

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1.1 การทดลองตอนที่ 1 : การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

4.1.1.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิต 4 วิธี ได้แก่ 1) การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด หรือตัวอย่างควบคุม) 2) การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด 3) การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และ 4) การผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง ผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และแป้งทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (Fresh mango dietary fiber; FMDF) มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงที่สุดคือร้อยละ 2.99 1.04 และ 1.14 ตามลำดับ ค่าที่ได้ต่ำกว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงสุก (*Mangifera pajang* K.) ที่ Hassan และคณะ (2011) รายงานว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าร้อยละ 4.60 2.90 และ 2.70 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณไขมันและเถ้าของเส้นใยอาหารมะม่วงจากการทดลองครั้งนี้มีค่าสูงกว่าปริมาณไขมัน และเถ้าของเส้นใยอาหารจากเปลือกมะม่วงดิบ (*Mangifera indica* L. Anacardiaceae) ที่พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.16-2.49 และ 1.40-3.00 ตามลำดับ (Ajila et al., 2007)

เส้นใยอาหารจากฝรั่งแบบสด (Fresh guava dietary fiber; FGDF) เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray-dried guava dietary fiber; TGDF) เส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-dried guava dietary fiber; FDGDF) รวมทั้งเส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (Alcohol insoluble solid guava dietary fiber; AGDF) มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดย FGDF มีปริมาณโปรตีน และไขมันสูงที่สุด คือร้อยละ 5.51 และ 1.03 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 4.8) และไขมัน (ร้อยละ 1.40) ของเส้นใยเข้มข้นจากฝรั่ง (*Psidium guajava* L., cv. Red) ที่รายงานไว้โดย Martinez และคณะ (2012)

จากตาราง 4.1 และ 4.2 พบว่า เส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งมีปริมาณแป้งทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 46.15 - 58.93 และ 0.44 - 0.97 ตามลำดับ กรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่าน

การทำแห้งทำให้เส้นใยอาหารที่มีปริมาณแป้งทั้งหมดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วง (AMDF) และฝรั่ง (AGDF) (ตาราง 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ) ซึ่งกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์นั้นมีผลให้น้ำตาล โอลิโกแซ็กคาไรด์ สารโมเลกุลต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ละลายในแอลกอฮอล์เกิดการละลายในแอลกอฮอล์ในระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้องค์ประกอบดังกล่าวลดลง รวมทั้งทำให้โปรตีน กรดนิวคลีอิก โพลีฟีนอล และแป้งเกิดการตกตะกอนได้ (Thomas et al., 2000) มีรายงานว่าแป้งที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยอาหารนี้ อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร และเปลี่ยนไปเป็นแป้งที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch) ได้ (Vergara-Valencia et al., 2007)

ตาราง 4.1 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ปริมาณแป้ง ทั้งหมด
FMDF	71.44±0.12 <sup>a**</sup>	2.99±0.02 <sup>a</sup>	1.04±0.03 <sup>a</sup>	1.14±0.03 <sup>a</sup>	58.93±3.77 <sup>a</sup>
TMDF	9.52±0.15 <sup>b</sup>	2.29±0.04 <sup>b</sup>	0.87±0.03 <sup>b</sup>	0.99±0.01 <sup>b</sup>	56.47±0.91 <sup>a</sup>
FD MDF	5.00±0.04 <sup>c</sup>	2.14±0.01 <sup>c</sup>	0.70±0.07 <sup>c</sup>	0.92±0.00 <sup>c</sup>	53.53±1.43 <sup>a</sup>
AMDF	9.40±0.00 <sup>b</sup>	1.92±0.01 <sup>d</sup>	0.09±0.01 <sup>d</sup>	1.12±0.01 <sup>a</sup>	46.15±1.16 <sup>b</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c,) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FD MDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ตาราง 4.2 องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง  
ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *				
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	ปริมาณแบ่ง ทั้งหมด
FGDF	82.15±0.05 <sup>a**</sup>	5.51±0.01 <sup>a**</sup>	1.03±0.12 <sup>a</sup>	1.80±0.02 <sup>c</sup>	0.97±0.17 <sup>a</sup>
TGDF	7.50±0.09 <sup>c</sup>	3.72±0.04 <sup>b</sup>	0.69±0.07 <sup>b</sup>	2.13±0.00 <sup>b</sup>	0.82±0.06 <sup>a</sup>
FDGDF	8.32±0.07 <sup>b</sup>	3.59±0.07 <sup>c</sup>	0.65±0.03 <sup>b</sup>	2.35±0.00 <sup>a</sup>	0.92±0.15 <sup>a</sup>
AGDF	8.35±0.11 <sup>b</sup>	2.83±0.01 <sup>d</sup>	0.12±0.02 <sup>c</sup>	1.79±0.01 <sup>c</sup>	0.44±0.03 <sup>b</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c..) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

2) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber; TDF) ปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber; IDF) และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber; SDF) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของมะม่วงจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) และที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 27.44 และ 26.48 ตามลำดับ เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองมีปริมาณเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF) และจากการผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้เส้นใยอาหารบริสุทธิ์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) การผลิตเส้นใยอาหารของมะม่วงโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียงร้อยละ 2.81 ปริมาณเส้นใยอาหารในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่ได้จากการศึกษาของ Martínez et al., 2012 ซึ่งรายงานว่

เส้นใยอาหารเข้มข้นจากมะม่วง (Mangifera indica L., cv. Tommy Atkins and Haden) มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับ ร้อยละ 70.00, 41.50 และ 28.20 ตามลำดับ และมีปริมาณต่ำกว่าเส้นใยอาหารจากเปลือกของมะม่วงดิบที่มีเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 51.20, 32.10 และ 19.00 ตามลำดับ (Ajila et al., 2010)

ตาราง 4.3 ปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) *		
	เส้นใยอาหารทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
FMDF	37.02±2.23 <sup>a**</sup>	27.44±1.11 <sup>a</sup>	9.58±1.13 <sup>a</sup>
TMDF	29.09±0.12 <sup>b</sup>	18.21±0.08 <sup>b</sup>	10.87±0.04 <sup>a</sup>
FDMDf	29.74±0.27 <sup>b</sup>	19.16±0.79 <sup>b</sup>	10.58±0.51 <sup>a</sup>
AMDF	29.29±0.61 <sup>b</sup>	26.48±0.35 <sup>a</sup>	2.81±0.25 <sup>b</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบลาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDf) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ผลการศึกษาปริมาณเส้นใยอาหารของฝรั่งจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน 4 วิธี แสดงดังตาราง 4.4 จากผลการทดลองพบว่าการผลิตเส้นใยอาหารจากฝรั่งแบบสด (FGDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูงกว่าเส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 94.73 และ 81.88 ตามลำดับ ในขณะที่เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่ากรรมวิธีการผลิตอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพียง ร้อยละ 8.90 (ตารางที่ 4.4) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำที่พบในการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าที่รายงานไว้โดย Jimenez-Escrig และคณะ (2001) ซึ่งพบว่าเปลือกฝรั่งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเท่ากับร้อยละ 48.55, 46.72 และ 1.83 ตามลำดับ และในเนื้อก็มีค่าเท่ากับร้อยละ 49.42, 47.65 และ 1.77 ตามลำดับ

ตาราง 4.4 ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใย อาหาร	ปริมาณของเส้นใยอาหาร (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)*		
	เส้นใยอาหาร ทั้งหมด	เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ	เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ
FGDF	94.73±0.28 <sup>a**</sup>	81.88±1.20 <sup>a</sup>	12.84±0.92 <sup>a</sup>
TGDF	88.66±1.91 <sup>b</sup>	74.79±0.14 <sup>b</sup>	13.87±2.06 <sup>a</sup>
FDGDF	88.05±2.24 <sup>b</sup>	74.27±2.90 <sup>b</sup>	13.79±0.66 <sup>a</sup>
AGDF	86.35±0.08 <sup>b</sup>	77.45±0.41 <sup>b</sup>	8.90±0.33 <sup>b</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

3) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compound; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activities) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ผลการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วง แสดงดังตาราง 4.5 เส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอยู่ระหว่าง 0.06-0.60 g GAE/100g เส้นใยอาหารที่ผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด ตรงกับผลการตรวจวัดกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระซึ่งตรวจวัดโดยใช้วิธีทั้ง 2 วิธี ได้แก่ วิธีการตรวจวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระของ (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH assay) และวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยการรีดิวซ์เฟอร์ริก (Ferric reducing antioxidant power; FRAP assay) พบว่า FDMDF ให้ค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งได้ที่ร้อยละ 50 (Inhibition concentration; IC<sub>50</sub>) ต่ำที่สุด คือ 10.78 IC<sub>50</sub> mg/ml และมีค่าการรีดิวซ์เฟอร์ริกเป็น 95.99 mM Fe (III)/g ซึ่งไม่แตกต่างกับเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FMDF) และเส้นใยอาหารจากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ( $p > 0.05$ ) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Asami และคณะ (2003) ที่รายงานว่าสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่ได้จากผลมาเรียนเบอร์รี่ (Marionberry) สตรอเบอร์รี่ และข้าวโพดซึ่งผ่านวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีปริมาณสูงกว่าผลมาเรียนเบอร์รี่ (Marionberry) สตรอเบอร์รี่ และข้าวโพดซึ่งผ่านการทำแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ตัวอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการสกัดสูงขึ้นเนื่องจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง สามารถที่มแทงเซลล์ของตัวอย่าง ทำให้สารสกัดสามารถเข้าไปสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากขึ้น ในขณะที่การทำแห้งด้วยลมร้อนไม่มีผลต่อการทำให้เซลล์แตกก่อนจึงทำให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกนั้นน้อยกว่าวิธีการทำแห้งแช่เยือกแข็ง เส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF) มีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในปริมาณที่ไม่แตกต่างจากเส้นใยอาหารจากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบกด (TMDF) ( $p > 0.05$ ) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Figuerola และคณะ (2005) ที่กล่าวว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระน้อยมาก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay ของเส้นใยอาหารจากฝรั่ง แสดงดังตาราง 4.6 เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบกด (TGDF) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ( $p < 0.05$ ) โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 g GAE/100g และยังพบอีกว่าเส้นใยอาหารชนิดนี้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเส้นใยอาหารที่ผลิตด้วยวิธีอื่นๆ ( $p < 0.05$ ) สอดคล้องกันทั้งเมื่อตรวจวัดด้วยวิธี DPPH assay และ FRAP assay (ตาราง 4.6) โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 11.40  $IC_{50}$  mg/ml ค่าที่ได้ต่ำกว่ากรดแอสคอร์บิก ที่มีค่าเท่ากับ 0.11  $IC_{50}$  mg/ml และการรีดิวซ์เฟอร์ริก เท่ากับ 130.15 mM Fe (III)/g ตามลำดับ เส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบกดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอาจเนื่องจากความร้อนที่ให้แก่เส้นใยอาหารจากฝรั่งเมื่อทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบกดจนกระทั่งความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 (น้ำหนักแห้ง) อาจมีผลให้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดเกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง มีผลทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันได้ Garau และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิการทำแห้งต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากส้ม (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) และรายงานว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ในขณะที่การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไปหรือที่อุณหภูมิต่ำและต้องใช้เวลาในการทำแห้งมีผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระลดลงได้

