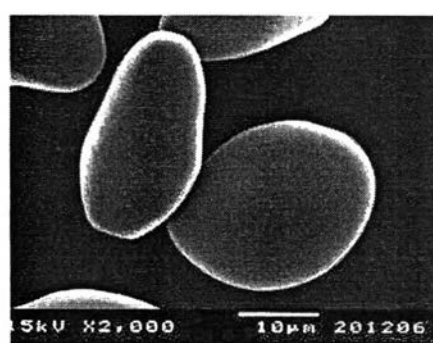
ก. normal light ข. polarized light

#### 4.5.2.2 ลักษณะรูปร่างและโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกระเจับโดยใช้ SEM(Scanning Electron Microscope)

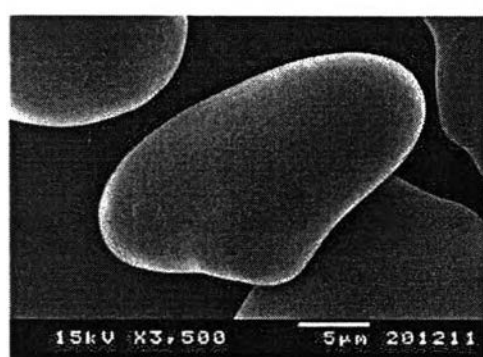
กล้องจุลทรรศน์มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช เนื่องจากกำลังขยายไม่เพียงพอ การใช้ SEM สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชได้อย่างละเอียด โดยการศึกษาลักษณะรูปร่างและสภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกระเจับด้วย SEM แสดงในภาพที่ 4.7 พบว่าเม็ด สตาร์ชของกระเจับมีรูปร่างแบบ กลม รี รูปไข่ คล้ายเปลือกหอยและคล้ายเมล็ดกระเจับ รวมทั้งแบบไม่มีรูปร่างแน่นอน ลักษณะสภาพพื้นผิวเรียบไม่มีรอยแตกร้าว แสดงว่าเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้สมบูรณ์ ไม่เกิดความเสียหายจากขั้นตอนการสกัดหรือขั้นตอนการโม ซึ่งเม็ดสตาร์ชที่สมบูรณ์จะส่งผลให้การศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านอื่น ๆ ต่อไปนั้น ได้ผลที่แท้จริงและถูกต้อง