ตาราง 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content; TPC) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากมะม่วงชนิดต่างๆ ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	TPC (g GAE/100g)	IC <sub>50</sub> (IC <sub>50</sub> mg/ml)	FRAP (mM Fe (III)/g)
F MDF	0.50±0.02 <sup>b**</sup>	14.87±0.42 <sup>a</sup>	95.99±11.77 <sup>a</sup>
T MDF	0.52±0.01 <sup>b</sup>	13.24±0.08 <sup>a</sup>	97.53±10.33 <sup>a</sup>
F DMDF	0.60±0.02 <sup>a</sup>	10.78±0.23 <sup>b</sup>	104.01±12.70 <sup>a</sup>
A MDF	0.06±0.01 <sup>c</sup>	ND	7.05±0.51 <sup>b</sup>
Ascorbic acid <sup>***</sup>		0.11±0.00	

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

\*\*\* Ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระ

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (F MDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (T MDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (F DMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (A MDF)

ตาราง 4.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	TPC (g GAE/100g)	IC <sub>50</sub> (IC <sub>50</sub> mg/ml)	FRAP (mM Fe (III)/g)
F GMF	0.43±0.00 <sup>c**</sup>	31.71±0.09 <sup>a</sup>	52.10±3.04 <sup>c</sup>
T GMF	0.74±0.02 <sup>a</sup>	11.40±0.50 <sup>c</sup>	130.15±9.12 <sup>a</sup>
F DGMF	0.59±0.02 <sup>b</sup>	12.26±0.44 <sup>b</sup>	106.98±9.19 <sup>b</sup>
A GMF	0.12±0.00 <sup>d</sup>	ND	14.84±1.07 <sup>d</sup>
Ascorbic acid <sup>***</sup>		0.11±0.00	

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

\*\*\* Ascorbic acid เป็นสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยการดักจับอนุมูลอิสระ

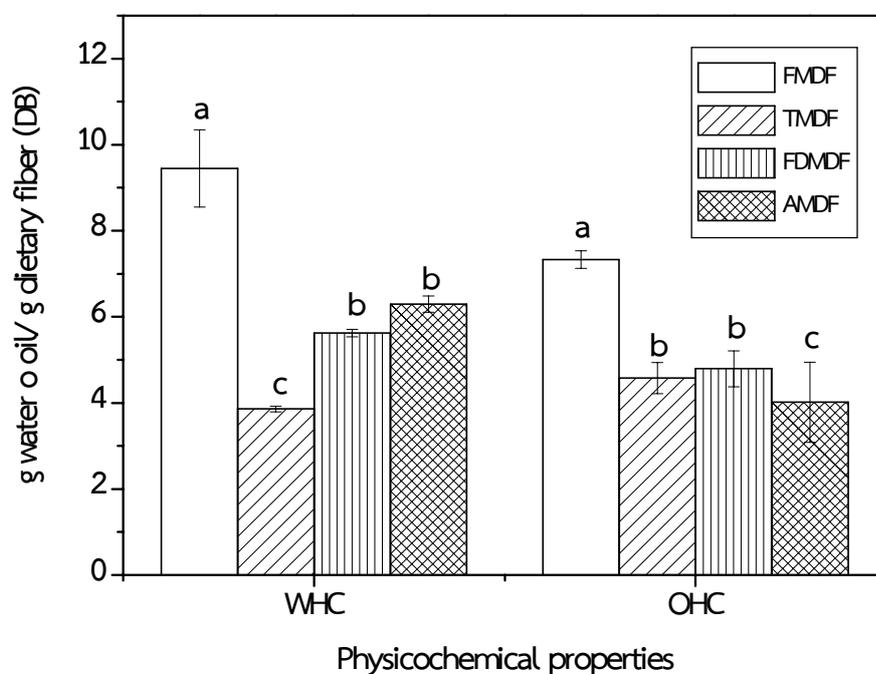
**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

4.1.1.2) การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเส้นใยอาหารได้แก่ ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (Water holding capacity; WHC, และ Oil holding capacities; OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่ง ผลการทดลองพบว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF และ FMDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เส้นใยจากการผลิตแบบสดมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และน้ำมันเท่ากับ 9.45 g water/g dietary fiber และ 7.33 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4.1) ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการผลิตแบบสด (FMDF) มีความคล้ายคลึงกับเส้นใยอาหารของลูกพีช ที่ความสามารถในการอุ้มน้ำอยู่ระหว่าง 9.20-12.10 g water/g dietary fiber แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูงกว่าเส้นใยอาหารของลูกพีช ซึ่งลูกพีชมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 1.02-1.11 oil/g dietary fiber (Grigelmo-Miguel et al., 1999) และส่วน เส้นใยอาหารของฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมันเท่ากับ 16.67 g water/g dietary fiber และ 12.40 g oil/g dietary fiber ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4.2) พบว่าเส้นใยอาหารของฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) มีความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับเส้นใยอาหารของอินทผลัม และมีความสามารถในการอุ้มน้ำมันต่ำกว่าอินทผลัมเล็กน้อย ทั้งนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของอินทผลัมเท่ากับ 15.45-15.90 water/g dietary fiber และความสามารถในการอุ้มน้ำมันเท่ากับ 9.6-9.9 g oil/g dietary fiber (Elleuch et al., 2008)

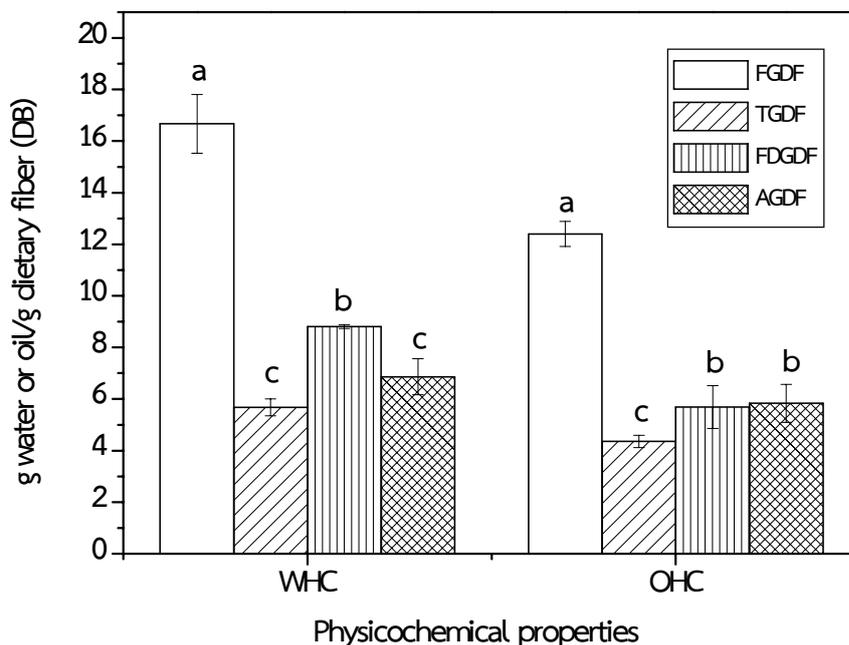
ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารมีความสัมพันธ์กับปริมาณของเส้นใยอาหาร ทั้งเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยเส้นใยอาหารเหล่านี้มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จำนวนมากเป็นองค์ประกอบ ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลสามารถจับกับไฮโดรเจนด้วยพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ความแตกต่างของคุณสมบัติการจับกับน้ำจึงเกี่ยวกับโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบโพลีแซ็กคาไรด์ และยังมีปัจจัยอื่นๆอีก เช่น ความพรุน ขนาดของอนุภาค รูปร่างของไอออน ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความแรงของไอออน ชนิดของไอออนในสารละลาย และความเครียดของเส้นใย เป็นต้น ซึ่งเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง จะสามารถช่วยลดการแยกชั้นของน้ำ การเปลี่ยนแปลงความหนืด และให้เนื้อสัมผัสกับอาหารบางชนิดได้ดีกว่าเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เช่นเดียวกันกับเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำมันสูง จะช่วยเพิ่มความคงตัวของอาหารที่มีไขมัน และอิมัลชันสูงได้ดีกว่าเส้นใยอาหารที่มีความสามารถ

ในการอุ้มน้ำมันต่ำ ซึ่งความสามารถในการอุ้มน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติบนผิวหน้าของอนุภาค และการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นโดยรวมของเส้นใยอาหาร (Elleuch et al., 2011)



ภาพประกอบ 4.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากมะม่วง ซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)



ภาพประกอบ 4.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมัน (OHC) ของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

4.1.2 การทดลองตอนที่ 2: การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตจากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

4.1.2.1 คุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน (Pasting properties)

ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งผลิตจากกรรมวิธีการผลิต 4 วิธีที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้าได้แก่ ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity; PV) ความหนืดต่ำสุด (Trough) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown; BD) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity; FV) ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback) เวลาในการให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิการเกิดแป้งเปียก (Pasting Temperature; PT) ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงมีค่า PV, BD และ FV เป็น 358.95, 163.14 และ 295.26 RVU ตามลำดับ และการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากการกรรมวิธีการผลิตทั้ง 4 วิธีส่งผลให้ค่า PV, BD และ FV ของแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลการทดลองดังกล่าว

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lai et al. (2011) ซึ่งศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากข้าวลงใน แป้งจากข้าวสาลีพันธุ์ TCS10 และพบว่าเส้นใยอาหารจากข้าวมีแนวโน้มทำให้ค่า PV, BD และ FV ของแป้งจากข้าวเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวอาจเนื่องมาจากเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายเข้าไปทำลายโครงสร้างของอะไมโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งสูงขึ้น เมื่อเม็ดแป้งพองตัวสูงขึ้นการดูดน้ำเข้าไปในเม็ดแป้งจึงเพิ่มสูงตามไปด้วย ส่งผลให้ ปริมาณน้ำอิสระในระบบลดน้อยลง จึงทำให้ค่า PV ของแป้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่า การเติมเส้นใยอาหารที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำไปช่วยเพิ่มความเข้มข้นของแป้งในระบบ โดยเส้นใย อาหารเข้าไปอุ้มน้ำ และตรึงน้ำในระบบ การเกิดอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยอาหาร และแป้งในระบบ เช่นนี้จึงทำให้ค่า PV และ FV ของระบบเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มว่าการเพิ่มขึ้นนี้มีค่าสูงมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารที่เติมลงในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.7 และ 4.8)

พิจารณาเวลาในการให้ค่าความหนืดสูงสุด (Peak time) และอุณหภูมิการเกิดแป้ง เปียก (PT) พบว่าการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตทั้ง 4 วิธี ทำให้ค่าทั้งสอง ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และการเพิ่มความเข้มข้นของเส้นใยอาหารทำให้ค่า Peak time และ PT มีค่าลดลง การลดลงดังกล่าวอาจเนื่องมาจากโครงสร้างส่วนผลึกของเม็ดแป้งที่ ประกอบด้วยอะไมโลเพคตินถูกทำลายโดยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลาย (Lai et al., 2011) เมื่อผลึก ถูกทำลายเม็ดแป้งจึงพองตัวได้มากขึ้น และเร็วขึ้น ดังนั้นค่า Peak time และ PT ของแป้งข้าวเจ้า จึงมีค่าลดลง

ตาราง 4.7 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากมะม่วงได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน*						
		PV (RVU)	Trough (RVU)	BD (RVU)	FV (RVU)	Setback	Peak time (min)	PT (°C)
ไม่เติม	0.00	358.95±6.99 <sup>h**</sup>	195.81±9.07 <sup>e</sup>	163.14±6.44 <sup>g</sup>	295.26±9.90 <sup>i</sup>	99.45±2.16 <sup>f</sup>	5.99±0.14 <sup>a</sup>	77.19±0.37 <sup>a</sup>
FMDF	2.50	621.21±28.81 <sup>g</sup>	320.21±1.47 <sup>abc</sup>	385.96±79.61 <sup>e</sup>	426.32±13.10 <sup>fgh</sup>	106.09±14.62 <sup>f</sup>	5.27±0.09 <sup>b</sup>	71.10±1.06 <sup>cd</sup>
	5.00	1116.79±95.52 <sup>d</sup>	265.71±112.84 <sup>bcde</sup>	701.75±55.39 <sup>d</sup>	687.18±79.56 <sup>b</sup>	419.96±35.41 <sup>b</sup>	4.74±0.37 <sup>c</sup>	71.05±1.13 <sup>cd</sup>
	7.50	1358.38±35.77 <sup>c</sup>	251.79±4.54 <sup>cde</sup>	732.25±98.75 <sup>d</sup>	802.96±127.34 <sup>a</sup>	551.17±122.80 <sup>a</sup>	4.47±0.37 <sup>cd</sup>	68.59±0.46 <sup>e</sup>
TMDF	2.50	579.54±13.85 <sup>g</sup>	274.38±14.67 <sup>bcde</sup>	305.17±0.83 <sup>ef</sup>	395.25±8.84 <sup>gh</sup>	120.88±5.83 <sup>f</sup>	5.17±0.05 <sup>b</sup>	72.65±0.07 <sup>b</sup>
	5.00	952.13±41.08 <sup>e</sup>	231.17±20.86 <sup>de</sup>	720.96±61.93 <sup>d</sup>	487.21±65.58 <sup>def</sup>	256.05±44.72 <sup>cd</sup>	4.57±0.05 <sup>cd</sup>	71.85±0.00 <sup>bc</sup>
	7.50	1625.21±62.40 <sup>b</sup>	263.67±32.41 <sup>bcde</sup>	1361.54±30.00 <sup>a</sup>	569.33±57.98 <sup>cd</sup>	305.67±25.58 <sup>c</sup>	4.20±0.10 <sup>d</sup>	71.05±0.00 <sup>cd</sup>
FDMDF	2.50	535.38±19.86 <sup>g</sup>	260.04±0.65 <sup>bcde</sup>	275.34±19.21 <sup>f</sup>	362.13±3.25 <sup>hi</sup>	102.09±2.60 <sup>f</sup>	5.30±0.24 <sup>b</sup>	72.65±0.07 <sup>b</sup>
	5.00	1136.38±39.18 <sup>d</sup>	340.34±52.91 <sup>ab</sup>	796.04±13.73 <sup>cd</sup>	513.30±6.19 <sup>de</sup>	172.96±46.73 <sup>ef</sup>	4.47±0.00 <sup>cd</sup>	71.80±0.00 <sup>bc</sup>
	7.50	1790.00±31.82 <sup>a</sup>	342.96±90.92 <sup>ab</sup>	1447.04±122.74 <sup>a</sup>	602.88±0.18 <sup>c</sup>	259.92±90.74 <sup>cd</sup>	4.20±0.10 <sup>d</sup>	71.35±0.42 <sup>cd</sup>
AMDF	2.50	767.58±40.31 <sup>f</sup>	391.33±14.85 <sup>a</sup>	376.25±25.46 <sup>ef</sup>	609.71±17.27 <sup>bc</sup>	218.38±2.41 <sup>de</sup>	5.30±0.04 <sup>b</sup>	72.23±0.53 <sup>bc</sup>
	5.00	1182.46±116.73 <sup>d</sup>	290.59±23.92 <sup>bcd</sup>	891.88±92.81 <sup>c</sup>	294.63±29.06 <sup>i</sup>	4.60±4.26 <sup>g</sup>	4.40±0.18 <sup>cd</sup>	70.58±0.53 <sup>d</sup>
	7.50	1416.75±35.11 <sup>c</sup>	341.96±30.46 <sup>ab</sup>	1074.79±4.65 <sup>b</sup>	477.48±15.17 <sup>efg</sup>	135.51±45.63 <sup>f</sup>	4.30±0.04 <sup>d</sup>	68.55±1.13 <sup>e</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ตาราง 4.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อนของแป้งข้าวเจ้าเมื่อไม่เติมและเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเส้นใยอาหารจากฝรั่ง  
ได้จากการผลิตที่แตกต่างกัน\*

ชนิดของ เส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดขณะร้อน						
		PV (RVU)	Trough (RVU)	BD (RVU)	FV (RVU)	Setback	Peak time (min)	PT (°C)
ไม่เติม	0.00	358.95±6.99 <sup>h**</sup>	195.81±9.07 <sup>e</sup>	163.14±6.44 <sup>f</sup>	295.26±9.90 <sup>s</sup>	99.45±2.16 <sup>f</sup>	5.99±0.14 <sup>a</sup>	77.19±0.37 <sup>a</sup>
FGDF	2.50	516.42±16.74 <sup>s</sup>	236.00±13.68 <sup>de</sup>	280.42±3.06 <sup>e</sup>	352.88±15.49 <sup>f</sup>	116.88±1.83 <sup>ef</sup>	5.44±0.05 <sup>bcd</sup>	71.03±0.04 <sup>fg</sup>
	5.00	1018.63±53.80 <sup>c</sup>	314.25±47.26 <sup>bcd</sup>	704.38±101.05 <sup>b</sup>	540.17±13.56 <sup>d</sup>	225.92±60.81 <sup>cd</sup>	4.67±0.09 <sup>e</sup>	69.70±0.18 <sup>hi</sup>
	7.50	683.46±8.90 <sup>f</sup>	292.84±17.56 <sup>bcd</sup>	390.63±8.66 <sup>d</sup>	297.29±16.32 <sup>s</sup>	4.46±1.24 <sup>s</sup>	5.27±0.76 <sup>cd</sup>	70.35±0.37 <sup>fghi</sup>
TGDF	2.50	493.88±27.64 <sup>s</sup>	252.21±24.10 <sup>bcd</sup>	241.67±3.54 <sup>ef</sup>	347.83±26.52 <sup>f</sup>	95.63±2.41 <sup>f</sup>	5.73±0.28 <sup>ab</sup>	72.68±1.17 <sup>cd</sup>
	5.00	697.50±69.89 <sup>f</sup>	269.17±45.49 <sup>bcd</sup>	428.33±24.40 <sup>cd</sup>	421.13±14.79 <sup>e</sup>	151.96±30.70 <sup>ef</sup>	5.24±0.05 <sup>d</sup>	71.43±0.46 <sup>ef</sup>
	7.50	1154.46±68.06 <sup>b</sup>	221.75±22.27 <sup>de</sup>	932.71±45.79 <sup>a</sup>	622.38±5.48 <sup>c</sup>	400.63±27.75 <sup>a</sup>	4.70±0.04 <sup>e</sup>	70.20±1.13 <sup>ghi</sup>
FDGDF	2.50	483.38±2.89 <sup>s</sup>	243.29±6.07 <sup>cde</sup>	240.08±3.18 <sup>ef</sup>	341.96±5.95 <sup>f</sup>	98.67±0.12 <sup>f</sup>	5.77±0.05 <sup>ab</sup>	73.90±0.49 <sup>b</sup>
	5.00	785.71±10.66 <sup>de</sup>	306.84±4.72 <sup>bcd</sup>	478.88±15.38 <sup>cd</sup>	459.79±7.01 <sup>e</sup>	152.96±11.72 <sup>ef</sup>	5.27±0.09 <sup>cd</sup>	72.28±0.60 <sup>de</sup>
	7.50	1454.50±45.85 <sup>a</sup>	453.17±43.25 <sup>a</sup>	459.79±7.01 <sup>cd</sup>	722.00±8.84 <sup>a</sup>	268.84±34.41 <sup>c</sup>	4.63±0.14 <sup>e</sup>	70.63±0.67 <sup>fgh</sup>
AGDF	2.50	476.67±1.41 <sup>s</sup>	275.00±3.89 <sup>bcd</sup>	201.67±2.47 <sup>ef</sup>	447.71±7.13 <sup>e</sup>	172.71±3.24 <sup>de</sup>	5.70±0.04 <sup>abc</sup>	73.45±0.00 <sup>bc</sup>
	5.00	835.05±110.49 <sup>d</sup>	332.84±146.84 <sup>bc</sup>	502.21±36.36 <sup>c</sup>	671.00±40.55 <sup>b</sup>	338.17±106.30 <sup>b</sup>	5.20±0.00 <sup>d</sup>	70.18±0.04 <sup>ghi</sup>
	7.50	744.96±82.55 <sup>ef</sup>	336.98±60.42 <sup>b</sup>	408.61±143.10 <sup>d</sup>	350.71±63.11 <sup>f</sup>	14.00±3.07 <sup>s</sup>	4.73±0.00 <sup>e</sup>	69.31±0.37 <sup>i</sup>

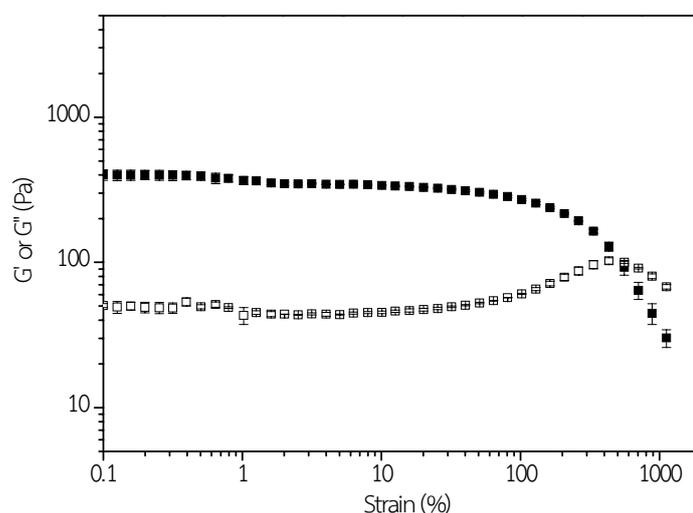
\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