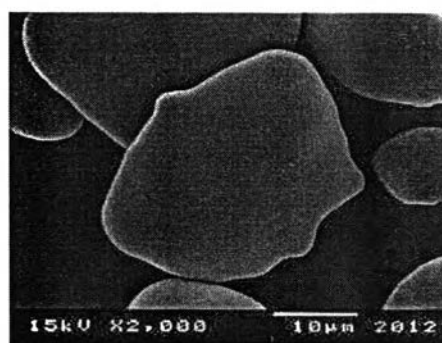
1000 เท่า



2000 เท่า



3500 เท่า

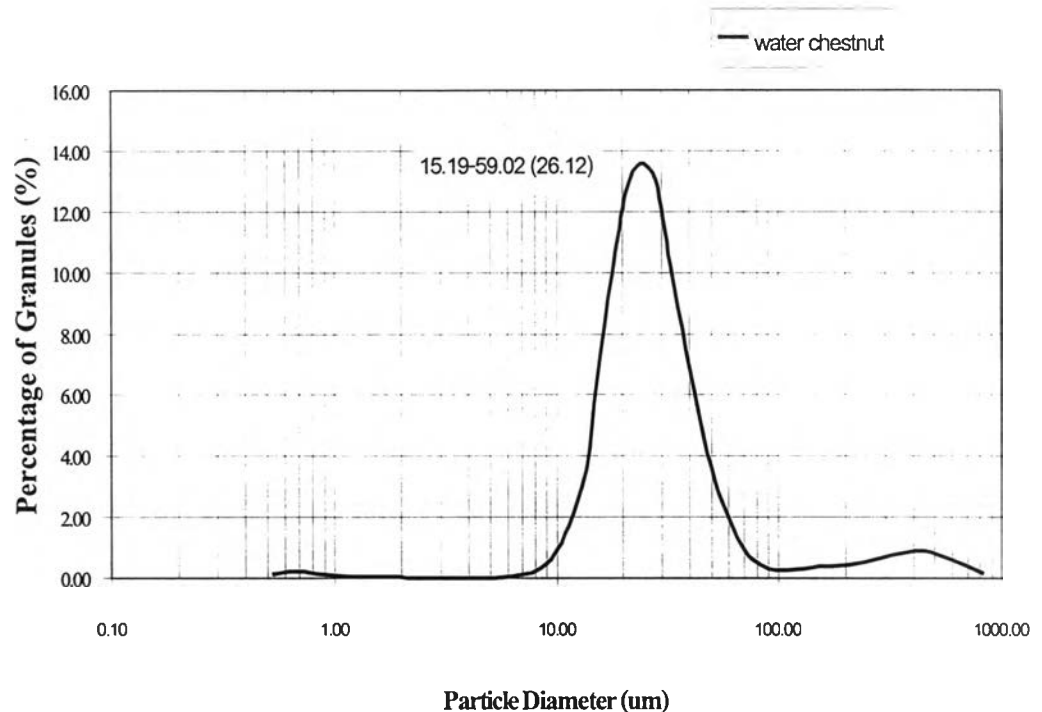


2000 เท่า

ภาพที่ 4.7 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกระเจับด้วย SEM ที่กำลังขยายต่าง ๆ

#### 4.5.2.3 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ

ในการศึกษาการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บด้วยเครื่อง Particle size analyzer ให้ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชดังภาพที่ 4.8 พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บมีขนาดกระจายตัวอยู่ในช่วง 15.19-69.02  $\mu\text{m}$  และมีขนาดเฉลี่ย 26.12  $\mu\text{m}$



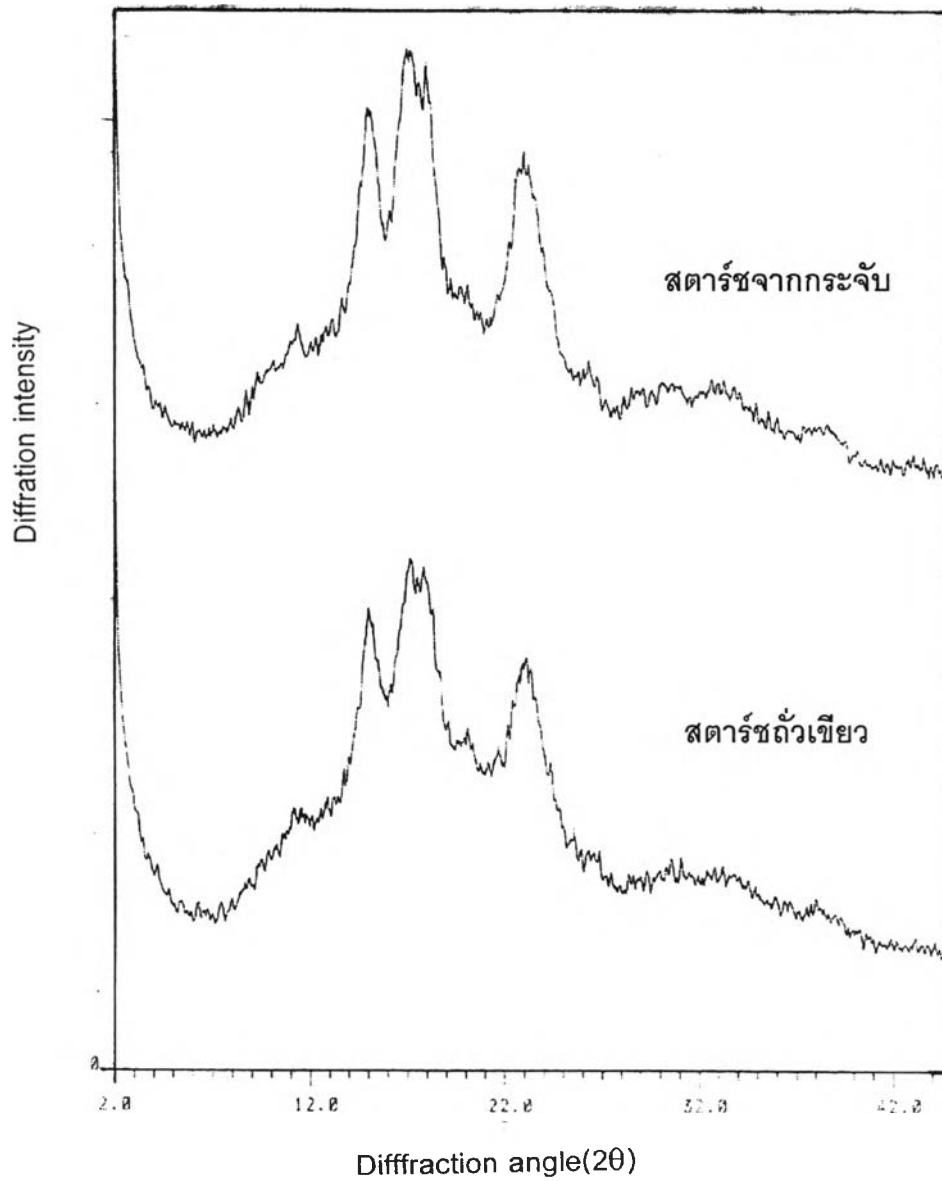
ภาพที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ

#### 4.5.2.4 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บ

ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชจากกระเจ็บด้วย X-ray powder diffraction พบว่าสตาร์ชจากกระเจ็บมีผลึกเป็นแบบ C เช่นเดียวกับสตาร์ชถั่วเขียว ดังภาพที่ 4.9 โดยสามารถแบ่ง X-ray diffraction pattern ของเม็ดสตาร์ชในธรรมชาติได้ 3 แบบ คือ ผลึกแบบ A การจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชมีความหนาแน่นมาก ได้แก่ เม็ดสตาร์ชจากธัญพืชชนิดต่าง ๆ ผลึกแบบ B มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชอย่างหลวม ๆ ได้แก่ พืชหัว เช่น มันฝรั่ง และผลึกแบบ C มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชทั้งแบบ A และ B ได้แก่ สตาร์ชจากมันสำปะหลัง และสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว (Hoseney,1994) โดยในการ



พิจารณารูปแบบของผลึกจาก X-ray diffraction pattern จะพิจารณาได้จากตารางมาตรฐานของ Zobel(1964) ดังแสดงในภาคผนวก ก.22



ภาพที่ 4.9 X-ray powder diffractograms ของสตาร์ชจากกระบี่และสตาร์ชถั่วเขียว

#### 5.4.2.5 กำลังการพองตัว(Swelling Power)และการละลาย(Solubility)ของ สตาร์ชจากกระจั๊บ

โดยทั่วไปสตาร์ชจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ แต่ถ้าให้ความร้อนกับเม็ดสตาร์ชที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชก็จะดูดซับน้ำและพองตัวมากขึ้น แต่อาจมีโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินที่มีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกมาทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ เม็ดสตาร์ชจะพองตัวเต็มที่หรืออาจเกิดการแตกตัวในที่สุด สภาพการละลายจึงเกิดมากขึ้น

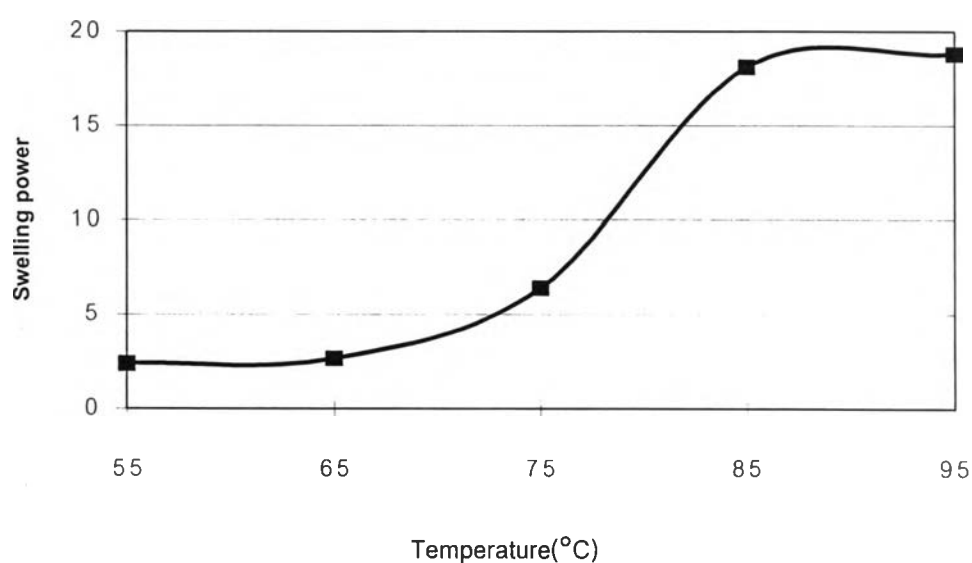
สมบัติการดูดซับน้ำของสตาร์ชสามารถวิเคราะห์จากรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ช ที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส ได้ผลดังตารางที่ 4.21 และเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ของกำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ารูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกระจั๊บ เป็นแบบ 2 ขั้นตอน โดยในช่วงเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 65-75 องศาเซลเซียส สตาร์ชมีการพองตัวและการละลายน้อย แต่ช่วงหลังจากอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส การพองตัวและการละลายก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hizukuri และคณะ (1988) ในการศึกษาการพองตัวและการละลายของ สตาร์ชกระจั๊บจากพันธุ์ *Trapa natants L. var. bispinosa* Makino

โดยรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกระจั๊บ เป็นแบบ 2 ขั้นตอน มีลักษณะเดียวกับรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากธัญพืช แสดงถึงแรงพันธะในเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึกและบริเวณอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช ซึ่งจะคลายตัวที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และเป็นสตาร์ชชนิดที่มีการพองตัวต่ำเนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง

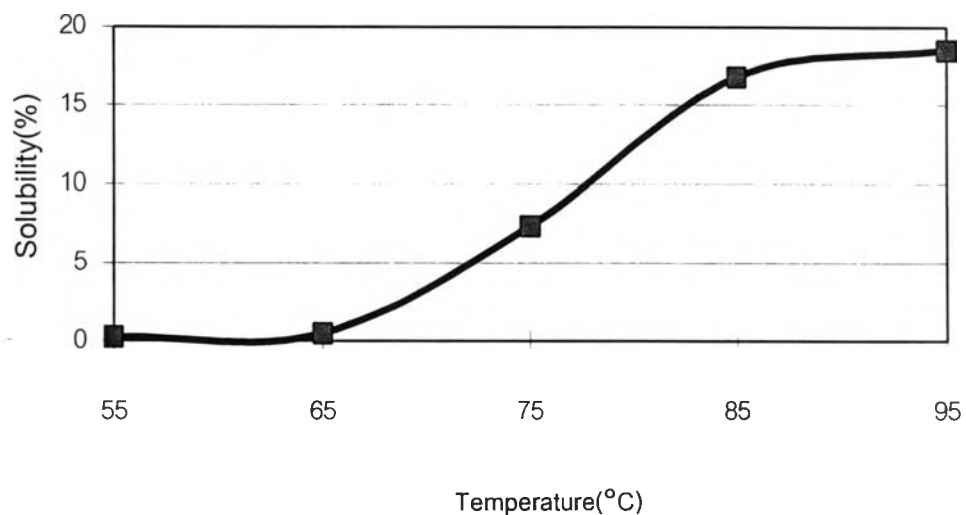
ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกระเจ็บ

อุณหภูมิ(°C)	กำลังการพองตัว <sup>1</sup>	การละลาย(%) <sup>1</sup>
55	2.391± 0.047	0.276±0.055
65	2.663± 0.162	0.480±0.162
75	6.401±0.034	7.327±0.226
85	18.106± 0.216	16.804±0.153
95	18.793± 0.102	18.521±0.975

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.10 รูปแบบกำลังการพองตัวของแป้งกระเจ็บ