#### 4.1.2.2) คุณสมบัติด้านรีโอโลยี (Rheology properties)

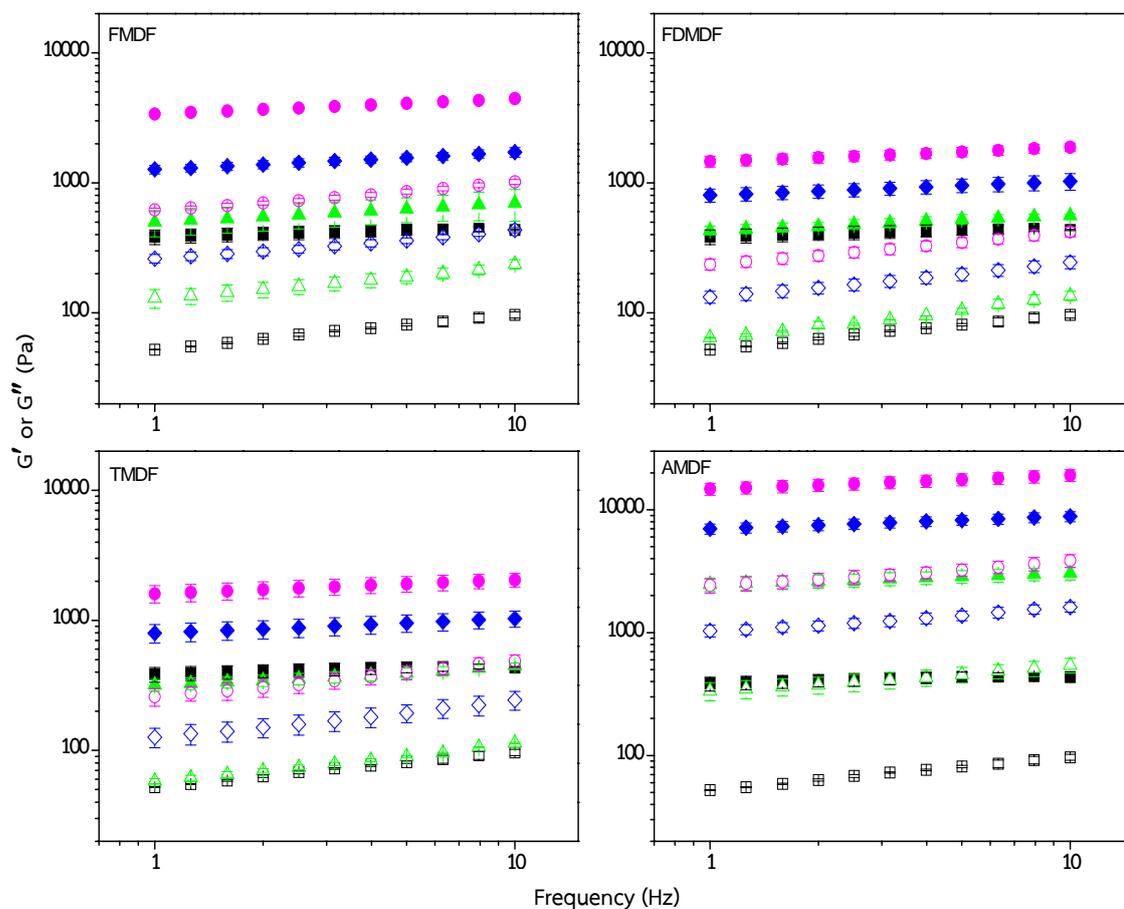
การศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตแตกต่างกัน 4 วิธีเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเป็นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าเริ่มที่การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเครียด (Strain) ที่ไม่ทำให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้าถูกทำลาย หรือที่เรียกว่า Linear viscoelastic region (LVR) โดยทำการทดสอบแบบ Amplitude sweep test เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิ และความถี่ในการวิเคราะห์คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz ตามลำดับ และแปรค่าความเครียดเป็นร้อยละ 0.01-1000 ผลการทดลองพบว่าความเครียดที่ทำให้ค่าโมดูลัสสะสม (Storage modulus,  $G'$ ) และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus,  $G''$ ) ของเจลจากแป้งข้าวเจ้าอยู่ในช่วง LVR คือที่ความเครียดร้อยละ 1-10 (ภาพประกอบ 4.3) จากผลการทดลองดังกล่าวได้เลือกความเครียดร้อยละ 2 เพื่อนำไปใช้ในศึกษา Frequency sweep test และ Amplitude sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าต่อไป



ภาพประกอบ 4.3 Amplitude sweep test ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิและความถี่ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 Hz มีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Strain) ในช่วงร้อยละ 0.01 - 1000

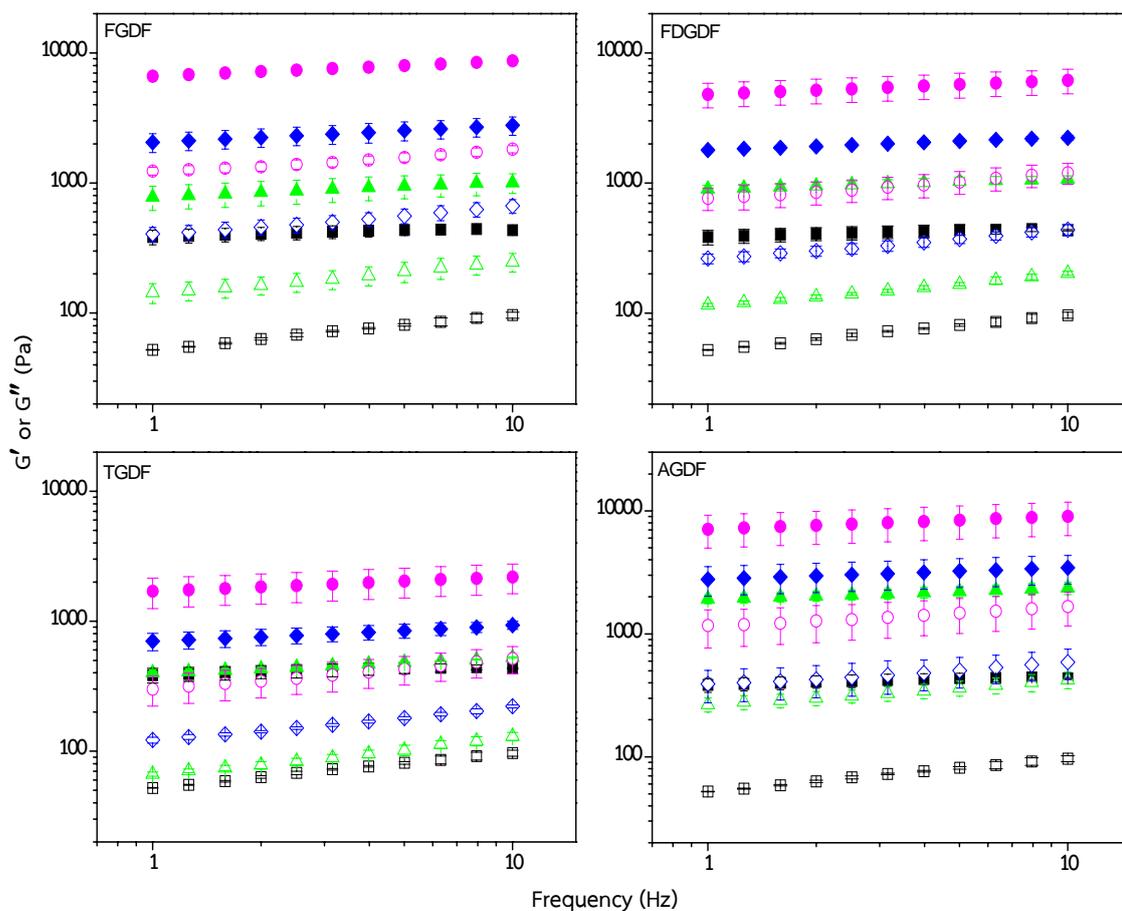
การศึกษา Frequency sweep test คือการศึกษาพฤติกรรมของเจลเมื่อมีแรงกระทำในอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นซึ่งช่วยทำให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้าง และความแข็งแรงของเจล ภาพประกอบ 4.4 แสดงผลการทดสอบแบบ Frequency sweep test ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 จากผลการทดลองพบว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีและไม่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นมีค่า  $G'$  สูงกว่า  $G''$  แสดงให้เห็นว่าเจลเหล่านี้มีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง (Solid-like behavior) เมื่อเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธีทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า  $G'$  และ  $G''$  เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 4.4) เมื่อพิจารณาผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งต่อคุณลักษณะทางรีโอโลยีของเจลแป้งข้าวเจ้าเมื่อศึกษาโดยใช้ Frequency sweep test ได้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลของการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง นั่นคือการเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตทุกวิธี และในทุกความเข้มข้นส่งผลให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง ที่มีค่า  $G'$  และ  $G''$  สูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหาร และค่า  $G'$  และ  $G''$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งทำให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะคล้ายของแข็งที่มีโครงสร้างแข็งแรงมากขึ้น จากภาพประกอบ 4.4 และ 4.5 เจลของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งที่ผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF และ AGDF ตามลำดับ) มีค่า  $G'$  และ  $G''$  สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยอาหารชนิดอื่น



ภาพประกอบ 4.4 ผลของเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus;  $G'$ ) และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus;  $G''$ ) ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ ในช่วง 1 – 10 Hz

**หมายเหตุ** เส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) โดยสัญลักษณ์ที่บคือค่า  $G'$  และ สัญลักษณ์โปร่งคือค่า  $G''$  โดย ■ และ □ คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 0, ▲ และ △ คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 2.5, ◆ และ ◇ คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 5.0, และ ● และ ○ คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 7.5



ภาพประกอบ 4.5 ผลของเส้นใยอาหารของฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus;  $G'$ ) และโมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus;  $G''$ ) ของเจลแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความถี่ในช่วง 1 - 10 Hz

**หมายเหตุ** เส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF) โดยสัญลักษณ์ทึบคือค่า  $G'$  และ สัญลักษณ์โปร่งคือค่า  $G''$  โดย  $\blacksquare$  และ  $\square$  คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 0,  $\blacktriangle$  และ  $\triangle$  คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 2.5,  $\blacklozenge$  และ  $\lozenge$  คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 5.0, และ  $\bullet$  และ  $\circ$  คือค่า  $G'$  และ  $G''$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารร้อยละ 7.5

ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านรีโอโลยีได้แก่ โมดูลัสสะสม (Storage modulus,  $G'$ ) , โมดูลัสที่สูญเสีย (Loss modulus,  $G''$ ), อัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม ( $\tan \delta$ ) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus,  $G^*$ ) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 เมื่อกำหนดความเครียดเป็นร้อยละ 1 ความถี่ในการวิเคราะห์เป็น 1 Hz และอุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 สำหรับเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งซึ่งได้จากกรรมวิธีการผลิตแบบต่างๆ ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ทำให้เจลมีค่า  $G'$  สูงกว่า  $G''$  ที่ความเข้มข้นเดียวกันในทุกตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าเจลมีพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากกว่าของเหลว และพบว่าค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ของ เจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นั่นคือการเติมเส้นใยอาหารมีผลให้ความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น โดยเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตแบบสด (FMDF) เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMD) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ไม่แตกต่างกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 333.58-426.00, 43.13-133.51 และ 338.60-432.20 Pa ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเจลแป้งมีค่า  $G'$  หรือแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็งมากที่สุดเมื่อเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 รองลงมาได้แก่ การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงจากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 13485.00, 6193.00 และ 2565.00 Pa ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันก็มีผลทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า  $G''$  มากที่สุดตามลำดับเช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 2528.00, 1063.95 และ 615.20 Pa เมื่อเติม AMDF ร้อยละ 7.5, AMDF ร้อยละ 5.0 และ FMDF ร้อยละ 7.5 ตามลำดับ และมีค่า  $G^*$  เท่ากับ 137350.00, 6283.50 และ 2638.00 Pa เมื่อเติม AMDF ร้อยละ 7.5, AMDF ร้อยละ 5.0 และ FMDF ร้อยละ 7.5 ตามลำดับ ส่วนเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, เส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) ร้อยละ 2.5, 5.0, และ 7.5 รวมทั้งเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ไม่แตกต่างกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ( $p > 0.05$ ) โดยมีค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 366.75-1480.00, 43.13-290.75 และ 369.35-1508.00 Pa ตามลำดับ และเจลแป้งมีค่า  $G'$  มากที่สุดเมื่อเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 และเส้นใยอาหารโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์

และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5317.50-6049.50 Pa นอกจากนั้นการเติม FGDF ร้อยละ 7.5 และ AGDF ร้อยละ 7.5 ให้เจลแป้งข้าวเจ้าที่มีค่า  $G''$  และ  $G^*$  มากที่สุด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1257.50-1285.00 และ 5464.00-6184.50 Pa ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่า  $G'$ ,  $G''$  และ  $G^*$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่ง แสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารทั้งจากมะม่วงและฝรั่งที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้งมีผลทำให้เจลแป้งข้าวแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็งที่มีความแข็งแรงมากที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยอาหารของมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) เมื่อเติมในแป้งข้าวเจ้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลให้  $G^*$  ของเจลแป้งข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 37 เท่า

ค่า  $\tan \delta$  คือ อัตราส่วนของโมดูลัสที่สูญเสียต่อโมดูลัสสะสม ( $G''/G'$ ) เจลที่มีค่า  $\tan \delta$  น้อยกว่า 1.0 จะแสดงพฤติกรรมคล้ายของแข็ง และหากมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1.0 จะแสดงพฤติกรรมคล้ายของเหลว จากผลการศึกษาในตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่า ค่า  $\tan \delta$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารมีค่าเท่ากับ 0.12 และแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีค่า  $\tan \delta$  อยู่ระหว่าง 0.14-0.32 และ 0.15-0.25 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลของแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็ง โดยเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ผลิตโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 รวมทั้งเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารที่ได้จากการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารมีความบริสุทธิ์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีค่า  $\tan \delta$  ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) และมีค่า  $\tan \delta$  ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.12-0.18 และเจลแป้งที่มีค่า  $\tan \delta$  สูงที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.30-0.32 คือ เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสดที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 ส่วนค่า  $\tan \delta$  ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง พบว่า เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีค่า  $\tan \delta$  ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าที่ไม่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่ง ( $p > 0.05$ ) ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด อยู่ระหว่าง 0.12-0.14 และเจลแป้งที่มีค่า  $\tan \delta$  สูงที่สุด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.24-0.25 คือ เจลแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากการผลิตแบบสด (FGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 จากการศึกษาครั้งนี้ค่า  $\tan \delta$  ที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากปริมาณของเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำที่มีส่วนในการช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่เจลแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ดังนั้นจากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีผลทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีพฤติกรรมคล้ายของแข็งหรือมีความแข็งแรงมากกว่าเจลแป้งที่ไม่เติมเส้นใยอาหาร ซึ่งสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารให้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มได้

ตาราง 4.9 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus;  $G'$ ), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus;  $G''$ ), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus,  $G^*$ ) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติด้านรีโอโลยี*			
		$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	Tan delta	$G^*$ (Pa)
ไม่เติม	0.00	366.75±22.13 <sup>i**</sup>	43.13±5.75 <sup>f</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>	369.35±22.84 <sup>h</sup>
FMDF	2.50	404.30±74.10 <sup>hi</sup>	133.51±48.07 <sup>ef</sup>	0.32±0.06 <sup>a</sup>	426.10±85.42 <sup>gh</sup>
	5.00	981.30±1.84 <sup>f</sup>	297.20±47.66 <sup>d</sup>	0.30±0.05 <sup>a</sup>	1026.00±15.56 <sup>f</sup>
	7.50	2565.00±8.49 <sup>c</sup>	615.20±23.19 <sup>c</sup>	0.24±0.01 <sup>b</sup>	2638.00±14.14 <sup>c</sup>
TMDF	2.50	333.85±21.99 <sup>i</sup>	56.43±4.60 <sup>f</sup>	0.17±0.02 <sup>cd</sup>	338.60±20.93 <sup>h</sup>
	5.00	804.45±108.40 <sup>fg</sup>	125.50±20.51 <sup>ef</sup>	0.16±0.00 <sup>cd</sup>	814.15±110.24 <sup>fg</sup>
	7.50	1511.50±82.73 <sup>e</sup>	270.20±67.32 <sup>d</sup>	0.18±0.05 <sup>bcd</sup>	1537.00±69.30 <sup>e</sup>
FDMDF	2.50	426.00±1.56 <sup>ghi</sup>	73.04±6.00 <sup>f</sup>	0.17±0.01 <sup>cd</sup>	432.20±0.57 <sup>gh</sup>
	5.00	779.65±118.72 <sup>fgh</sup>	130.20±20.36 <sup>ef</sup>	0.17±0.00 <sup>cd</sup>	790.45±120.42 <sup>fg</sup>
	7.50	1448.00±42.43 <sup>e</sup>	218.05±17.32 <sup>de</sup>	0.15±0.02 <sup>cd</sup>	1464.50±38.89 <sup>e</sup>
AMDF	2.50	2201.50±188.80 <sup>d</sup>	312.15±0.07 <sup>d</sup>	0.14±0.01 <sup>cd</sup>	2223.50±187.38 <sup>d</sup>
	5.00	6193.00±461.03 <sup>b</sup>	1063.95±114.62 <sup>b</sup>	0.17±0.01 <sup>cd</sup>	6283.50±437.05 <sup>b</sup>
	7.50	13485.00±275.77 <sup>a</sup>	2586.00±114.55 <sup>a</sup>	0.19±0.01 <sup>bc</sup>	13735.00±289.91 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FMDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AMDF)

ตาราง 4.10 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการผลิตเส้นใยอาหารวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสสะสม (Storage modulus;  $G'$ ), โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus;  $G''$ ), อัตราส่วนของโมดูลัสสูญเสียต่อโมดูลัสสะสม (Tan delta) และโมดูลัสเชิงซ้อน (Complex modulus,  $G^*$ ) ของเจลข้าวเจ้าความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อความถี่ (Frequency) เป็น 1 Hz และความเครียด (Strain) มีค่าเป็นร้อยละ 2\*

ชนิดของเส้นใยอาหาร	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	คุณสมบัติด้านรีโอโลยี*			
		$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	Tan delta	$G^*$ (Pa)
ไม่เติม	0.00	366.75±22.13 <sup>e**</sup>	43.13±5.75 <sup>e</sup>	0.12±0.01 <sup>f</sup>	369.35±22.84 <sup>e</sup>
FGDF	2.50	688.25±123.67 <sup>de</sup>	139.40±11.88 <sup>cde</sup>	0.20±0.02 <sup>b</sup>	702.30±123.60 <sup>de</sup>
	5.00	1741.50±272.24 <sup>cd</sup>	432.00±59.26 <sup>bc</sup>	0.25±0.00 <sup>a</sup>	1974.50±277.89 <sup>cd</sup>
	7.50	5317.50±226.98 <sup>a</sup>	1257.50±129.40 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	5464.00±250.32 <sup>a</sup>
TGDF	2.50	394.65±7.42 <sup>e</sup>	66.78±0.90 <sup>e</sup>	0.17±0.01 <sup>cde</sup>	400.25±7.14 <sup>e</sup>
	5.00	686.90±72.12 <sup>de</sup>	112.40±15.13 <sup>de</sup>	0.16±0.00 <sup>e</sup>	696.05±73.61 <sup>de</sup>
	7.50	1480.00±301.23 <sup>cde</sup>	290.75±63.57 <sup>cde</sup>	0.20±0.00 <sup>bcd</sup>	1508.00±308.30 <sup>cde</sup>
FDGDF	2.50	866.40±56.00 <sup>de</sup>	123.30±18.81 <sup>de</sup>	0.14±0.01 <sup>ef</sup>	875.15±58.05 <sup>de</sup>
	5.00	1671.00±9.90 <sup>cd</sup>	280.80±15.84 <sup>cde</sup>	0.17±0.01 <sup>cde</sup>	1694.50±6.36 <sup>cd</sup>
	7.50	3441.00±694.38 <sup>b</sup>	635.7±101.75 <sup>b</sup>	0.19±0.01 <sup>bcd</sup>	3499.00±701.45 <sup>b</sup>
AGDF	2.50	1777.00±246.07 <sup>cd</sup>	270.95±36.27 <sup>cde</sup>	0.15±0.00 <sup>e</sup>	1795.50±248.19 <sup>cd</sup>
	5.00	2666.00±551.54 <sup>bc</sup>	397.15±155.49 <sup>bcd</sup>	0.15±0.03 <sup>e</sup>	2696.00±568.51 <sup>bc</sup>
	7.50	6049.50±1573.31 <sup>a</sup>	1285.00±370.52 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>b</sup>	6184.50±1614.00 <sup>a</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=3)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

**หมายเหตุ** การผลิตเส้นใยอาหารแบบสด (FGDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF), การผลิตเส้นใยอาหารโดยไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) และการผลิตโดยทำให้เส้นใยอาหารเหลือเฉพาะส่วนของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์และไม่ผ่านการทำแห้ง (AGDF)