ภาพที่ 4.11 รูปแบบการละลายของแป้งกระเจ็บ

#### 4.5.2.6 สมบัติด้านความหนืด(Pasting properties) โดยใช้ Brabender viscoamylograph

เมื่อนำสตาร์ชจากกระฉับมาศึกษาสมบัติด้านความหนืดโดยใช้ Brabender viscoamylograph ซึ่งจะสามารถเห็นพฤติกรรมความหนืดตลอดช่วงการให้ความร้อน(heating) การหุงต้ม(cooking)และการทำให้เย็น(cooling) โดยได้ศึกษาที่ความเข้มข้น 6-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ให้ผลดังตารางที่ 4.22 และรูปแบบกราฟแสดงดังภาพที่ 4.12 พบว่าลักษณะรูปแบบความหนืด ซึ่งจำแนกตามกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นแบบเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อย (Restricted swelling starch) ทำให้ได้กราฟที่มีลักษณะความหนืดต่ำ โดยลักษณะกราฟไม่ปรากฏความหนืดสูงสุด(peak viscosity) แต่ความหนืดระหว่างการให้ความร้อนจะสูงขึ้น และค่าความหนืดกลับคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการต้มสุกหรือคงที่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งมีการกว่นตลอดเวลา โดยช่วงนี้เป็นช่วงที่แสดงถึงการแตกตัวของเม็ดสตาร์ช เรียกว่า ช่วง Breakdown ซึ่งการที่เม็ดสตาร์ชจากกระฉับไม่มีช่วง Breakdown แสดงว่าเม็ดสตาร์ชจากกระฉับที่พองตัวมีเสถียรภาพสูง สามารถทนต่อแรงเฉือนและความร้อนได้สูง ซึ่งคล้ายกับลักษณะกราฟของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเขียว ถั่วแดง และ Kidney bean (Lii และ Cheng, 1991) และสตาร์ชตัดแปรแบบครอสลิงค์หรือครอสบอนด์ โดยวิธีครอสลิงค์จะทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชลดลง ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้น

จากลักษณะกราฟของสตาร์ชจากกระฉับที่ได้จาก Brabender viscoamylograph ซึ่งมีลักษณะรูปแบบความหนืดเช่นเดียวกับสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว จึงได้ทำการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกระฉับและสตาร์ชถั่วเขียวที่ความเข้มข้น 6 7 และ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.22 และ 4.24 ตามลำดับ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิดังภาพที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดกันระหว่างสตาร์ชจากกระฉับและสตาร์ชถั่วเขียว พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน ค่าความหนืดของสตาร์ชถั่วเขียวและสตาร์ชจากกระฉับมีค่าใกล้เคียง แต่อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด(pasting temperature) ของสตาร์ชจากกระฉับมีค่าสูงกว่า สตาร์ชถั่วเขียว แต่ค่า Setback ต่ำกว่าในทุกความเข้มข้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น ความหนืดและค่า Setback ของสตาร์ชทั้ง 2 ชนิด ก็สูงขึ้นด้วย ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้น pasting temperature(อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด) กลับลดลง

ตารางที่ 4.22 สมบัติด้านความหนืดโดยใช้ Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจาก  
กระเจี๊ยบที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

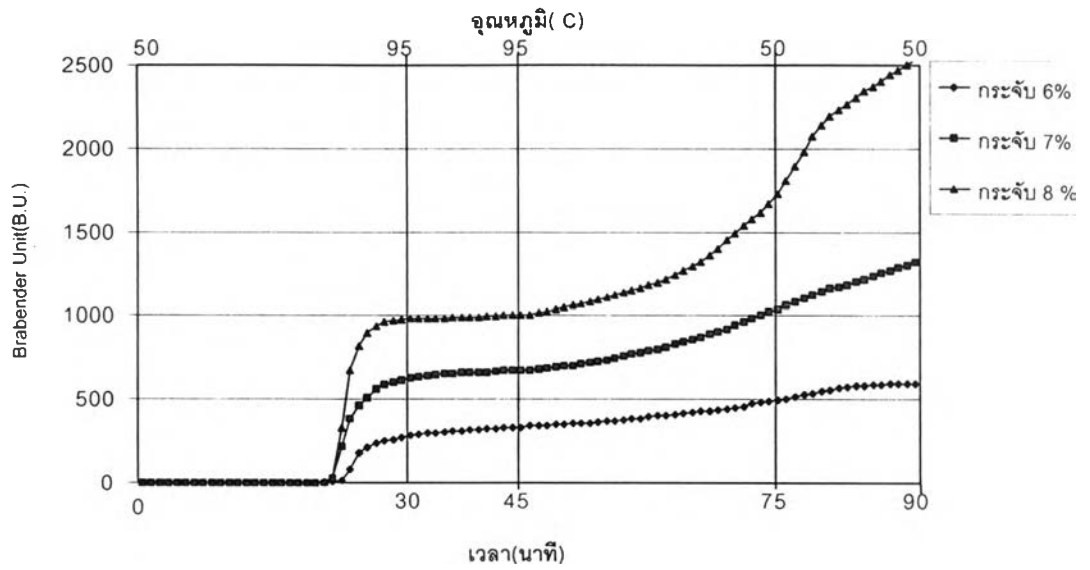
ความเข้มข้น (%น้ำหนัก แห้ง)	Pasting Temperature (°C)	ความหนืด <sup>1</sup> (B.U.)			
		95 °C	95 °C (30 นาที)	50 °C	Setback
6	83.10±0.40	272.5±2.5	367.5±12.5	545.0±5.0	177.5±7.5
7	81.70±0.20	615.0±15.0	675.0±5.0	1060.0±0.0	385.0±5.0
8	80.75±0.55	977.5±12.5	1005.0±25.0	1805.0±25.0	800.0±0.0

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

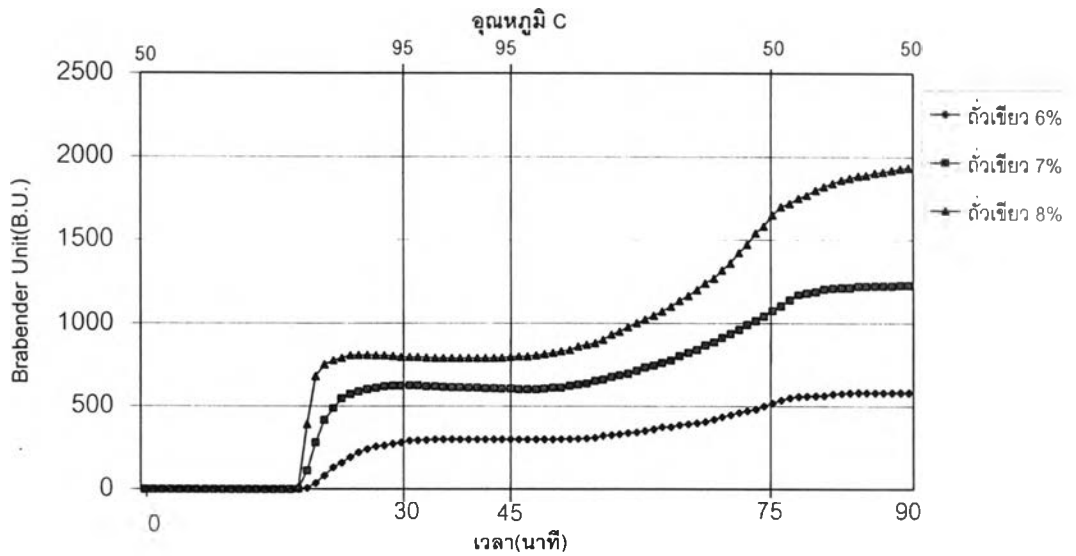
ตารางที่ 4.23 สมบัติด้านความหนืดโดยใช้ Brabender viscoamylograph ของสตาร์ช  
ถั่วเขียวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%น้ำหนัก แห้ง)	Pasting Temperature (°C)	ความหนืด <sup>1</sup> (B.U.)			
		95 °C	95 °C 30 นาที	50 °C	Set Back
6	78.40±0.10	295.0±25.0	297.5±22.5	545.0±25.0	247.5±2.5
7	76.40±0.10	620.0±0.0	600.0±5.0	1105.0±25.0	505.0±25.0
8	75.75±0.25	795.0±5.0	797.5±2.5	1715.0±45.0	917.0±42.5