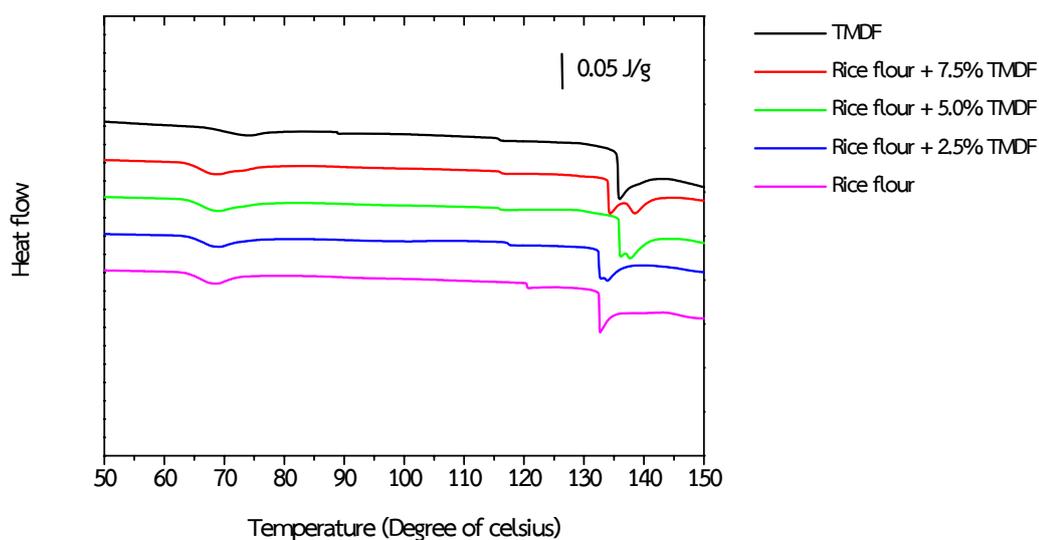
#### 4.1.2.3) คุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties)

ศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วง และฝรั่งที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตเส้นใยอาหาร โดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF และ TGDF) และการผลิตเส้นใยอาหารโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF และ FDGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติด้านความร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้า ได้แก่ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลิตไนเซชัน ( $T_o$ ) อุณหภูมิที่เกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุด ( $T_p$ ) อุณหภูมิเมื่อสิ้นสุดการเกิดเจลลิตไนเซชัน ( $T_c$ ) และค่าพลังงานความร้อน (Enthalpy) ที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนเซชัน ( $\Delta H$ ) ทั้งนี้เจลลิตไนเซชันคือกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยมีการพองตัวของเม็ดแป้งเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ หลังสิ้นสุดกระบวนการพบว่าการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบในส่วนผลึกของเม็ดถูกทำลายลง ความหนืดของระบบเพิ่มสูงขึ้น เม็ดแป้งสูญเสียส่วนกาบาทอย่างสมบูรณ์ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ผันกลับไม่ได้ ในปี ค.ศ. 1971 Stevens และ Elton ได้วิเคราะห์การเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งเป็นครั้งแรก โดยการใช้เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) จากการศึกษาพบว่าเทอร์โมแกรมของ DSC แสดงการเปลี่ยนแปลง Endothermic อย่างชัดเจนที่อุณหภูมิระหว่าง 54-73 องศาเซลเซียส จึงได้กำหนดการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่อุณหภูมิดังกล่าวให้เป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้ง และนอกจากนี้ Biliaderis และคณะ (1993) รายงานไว้ว่า อะไมโลสในโครงสร้างของเม็ดแป้งสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ ลิปิด (Amylose-lipid complex) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อลิปิดนั้นเป็นโมโนเอซิล (Monoacyl lipids) จะสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แตกต่างกันได้สองรูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดผลึก คืออะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่หนึ่ง (Amylose-lipid complex I) และอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่สอง (Amylose-lipid complex II) เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC พบว่าโครงสร้างอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ชนิดที่สองถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส

ภาพประกอบ 4.6 และตาราง 4.11 และ 4.12 แสดงเทอร์โมแกรมจาก DSC และค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติด้านความร้อนต่างๆ ของแป้งข้าวเจ้าเมื่อมีการเติมหรือไม่มีการเติมเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) เมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมโดยรวมของแป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารพบการเปลี่ยนแปลง Endothermic สองช่วงคือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งข้าวเจ้าซึ่งพบที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  นั้นมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  เป็น  $63.93^{\circ}\text{C}$ ,  $68.06^{\circ}\text{C}$ ,  $76.43^{\circ}\text{C}$  และ  $10.3 \text{ J/g}$  ตามลำดับ (ตาราง 4.11) ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำลายโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสและลิปิด (Amylose-lipid complex) นั้นพบที่อุณหภูมิสูงกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  เป็น  $133.37^{\circ}\text{C}$ ,  $133.45^{\circ}\text{C}$ ,  $136.84^{\circ}\text{C}$  และ  $6.60 \text{ J/g}$  ตามลำดับ (ตาราง 4.12) ในส่วนของเส้นใยอาหารของมะม่วงจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) นั้นพบ Endothermic สองช่วงเช่นกัน คือ Endothermic ที่หนึ่งซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งมะม่วงเนื่องจาก TMDF มีปริมาณแป้งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 56.47 (ตาราง 4.1) และแป้งมะม่วงนี้มีค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$

และ  $\Delta H$  เป็น  $67.71^{\circ}\text{C}$ ,  $73.31^{\circ}\text{C}$ ,  $80.49^{\circ}\text{C}$  และ  $6.30 \text{ J/g}$  ตามลำดับ (ตาราง 4.11) ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลส และลิปิดของ TMDF นั้นมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  เป็น  $135.12^{\circ}\text{C}$ ,  $136.07^{\circ}\text{C}$ ,  $141.75^{\circ}\text{C}$  และ  $14.30 \text{ J/g}$  ตามลำดับ (ตาราง 4.12)

เมื่อพิจารณาผลของการเติม TMDF ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้าโดยพิจารณาเทอร์โมแกรมโดยรวมของแป้งข้าวเจ้าจาก DSC ในภาพประกอบ 4.6 พบว่าการเติม TMDF มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเจ้าน้อยมาก จากตาราง 4.11 ยืนยันว่าการเติม TMDF ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่า  $T_o$ ,  $T_p$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 4.11 พบว่าการเติม TMDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 ไม่มีผลทำให้ค่า  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าเป็น 81.65 และ 80.52 องศาเซลเซียสตามลำดับ การเติม TMDF ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 7.5 ไม่มีผลทำให้  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลง Endothermic ที่สองนั้นพบว่าการเติม TMDF ทำให้รูปแบบของเทอร์โมแกรมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และส่งผลให้ค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ( $p\leq 0.05$ )



ภาพประกอบ 4.6 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิด เจลาติไนเซชันของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.11 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T <sub>o</sub> (°C) <sup>ns***</sup>	T <sub>p</sub> (°C) <sup>ns</sup>	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH (J/g) <sup>ns</sup>
0.00	63.93±0.18	68.06±0.13	76.43±0.60 <sup>c**</sup>	10.30±2.50
2.50	63.94±0.33	68.07±0.42	79.29±0.74 <sup>b</sup>	10.70±1.00
5.00	65.24±1.69	69.65±1.73	81.69±1.18 <sup>a</sup>	11.10±0.90
7.50	63.93±0.05	68.18±0.10	80.52±0.24 <sup>ab</sup>	11.60±1.20
TMDF	67.71±0.68	73.31±0.10	80.49±0.04	6.30±0.40

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

\*\*\* ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

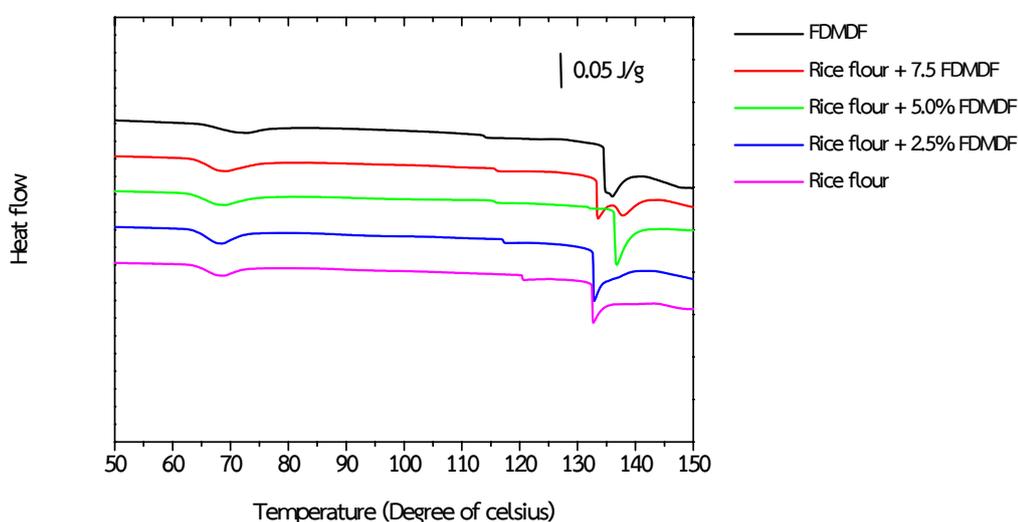
ตาราง 4.12 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH (J/g)
0.00	133.37.1.17 <sup>b**</sup>	133.49±1.22 <sup>b</sup>	136.84±0.74 <sup>c</sup>	6.60±0.90 <sup>b</sup>
2.50	133.10±0.93 <sup>b</sup>	133.37±0.87 <sup>b</sup>	140.49±0.44 <sup>ab</sup>	15.30±5.20 <sup>a</sup>
5.00	136.32±0.64 <sup>a</sup>	136.82±1.05 <sup>a</sup>	144.90±2.16 <sup>a</sup>	18.30±0.80 <sup>a</sup>
7.50	134.40±0.57 <sup>ab</sup>	134.77±0.64 <sup>ab</sup>	142.46±1.04 <sup>ab</sup>	21.10±1.40 <sup>a</sup>
TMDF	135.12±0.64	136.07±0.29	141.75±2.01	14.30±0.30

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

จากภาพประกอบ 4.7 พบว่าการเติม FDMDF ที่ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อรูปร่างของเทอร์โมแกรม แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้าไม่ได้รับผลกระทบจาก FDMDF ที่เติมลงไป และในขณะเดียวกันพบการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FDMDF จากเทอร์โมแกรม ซึ่งการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FDMDF นั้นเนื่องมาจากการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งมะม่วงที่เป็นองค์ประกอบของ FDMDF ซึ่งมีในปริมาณสูง (ร้อยละ 53.53) และผลการทดลองในจากตาราง 4.13 ยืนยันว่าการเติม FDMDF ทุกความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่า  $T_0$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p>0.05$ ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากตารางที่ 4.13 พบว่าการเติม FDMDF ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 7.5 ไม่ทำให้ค่า  $T_0$  ของแป้งข้าวเจ้าแตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) แต่การเติม FDMDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 ทำให้  $T_0$  ของแป้งข้าวเจ้าลดต่ำลงเล็กน้อยจาก 63.93 องศาเซลเซียสเมื่อไม่มีการเติมเส้นใยอาหารไปเป็น 63.23 องศาเซลเซียสเมื่อมีการเติม FDMDF ความเข้มข้นร้อยละ 5 แม้ว่าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้นพบว่ามีค่าเพียง 0.7 องศาเซลเซียสเท่านั้น และรูปร่างของเทอร์โมแกรมมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งในช่วงอุณหภูมิ 130-140 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 รูปร่างของเทอร์โมแกรมแตกต่างไปจากเทอร์โมแกรมที่ความเข้มข้นอื่นๆ เมื่อพิจารณตาราง 4.14 พบว่าการเติม FDMDF ไม่มีผลต่อค่า  $T_0$ ,  $T_p$  และ  $\Delta H$  ( $p>0.05$ ) แต่มีผลต่อค่า  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p\leq 0.05$ ) โดยการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 7.5 มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 143.04 และ 143.39 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และการเติม FDMDF มีผลต่อค่า ของแป้งข้าวเช่นเดียวกัน ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งการเติมที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีผลต่อค่า  $\Delta H$  ไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ )



ภาพประกอบ 4.7 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.13 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลาตินในเซชันของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T <sub>o</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C) <sup>ns***</sup>	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH (J/g) <sup>ns</sup>
0.00		68.06±0.13	76.43±0.60 <sup>b</sup>	10.30±2.50
2.50	63.93±0.18 <sup>a**</sup>	68.00±0.14	75.99±0.36 <sup>b</sup>	9.80±2.30
5.00	63.81±0.05 <sup>a</sup>	68.03±0.39	78.55±0.88 <sup>a</sup>	13.60±0.80
7.50	63.23±0.11 <sup>b</sup>	68.48±0.30	78.43±0.24 <sup>a</sup>	11.20±1.20
	64.19±0.34 <sup>a</sup>			
FDMDF	65.75±0.40	71.19±0.13	78.63±1.45	6.80±0.20

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

\*\*\* ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตาราง 4.14 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	T <sub>o</sub> (°C) <sup>ns***</sup>	T <sub>p</sub> (°C) <sup>ns</sup>	T <sub>c</sub> (°C)	ΔH (J/g)
0.00	133.37±1.17	133.49±1.22	136.84±0.74 <sup>b**</sup>	6.60±0.90 <sup>b</sup>
2.50	132.97±0.38	133.11±0.39	142.12±0.23 <sup>b</sup>	16.20±3.70 <sup>a</sup>
5.00	135.35±1.39	135.69±1.46	143.04±1.77 <sup>a</sup>	18.80±2.50 <sup>a</sup>
7.50	132.97±0.49	133.30±0.33	143.39±1.61 <sup>a</sup>	20.50±4.00 <sup>a</sup>
FDMDF	135.30±1.03	135.62±1.11	140.45±1.45	14.60±0.15

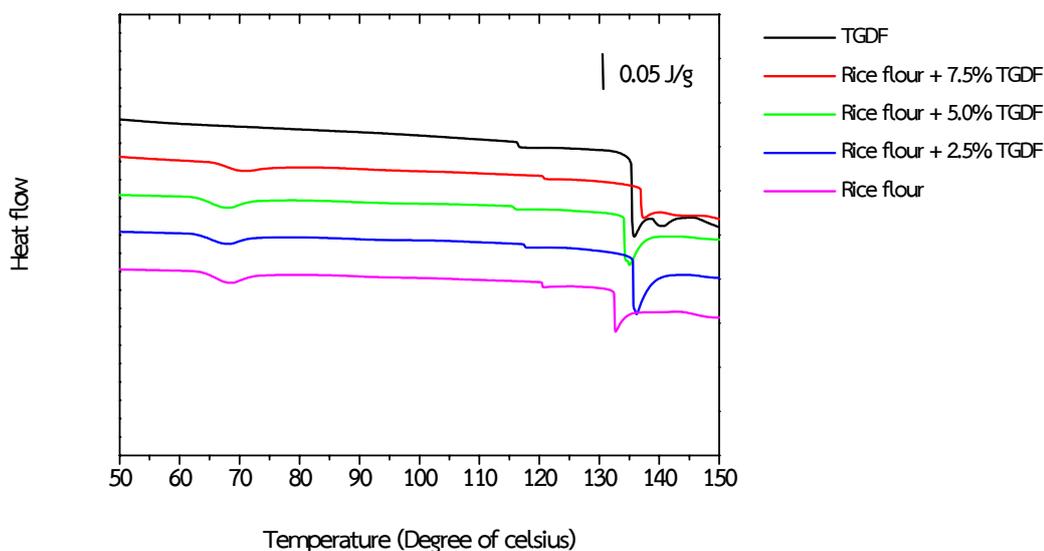
\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

\*\*\* ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งผลิตจากรรมวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 แสดงดังภาพประกอบ 4.8 และ ตาราง 4.13 จากผลการทดลองไม่พบผลของการเติม FDMDF ต่อ  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p>0.05$ ) แต่เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4.7 พบว่าเทอร์โมแกรมจาก DSC ของแป้งข้าวเจ้า ที่มีการเติม TGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, และ 5.0 มีรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่การเติม TGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ให้เทอร์โมแกรมที่มีรูปแบบแตกต่างจากเทอร์โมแกรมอื่น

เมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมจาก DSC ของเส้นใยอาหารของฝรั่งจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TMDF) นั้นพบการเปลี่ยนแปลงของ Endothermic เพียงช่วงเดียวคือ Endothermic ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  เป็น  $134.96^{\circ}\text{C}$ ,  $135.17^{\circ}\text{C}$ ,  $137.28^{\circ}\text{C}$  และ  $4.10 \text{ J/g}$  ตามลำดับ (ตาราง 4.16) ทั้งนี้ในเทอร์โมแกรมนี้ไม่พบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งฝรั่งดังที่พบในกรณีของเส้นใยอาหารจากมะม่วงทั้ง TMDF และ FDMDF ทั้งนี้เนื่องจาก TGDF มีปริมาณแป้งทั้งหมดที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.82 (ตาราง 4.2) จึงไม่สามารถตรวจพบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งฝรั่งได้จากเทอร์โมแกรม นอกจากนี้จากผลการทดลองในตาราง 4.15 แสดงให้เห็นว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ส่งผลให้  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลต่อรูปแบบการเกิดเจลลาติโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า และนอกจากนี้พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ยังมีผลต่อรูปแบบเทอร์โมแกรมในช่วงของการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ที่แตกต่างจากเทอร์โมแกรมอื่นด้วยเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองตาราง 4.16 แสดงให้เห็นว่าการเติม TGDF ไม่มีผลต่อค่า  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p>0.05$ ) ขณะเดียวกันพบว่าการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 มีผลต่อ  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p\leq 0.05$ ) และมีอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ  $143.94$  องศาเซลเซียส และการเติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5 และ 5 มีผลต่อค่า  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้าไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) โดยทำให้แป้งข้าวเจ้ามีค่า  $\Delta H$  สูงที่สุด เท่ากับ  $18.0 \text{ J/g}$



ภาพประกอบ 4.8 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.15 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลิตีโนเซชันของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C) <sup>ns***</sup>	$\Delta H$ (J/g) <sup>ns</sup>
0.00		68.06±0.13 <sup>b</sup>	76.43±0.60	10.30±2.50
2.50	63.93±0.18 <sup>b**</sup>	67.69±0.33 <sup>b</sup>	78.23±2.79	16.90±13.1
5.00	63.36±0.55 <sup>bc</sup>	67.56±0.09 <sup>b</sup>	76.49±0.59	8.30±0.40
7.50	63.00±0.13 <sup>c</sup>	69.69±0.08 <sup>a</sup>	76.16±0.28	4.80±0.20
	65.83±0.04 <sup>a</sup>			
TGDF	ND <sup>****</sup>	ND	ND	ND

\* ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*\* ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\*\*\*\* Not detected

ตาราง 4.16 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาค (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์ของแป้งข้าวเจ้า\*

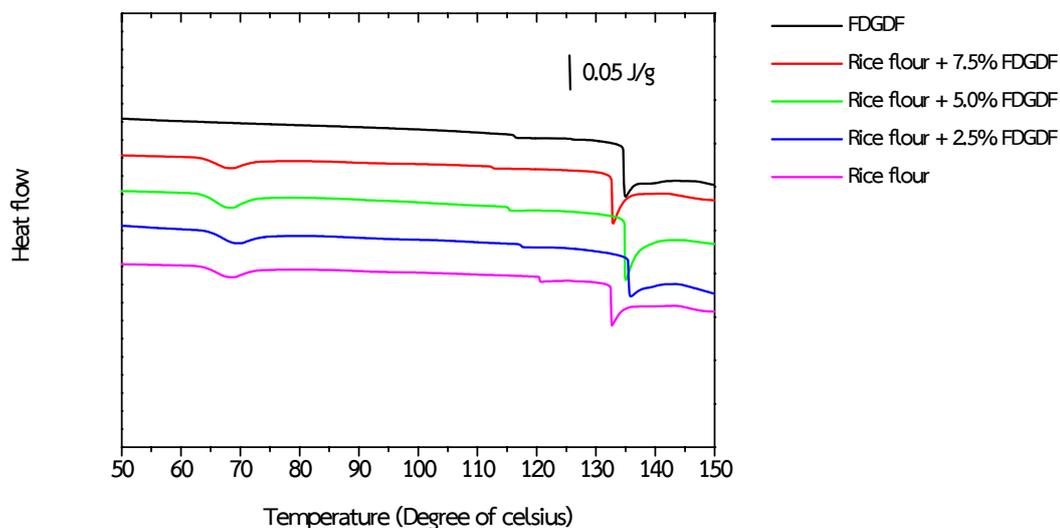
ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	$T_o$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>ns***</sup>	$T_p$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) <sup>ns</sup>	$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta H$ (J/g)
0.00	133.37±1.17	133.49±1.22	136.84±0.74 <sup>b**</sup>	6.60±0.90 <sup>b</sup>
2.50	134.99±0.92	135.33±1.15	143.94±2.47 <sup>a</sup>	18.00±4.00 <sup>a</sup>
5.00	134.31±0.16	134.51±0.15	141.57±1.41 <sup>b</sup>	18.00±3.70 <sup>a</sup>
7.50	135.01±2.71	135.25±2.69	137.83±2.91 <sup>b</sup>	3.00±1.00 <sup>b</sup>
TGDF	134.96±0.58	135.17±0.61	137.28±1.04	4.10±0.80

\* ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\*\*\* <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งซึ่งผลิตจากรรมวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 แสดงดังภาพประกอบ 4.9 และตาราง 4.14 จากผลการทดลองไม่พบผลของการเติม FDGDF ต่อ  $T_o$ ,  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p > 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4.7 พบว่าเทอร์โมแกรมจาก DSC ของแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติม FDGDF ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 มีรูปแบบเดียวกัน และจากการตรวจสอบการเกิดเจลลาติโนเซชันของ FDGDF ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเทอร์โมแกรมในช่วงการเกิดเจลลาติโนเซชันเช่นเดียวกับ TGDF ซึ่งเป็นผลมาจากมีปริมาณแป้งทั้งหมดในปริมาณน้อย โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 0.92 และจากผลการทดลองในตาราง 4.17 แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้น 0, 2.5 และ 5 มีผลต่อ  $T_c$  แตกต่างกับการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ( $p < 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง  $T_c$  ของแป้งข้าวเจ้า และเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิการเกิดอะไมโลสลิปิดคอมเพล็กซ์พบว่าเทอร์โมแกรมของแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติม FDGDF ที่ทุกความเข้มข้นมีรูปแบบเดียวกัน จากผลการทดลองตาราง 4.18 แสดงให้เห็นว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ไม่มีผลต่อ  $T_o$  และ  $T_p$  ของแป้งข้าวเจ้า ( $p > 0.05$ ) ขณะเดียวกันพบว่าการเติม FDGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5 และ 7.5 มีผลให้ค่า  $T_c$  และ  $\Delta H$  ของแป้งข้าวเจ้า เพิ่มสูงขึ้น ( $p < 0.05$ )



ภาพประกอบ 4.9 เทอร์โมแกรมจาก DSC แสดงผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อคุณสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า

ตาราง 4.17 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการเกิดเจลลาตินเซชันของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของเส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางความร้อน*			
	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$T_c$ (°C)	$\Delta H$ (J/g) <sup>ns</sup>
0.00	63.93±0.18 <sup>ab</sup>	68.06±0.13 <sup>b</sup>	76.43±0.60 <sup>a</sup>	10.30±2.50
2.50	64.47±0.34 <sup>a</sup>	68.73±0.28 <sup>a</sup>	78.06±1.06 <sup>a</sup>	9.90±0.50
5.00	63.73±0.07 <sup>b</sup>	67.88±0.06 <sup>b</sup>	76.09±0.76 <sup>a</sup>	10.80±0.50
7.50	63.88±0.18 <sup>ab</sup>	67.90±0.12 <sup>b</sup>	73.62±0.91 <sup>b</sup>	7.20±0.80
FDGDF	ND <sup>****</sup>	ND	ND	ND

\* ค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c, ...) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\*\*\* <sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

\*\*\*\* Not detected



แป้งประกอบด้วยส่วนที่ถูกละลายอย่างรวดเร็ว (Rapidly digesting starch; RDS) ส่วนที่ถูกละลายอย่างช้าๆ (Slowly digesting starch; SDS) และส่วนที่ทนต่อการย่อย (Resistant starch; RS) โดยวิธีการทดสอบการย่อยได้ของแป้งจะใช้สภาวะที่คล้ายคลึงกับในกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก แป้งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไปเป็นกลูโคส และวัดปริมาณกลูโคสที่เวลาแตกต่างกัน โดย RDS ได้จากปริมาณกลูโคสที่เวลาหลังจาก 20 นาที SDS ได้จากปริมาณกลูโคสที่เวลาระหว่าง 20-120 นาที และ RS ได้จากปริมาณแป้งทั้งหมดลบด้วยปริมาณกลูโคสภายใน 120 ของการย่อย (Singh et al, 2010) ซึ่งแป้งส่วนที่ถูกละลายอย่างรวดเร็วหรือ RDS จะถูกย่อยอย่างรวดเร็วและย่อยอย่างสมบูรณ์ในลำไส้เล็กและมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของปริมาณกลูโคสในเลือด แป้งที่ถูกละลายอย่างช้าหรือ SDS ถูกละลายอย่างสมบูรณ์ภายในลำไส้เล็ก เช่นเดียวกับกับ RDS แต่ถูกย่อยช้ากว่า RDS จึงเป็นแป้งที่พึงประสงค์ในอาหารประเภทแป้ง และแป้งที่ทนต่อการย่อยหรือ RS นั้น เป็นแป้งทั้งหมดหรือผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายของแป้งที่ไม่สามารถดูดซึมได้ในส่วนของลำไส้เล็ก แต่จะถูกหมักในลำไส้ใหญ่ซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ (Kaur and Sandhu, 2010)

แป้งข้าวเจ้าที่ไม่มีการเติมเส้นใยอาหารมีปริมาณของ RDS, SDS และ RS เป็นร้อยละ 10.52, 88.52 และ 0.94 ตามลำดับ และมี SDI เท่ากับ 10.52 การเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการผลิตโดยทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) มีผลต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อมีการเติม FDMDF ร้อยละ 7.5 ลงในแป้งข้าวเจ้ามีผลให้ปริมาณ RDS ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 4.45 ( $p \leq 0.05$ ) และทำให้ SDS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95.02 ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ยังลด SDI ให้ต่ำลงมาเป็น 4.45 ( $p \leq 0.05$ ) ตามตาราง 4.15 Brennan (2008) ได้รายงานว่าการลดลงของปริมาณกลูโคสในเลือดนั้นเกี่ยวข้องกับเส้นใยอาหารส่วนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ กัวร์กัม ซึ่งสามารถเพิ่มความหนืดในระบบที่มีทั้งแป้งและเส้นใยอาหารได้ ดังนั้นการย่อยของเอนไซม์จึงเกิดขึ้นได้ช้าลง การลดลงของ RSD และการเพิ่มขึ้นของ SDS นั้น ล้วนเป็นผลดีต่อระบบการย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแป้งส่วนที่ถูกละลายอย่างช้าๆ หรือ SDS ส่งผลให้เกิดการย่อยที่ช้าลง และทำให้ปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยเช่นกัน จึงนับว่าแป้งส่วนนี้เป็นแป้งที่พึงประสงค์ของอาหารประเภทแป้ง (Kaur and Sandhu, 2010)

การย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าที่เติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ผลิตโดยทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (TGDF) พบว่า การเติม TGDF ไม่มีผลต่อปริมาณของ RDS, SDS และ SDI ( $p > 0.05$ ) แต่มีผลต่อปริมาณของ RS อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเติมเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่เติม TGDF ที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ปริมาณ RS เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 2.76 ดังแสดงในตาราง 4.16 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณ RS อาจเป็นผลมาจากปริมาณของเส้นใยอาหารที่เติมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากเส้นใยอาหารส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะไม่สามารถถูกย่อยและถูกดูดซึม การเพิ่มขึ้นของ RS ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ถูกละลายของเอนไซม์และไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก แต่จะเกิดการหมักในลำไส้ใหญ่นั้น ตามรายงานของ (Fuentes-Zaragoza et al., 2010) ที่ได้รายงานว่าอาหารที่มี RS เป็นองค์ประกอบสามารถช่วยลดปริมาณกลูโคสในเลือดได้ และอาจมีบทบาทสำคัญในการควบคุมโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ได้ เนื่องจากกลูโคสไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็ก

และนอกจากนี้เมื่อ RS ผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ส่วนที่ไม่ทนต่อการหมักจะถูกหมักโดยแบคทีเรียได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ (Short-chain fatty acids; SCFA) เป็นหลัก ซึ่ง SCFA มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่ก่อโรคลดจำนวนลง และส่วนที่ทนต่อการหมักมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มปริมาณอุจจาระทำให้ผู้บริโภคขับถ่ายได้สะดวกขึ้น (Wong and Jenkins, 2007) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเติมเส้นใยอาหารจากมะม่วงและฝรั่งมีผลทำให้การย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทำให้แป้งข้าวเจ้ามีส่วนที่ถูกย่อยอย่างช้าๆ และส่วนที่ทนต่อการย่อยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้บริโภคเนื่องจากสามารถช่วยลดการดูดซึมของกลูโคสได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น และนอกจากเส้นใยอาหารจะมีผลต่อการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตประเภทแป้งแล้ว ยังพบว่าสามารถลดการย่อยได้ของโปรตีนอีกด้วย Sivam et al. (2010) รายงานไว้ว่าเส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ล มะนาว และข้าวสาลีที่เติมลงไปนึ่งก็แทนที่แป้งข้าวสาลีมีผลทำให้โปรตีนเกิดการย่อยได้น้อยลง และการย่อยได้ของแป้งมีค่าน้อยลงไปอีกเมื่อมีการเติมเส้นใยอาหารในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

ตาราง 4.19 ผลของเส้นใยอาหารจากมะม่วงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (FDMDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า\*

ความเข้มข้นของ เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	ชนิดของแป้ง*			SDI
	RDS	SDS	RS	
0.00	10.52±2.86 <sup>b**</sup>	88.52±3.02 <sup>b</sup>	0.97±0.16 <sup>b</sup>	10.52±2.86 <sup>b</sup>
2.50	23.84±0.99 <sup>a</sup>	73.70±0.73 <sup>c</sup>	2.47±0.27 <sup>a</sup>	23.84±0.99 <sup>a</sup>
5.00	8.32±1.24 <sup>bc</sup>	91.14±1.39 <sup>ab</sup>	0.55±0.16 <sup>b</sup>	8.32±1.24 <sup>bc</sup>
7.50	4.45±1.34 <sup>c</sup>	95.02±1.19 <sup>a</sup>	0.54±0.15 <sup>b</sup>	4.45±1.37 <sup>c</sup>

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index

ตาราง 4.20 ผลของเส้นใยอาหารจากฝรั่งที่ได้จากการทำแห้งแบบอบลมร้อน (TGDF) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 2.5, 5.0 และ 7.5 ต่อการย่อยได้ของแป้งข้าวเจ้า\* (เมื่อ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index)

ความเข้มข้นของ เส้นใยอาหาร (ร้อยละ)	ชนิดของแป้ง			SDI <sup>ns</sup>
	RDS <sup>ns</sup>	SDS <sup>ns</sup>	RS*	
0.00	10.52±2.86	88.52±3.02	0.97±0.16 <sup>b</sup>	10.52±2.86
2.50	7.76±0.71	90.47±1.20	1.77±0.48 <sup>b</sup>	7.76±0.71
5.00	6.54±0.29	91.75±0.62	1.73±0.33 <sup>b</sup>	6.54±0.29
7.50	9.71±1.37	87.53±1.17	2.76±0.20 <sup>a</sup>	9.71±1.37

\* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n=2)

\*\* ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c) ในแนวตั้งเดียวกันกำกับต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติ (p≤0.05)

\*\*\* ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

หมายเหตุ RDS = Rapid digestibility starch, SDS = Slow digestibility starch, RS = Resistance starch และ SDI = Starch digestibility index