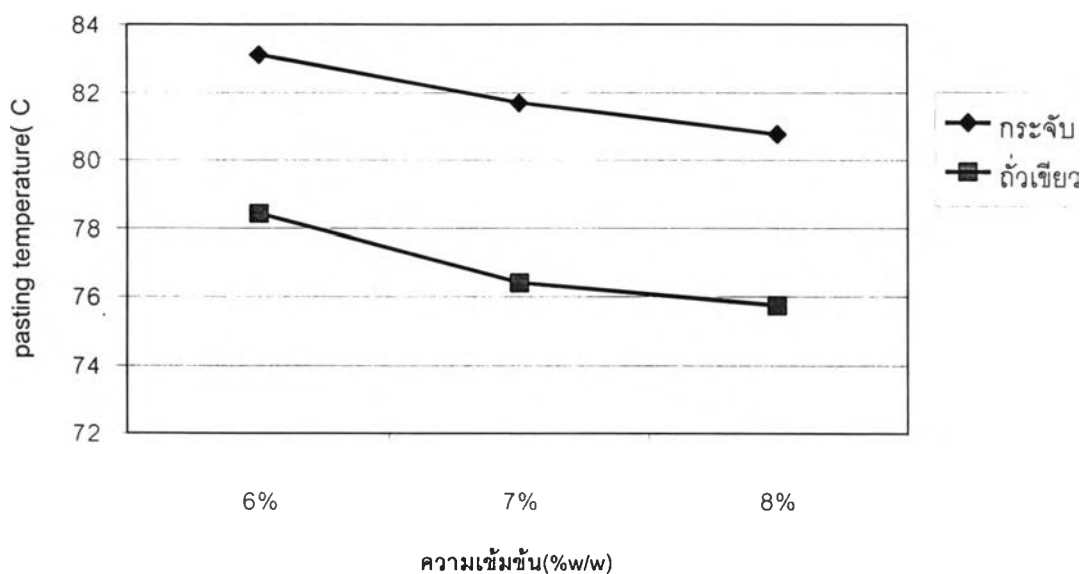
<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



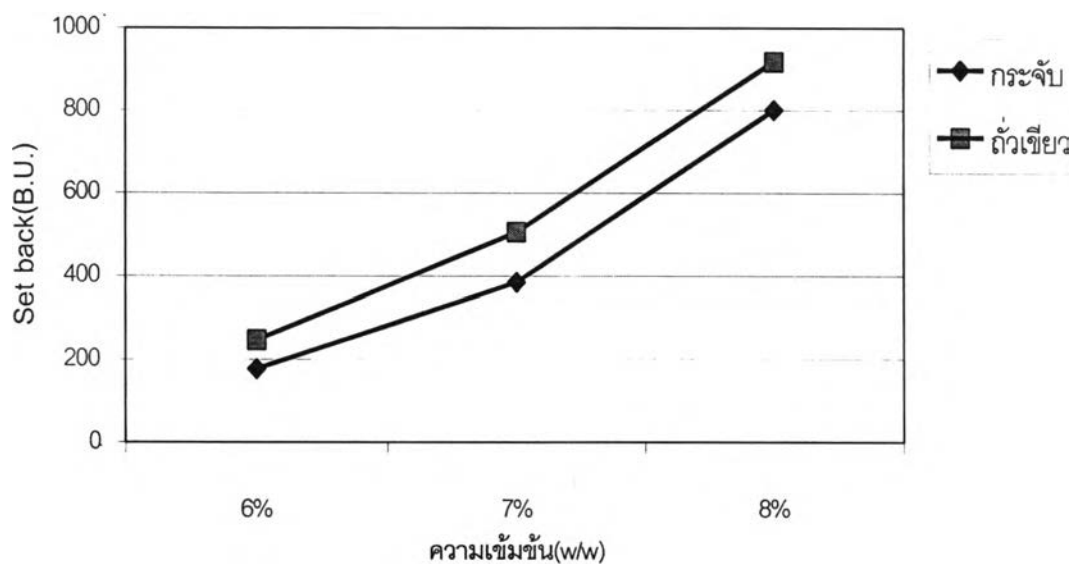
ภาพที่ 4.12 สมบัติด้านความหนืดโดยใช้ Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจาก กระจัดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 4.13 สมบัติด้านความหนืดโดยใช้ Brabender viscoamylograph ของสตาร์ช ถั่วเขียวที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสตาร์ชและค่า Pasting temperature ของสตาร์ชจากกระจับและสตาร์ชถั่วเขียว



ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสตาร์ชและค่า Setback ของสตาร์ชจากกระจับและสตาร์ชถั่วเขียว

เมื่อนำสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกระบะจับและสตาร์ชถั่วเขียวมาสร้างกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสตาร์ชกับค่า Pasting temperature และค่า Setback ได้ผลดังภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 ตามลำดับ โดยค่า Setback เป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดรีโทรเกรเดชัน(retrogradation) หรือการคืนตัวของแป้งซึ่งหาได้จากค่าผลความต่างความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียสกับความหนืดที่ 90 องศาเซลเซียสหลังคงอุณหภูมิไว้ 15 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.22 และ 4.23

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสตาร์ชและค่า Pasting temperature ของสตาร์ชจากกระบะจับและสตาร์ชถั่วเขียว ให้ผลดังภาพที่ 4.14 พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชจากกระบะจับมีค่าสูงกว่าสตาร์ชถั่วเขียว แสดงว่าสตาร์ชจากกระบะจับสุกได้ยากกว่าสตาร์ชถั่วเขียว และเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชสูงขึ้น ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชทั้งสองชนิด กลับมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ก็จะมีปริมาณเม็ดสตาร์ชมากขึ้น ในช่วงการเพิ่มอุณหภูมิจึงมีเม็ดสตาร์ชของตัวเกิดขึ้นมากกว่า ทำให้สามารถวัดค่าความหนืดได้เร็วกว่าสตาร์ชที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ดังนั้นอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดจึงต่ำกว่าสตาร์ชที่ความเข้มข้นต่ำ(Marzurs และคณะ, 1957)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสตาร์ชและค่า Setback แสดงในภาพที่ 4.15 พบว่า ที่ความเข้มข้นเท่ากันสตาร์ชจากกระบะจับมีค่า Setback ต่ำกว่าสตาร์ชถั่วเขียว ทั้งนี้ อาจเนื่องจากสตาร์ชจากกระบะจับมีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าสตาร์ชถั่วเขียว โดยแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่า และพบว่าเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ค่า Setback ของสตาร์ชทั้งสองชนิดก็มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสตาร์ชมีการคืนตัวได้มากขึ้น โดยการคืนตัวของแป้งเกิดขึ้นจากการที่สตาร์ชได้รับความร้อนจนเม็ดสตาร์ชของตัวเต็มทีและมีโมเลกุลของอะมิโลสละลายออกมา เมื่อทำให้เย็นลง โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันและมีขนาดที่พอเหมาะ (อัตราการคืนตัวสูงที่สุดที่ degree of polymerization ของอะมิโลส เท่ากับ 100 ถึง 200) เกิดการเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงร่างสามมิติ ซึ่งสามารถอุ้มน้ำและเกิดลักษณะเป็นเจลเหนียวเกิดขึ้น ความหนืดก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ก็จะมีปริมาณอะมิโลสที่ละลายออกมาได้มากขึ้น การคืนตัวของสตาร์ชจึงสูงขึ้นด้วย



จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สตาร์ชจากกระเจี๊ยบมีปริมาณอะมิโลสสูง(29.69 %db) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชมันฝรั่ง(28.8 %db) สตาร์ชข้าวโพด(26.8 %db) และมีอะมิโลสสูงกว่าอะมิโลสมันสำปะหลัง(17.7 %db) (Toufeili และ Baydoun, 1995) แต่มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าสตาร์ชถั่วเขียว(39.8%db) (Hoover, 1997) ส่วนสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกระเจี๊ยบ พบว่าใกล้เคียง กับ สตาร์ชถั่วเขียว โดยมีโครงสร้างผลึก ของ X-ray diffraction แบบ C และสตาร์ชมีการพองตัวจำกัด(restricted swelling) โดยมีรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายแบบ 2 ชั้น และสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกระเจี๊ยบ เมื่อวัดด้วย Brabender viscoamylograph พบว่ามีลักษณะกราฟแบบสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อย(Restricted swelling starches) เช่นเดียวกับสตาร์ชถั่วเขียว

Lii และ Cheng (1991) ได้ศึกษาสมบัติของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ พบว่า สตาร์ชที่เหมาะสมต่อการทำผลิตภัณฑ์วุ้นเส้น ควรีปริมาณอะมิโลสสูง แบ่งมีการพองตัวแบบจำกัด(restricted swelling) และลักษณะกราฟความหนืด เมื่อวัดด้วย Brabender viscoamylograph เป็นแบบ C ซึ่งเป็นลักษณะของสตาร์ชถั่วเขียว ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สมบัติสตาร์ชจากกระเจี๊ยบ พบว่า มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับสตาร์ชถั่วเขียว ดังนั้นจึงคาดว่าจะสามารถใช้สตาร์ชจากกระเจี๊ยบทดแทนสตาร์ชถั่วเขียวในผลิตภัณฑ์บางอย่างได้ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไป