

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสาร

ข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด จำนวน 60 ตัวอย่าง ที่นำมาทดลองเป็นข้าวพันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวประกอบด้วยข้าวหอมมะลิ ข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวปริมาณแอมิโลสสูง โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส ปริมาณโปรตีน ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติด้านความหนืด ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางด้านเคมีกายภาพ และเป็นข้อมูลสำคัญในการศึกษาการปลอมปนข้าวพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิอีกด้วย

#### 4.1.1 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนในข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม วิธีการเพาะปลูก พันธุ์ข้าว และฤดูกาลเพาะปลูก เป็นต้น (Patrick & Hoskins, 1974, pp. 84-95) จากตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง  $5.27 \pm 0.02$  ถึง  $9.06 \pm 0.08\%$  โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และข้าวพันธุ์พุมธานี 1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด และข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณโปรตีนในข้าวสารตัวอย่างที่แตกต่างกันมีสาเหตุมาจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเพาะปลูก Bahamaniar & Ranjbar (2007) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำในช่วงที่ข้าวออกดอกจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Gomez & Veskosit (1973) พบว่าตัวอย่างข้าวพันธุ์เดียวกันเมื่อนำมาปลูกที่ประเทศไทยและฟิลิปปินส์จะมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไนมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันสูงมาก อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Marshall & Wadsworth (1994) ที่รายงานว่าข้าวจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 7.3-8.3% ของน้ำหนักตัวอย่าง โปรตีนจะทำหน้าที่ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าว อีกทั้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกและอุณหภูมิการเกิดเจลลาดิโนเซนเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

#### 4.1.2 ปริมาณแอมิโลส

ข้าวในกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ได้แก่ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์พุมธานี 60 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ และกลุ่มข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ความแตกต่างของปริมาณแอมิโลสในข้าวแต่ละพันธุ์ขึ้นอยู่กับปริมาณสตาร์ช (Starch content) Navaserarttavisootr (2004) พบว่าปริมาณสตาร์ชของกลุ่มพันธุ์ข้าวหอม (Aromatic rices) จะมีปริมาณต่ำกว่าข้าวกลุ่มที่ไม่ใช่ข้าวหอม (Non-aromatic rices) และยังพบว่าข้าวหอมมะลิมีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง เนื่องจากข้าวทั้ง 2 กลุ่ม จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำนั่นเอง (งามชื่น คงเสรี, 2539, หน้า 34) Hu-lin *et al.* (2007) ยังพบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้

ปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าวลดลง แต่จะส่งผลให้ค่าความคงตัวของเจลเพิ่มขึ้นอีกด้วย ปริมาณแอมิโลสของข้าวแต่ละพันธุ์ที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับ Juliano (1993) และงามชื่น คงเสรี (2539) ที่แบ่งกลุ่มตามปริมาณแอมิโลสเป็น 5 กลุ่ม คือ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง และข้าวเจ้าแอมิโลสสูง (แสดงดังตารางที่ 2.3)

นอกจากนี้ เมื่อทำการเปรียบเทียบการแบ่งกลุ่มข้าวตามรายงานของ Juliano (1993) และงามชื่น คงเสรี (2539) กับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวสารทั้ง 60 ตัวอย่าง สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ประกอบด้วยข้าวหอมมะลิ (ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ข 15) พันธุ์หอมคลองหลวง พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์พิษณุโลก 1 ข้าวกลุ่มแอมิโลสปานกลาง ประกอบด้วยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 พันธุ์สุพรรณบุรี 60 ในขณะที่ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ประกอบด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ปทุมธานี 60 ตามลำดับ

#### 4.1.3 ค่าความคงตัวของเจล

ค่าความคงตัวของเจลเป็นคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญ สามารถนำมาใช้จำแนกความแตกต่างลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่มีปริมาณแอมิโลสใกล้เคียงกันได้ เนื่องจากค่าความคงตัวของเจลแบ่งข้าวแต่ละพันธุ์มีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ส่งผลให้เจลแบ่งมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเจลแบ่งที่แข็งจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็ง ร่วน ในขณะที่เจลแบ่งอ่อนจะทำให้ข้าวสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม เหนียว (Blakeney, 1979, pp. 343-353) เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวหอมมะลิ (ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105) และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ (ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1) มีค่าความคงตัวของเจลสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงตามลำดับ อย่างไรก็ตามข้าวหอมมะลิมีค่าความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เนื่องจากจัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ

นอกจากนี้จากตารางที่ 4.1 ยังพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวที่จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง แต่มีค่าความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ งามชื่น คงเสรี (2539) และ Cheaupun, Wongpiyachon & Kongseree (2005) อธิบายว่าการที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าความคงตัวของเจลสูงอาจมีสาเหตุมาจากลักษณะเฉพาะของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 4 เดือน จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่ม เนื่องจากค่าความคงตัวของเจลมีลักษณะเจลนุ่มปานกลาง ดังนั้น จึงส่งผลให้การไหลของเจลแบ่งหรือค่าความคงตัวของเจลไม่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มข้าวตามค่าความคงตัวของเจลตามวิธีของ Cagampang, Perez & Juliano (1973) ได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวเจลนุ่ม (ระยะทางที่แบ่งสุกไหล 61-100 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ กลุ่มข้าวเจลนุ่มปานกลาง (ระยะทางที่แบ่งสุกไหล 41-60 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 และสุพรรณบุรี 60 และกลุ่มข้าวเจลแข็ง (ระยะทางที่แบ่งสุกไหล 26-40 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ซึ่งประกอบด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 ข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 60 และข้าวพันธุ์พิษณุโลก

#### 4.1.4 ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง มีความสำคัญต่อคุณภาพด้านการหุงต้ม และแปรรูปข้าว เนื่องจากสามารถใช้ประเมินอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวทางอ้อม (Delwiche *et al.*, 1996, pp. 257-263) ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง แสดงดัง ตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ระดับ 7.00 หมายถึง เมล็ดข้าวสลายตัวทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นเมือกใส ซึ่งไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p>0.05$ ) ยกเว้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 ซึ่งมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่างอยู่ในระดับ 5.00 และไม่ได้แตกต่างกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ( $p>0.05$ ) ที่จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง ในขณะที่ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่างสารละลายต่ำที่สุด โดยอยู่ในระดับ 1.00-2.00 ซึ่งหมายถึงเมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลงถึงพองตัวเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับ Little *et al.* (1958) ซึ่งแบ่งข้าวได้ 3 กลุ่ม คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันต่ำ (ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 6-7) ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันปานกลาง (ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 4-5) และข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันสูง (ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 1-3) แสดงดังตารางที่ 2.5

Nishi *et al.* (2001) รายงานว่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างแต่ ละพันธุ์ที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากโครงสร้างของแอมิโลเพกทิน โดย Umemoto *et al.* (2002) พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีองค์ประกอบของแอมิโลเพกทินสายสั้นสูงจะแตกตัวได้ง่ายกว่าสตาร์ชข้าวที่มีแอมิโลเพกทินสายยาวในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ Nakamura *et al.* (2002) พบว่าปริมาณแอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง ซึ่งสอดคล้องกับ Harushima *et al.* (1998) พบว่าในสตาร์ชข้าวจะมี Amylopectin-synthesizing enzyme ทำหน้าที่สังเคราะห์ยีนที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชตลอดจนโครงสร้างของแอมิโลเพกทินในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งความยาวของสายแอมิโลเพกทินนั้นมีผลต่อการแตกตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของตัวอย่างข้าวสาร

กลุ่ม/พันธุ์ข้าว	ปริมาณโปรตีน (%)	ปริมาณแอมิโลส (%)	ค่าความคงตัวของเจล (มม.)	ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง
<b>ข้าวหอมมะลิ (n = 50)</b>				
1. ข้าวดอกมะลิ 105 (n = 31)	7.01 ± 0.71 <sup>bc</sup>	16.09 ± 1.12 <sup>ef</sup>	79.06 ± 4.16 <sup>a</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
2. กข 15 (n = 19)	6.97 ± 0.83 <sup>bc</sup>	16.03 ± 1.46 <sup>ef</sup>	73.63 ± 5.76 <sup>ab</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ (n = 3)</b>				
1. หอมคลองหลวง (n = 1)	6.49 ± 0.01 <sup>c</sup>	18.25 ± 0.22 <sup>cd</sup>	71.50 ± 0.72 <sup>ab</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
2. ปทุมธานี 1 (n = 1)	8.13 ± 0.03 <sup>ab</sup>	16.60 ± 1.11 <sup>de</sup>	77.50 ± 0.17 <sup>a</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
3. พิษณุโลก 1 (n = 1)	6.92 ± 0.01 <sup>bc</sup>	14.35 ± 0.07 <sup>f</sup>	71.00 ± 1.04 <sup>ab</sup>	5.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง (n = 2)</b>				
1. สุพรรณบุรี 2 (n = 1)	7.57 ± 0.02 <sup>bc</sup>	19.65 ± 0.50 <sup>c</sup>	59.50 ± 0.73 <sup>cd</sup>	5.00 ± 0.00 <sup>b</sup>
2. สุพรรณบุรี 60 (n = 1)	9.06 ± 0.08 <sup>a</sup>	22.45 ± 0.34 <sup>b</sup>	55.00 ± 1.45 <sup>d</sup>	4.00 ± 0.00 <sup>c</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง (n = 5)</b>				
1. ชัยนาท 1 (n = 1)	7.52 ± 0.16 <sup>bc</sup>	26.60 ± 0.29 <sup>a</sup>	65.50 ± 0.58 <sup>bc</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>d</sup>
2. ชัยนาท 2 (n = 1)	5.27 ± 0.02 <sup>d</sup>	28.65 ± 0.23 <sup>a</sup>	39.00 ± 1.14 <sup>e</sup>	1.00 ± 0.00 <sup>e</sup>
3. เหลืองประทีพ 123 (n = 1)	6.85 ± 0.04 <sup>bc</sup>	27.25 ± 0.13 <sup>a</sup>	41.00 ± 1.24 <sup>e</sup>	1.00 ± 0.00 <sup>e</sup>
4. พิษณุโลก 2 (n = 1)	7.02 ± 0.13 <sup>bc</sup>	26.65 ± 0.26 <sup>a</sup>	41.25 ± 0.96 <sup>e</sup>	1.00 ± 0.00 <sup>e</sup>
5. ปทุมธานี 60 (n = 1)	6.94 ± 0.01 <sup>bc</sup>	28.55 ± 0.13 <sup>a</sup>	41.50 ± 1.00 <sup>e</sup>	1.00 ± 0.00 <sup>e</sup>

a,b,c ตัวอักษรที่วางกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

#### 4.1.5 คุณสมบัติด้านความหนืด

ความหนืดของแป้งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการแปรรูปอาหารที่มีข้าวเป็นองค์ประกอบ (Meadows & Barton II, 2002, pp. 563-566) คุณสมบัติด้านความหนืดแสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1

##### 4.1.5.1 ความหนืดสูงสุด

ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์พิษณุโลก 1 มีค่าความหนืดสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ Meadows & Barton-II (2002) และ Patindol *et al.* (2009) พบว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่อค่าความหนืดสูงสุดของแป้งเนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลสจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งที่อุณหภูมิ 95°C จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำสูงกว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ

##### 4.1.5.2 การแตกตัวของแป้งสุก

การแตกตัวของแป้งสุกเป็นผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดที่คงที่ต่อการกวน ถ้าค่าการแตกตัวของแป้งสุกต่ำจะแสดงถึงจำนวนการแตกตัวของเม็ดแป้งต่ำด้วย (Park, Kim & Kim, 2001, pp. 151-156) ข้าวหอมมะลิมีค่าการแตกตัวของแป้งสุกไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p>0.05$ ) แต่มีแนวโน้มสูงกว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มแอมิโลสสูง ตามลำดับ ( $p<0.05$ ) โดย Meadows & Barton-II (2002) และ Patindol *et al.* (2009) พบว่าค่าการแตกตัวของแป้งสุกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับสายโซ่ในโครงสร้างของแอมิโลเพกทินและมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับสายโซ่ในโครงสร้างของแอมิโลเพกทินและมีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณแอมิโลส จึงมีผลทำให้ข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำซึ่งในเม็ดแป้งประกอบด้วยแอมิโลสเพกทินสูงและปริมาณแอมิโลสต่ำจึงมีค่าการแตกตัวของแป้งสุกสูงกว่าข้าวในกลุ่มอื่น ๆ ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

##### 4.1.5.3 ค่าความคงตัวของแป้งสุก

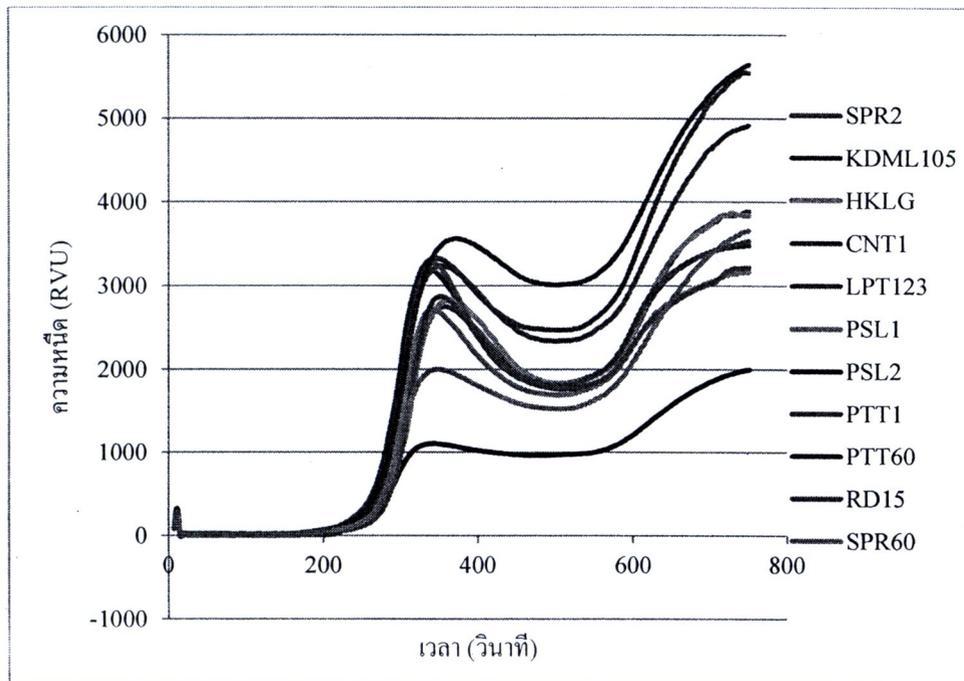
ค่าความคงตัวของแป้งสุกเป็นค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้ายกับค่าความหนืดสูงสุด ค่าความคงตัวของแป้งสุกจะแสดงถึงการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าว ซึ่งสามารถจำแนกความแตกต่างของข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันได้ (Gravois & Webb, 1997, pp. 25-29) จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 พบว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123 จะมีค่าความคงตัวของแป้งสุกสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ นอกจากนี้ จากตารางที่ 4.2 ยังพบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าความคงตัวของแป้งสุกต่ำกว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำโดยพิจารณาจากค่าความคงตัวของแป้งสุก



ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสาร

กลุ่ม/พันธุ์ข้าว	ความหนืดสูงสุด (RVU)	การแตกตัวของแป้งสุก (RVU)	ความคงตัวของแป้งสุก (RVU)	ความหนืดสุดท้าย (RVU)	อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ความหนืดหลังการทำเย็น (RVU)
<b>ข้าวหอมมะลิ (n = 50)</b>						
1. ข้าวดอกมะลิ 105 (n = 31)	1,842 ± 11 <sup>b</sup>	1,103 ± 7 <sup>a</sup>	-763 ± 17 <sup>e</sup>	3,045 ± 14 <sup>e</sup>	84.46 ± 0.90 <sup>de</sup>	1,660 ± 9 <sup>e</sup>
2. กข 15 (n = 19)	1,753 ± 12 <sup>b</sup>	1,062 ± 6 <sup>ab</sup>	-595 ± 11 <sup>e</sup>	3,000 ± 28 <sup>e</sup>	84.84 ± 0.55 <sup>cd</sup>	1,612 ± 8 <sup>e</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ (n = 3)</b>						
1. หอมคลองหลวง (n = 1)	2,180 ± 2 <sup>a</sup>	1,060 ± 1 <sup>ab</sup>	128 ± 3 <sup>d</sup>	3,165 ± 3 <sup>de</sup>	84.45 ± 0.50 <sup>cd</sup>	1,949 ± 2 <sup>d</sup>
2. ปทุมธานี 1 (n = 1)	2,073 ± 1 <sup>a</sup>	1,025 ± 2 <sup>ab</sup>	221 ± 1 <sup>d</sup>	3,436 ± 2 <sup>bcd</sup>	85.55 ± 0.19 <sup>cd</sup>	1,953 ± 2 <sup>d</sup>
3. พิษณุโลก 1 (n = 1)	2,036 ± 3 <sup>a</sup>	1,083 ± 4 <sup>ab</sup>	161 ± 2 <sup>d</sup>	3,236 ± 2 <sup>cde</sup>	88.50 ± 0.20 <sup>ab</sup>	1,869 ± 2 <sup>d</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง (n = 2)</b>						
1. สุพรรณบุรี 2 (n = 1)	1,247 ± 1 <sup>d</sup>	976 ± 4 <sup>b</sup>	932 ± 1 <sup>c</sup>	3,561 ± 1 <sup>abc</sup>	86.25 ± 0.23 <sup>c</sup>	2,145 ± 1 <sup>c</sup>
2. สุพรรณบุรี 60 (n = 1)	1,545 ± 3 <sup>c</sup>	967 ± 2 <sup>b</sup>	997 ± 2 <sup>c</sup>	3,546 ± 5 <sup>abc</sup>	88.30 ± 0.96 <sup>ab</sup>	2,146 ± 4 <sup>c</sup>
<b>ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง (n = 5)</b>						
1. ชัยนาท 1 (n = 1)	1,038 ± 7 <sup>e</sup>	484 ± 3 <sup>c</sup>	1,036 ± 4 <sup>b</sup>	3,679 ± 4 <sup>ab</sup>	83.25 ± 0.17 <sup>e</sup>	2,465 ± 7 <sup>a</sup>
2. ชัยนาท 2 (n = 1)	934 ± 3 <sup>e</sup>	464 ± 5 <sup>c</sup>	1,464 ± 2 <sup>b</sup>	3,742 ± 1 <sup>ab</sup>	89.50 ± 0.57 <sup>a</sup>	2,313 ± 2 <sup>b</sup>
3. เหลืองประทีพ 123 (n = 1)	958 ± 2 <sup>e</sup>	512 ± 2 <sup>c</sup>	1,887 ± 2 <sup>a</sup>	3,755 ± 2 <sup>ab</sup>	83.30 ± 0.11 <sup>e</sup>	2,444 ± 1 <sup>a</sup>
4. พิษณุโลก 2 (n = 1)	983 ± 4 <sup>e</sup>	417 ± 4 <sup>cd</sup>	1,401 ± 4 <sup>b</sup>	3,629 ± 17 <sup>ab</sup>	87.82 ± 1.65 <sup>b</sup>	2,311 ± 6 <sup>b</sup>
5. ปทุมธานี 60 (n = 1)	1,062 ± 2 <sup>e</sup>	334 ± 5 <sup>d</sup>	1,559 ± 2 <sup>b</sup>	3,856 ± 6 <sup>a</sup>	86.30 ± 0.29 <sup>c</sup>	2,442 ± 2 <sup>a</sup>

abc ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพที่ 4.1 ลักษณะความหนืดของน้ำแป้งของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว

#### 4.1.5.4 ค่าความหนืดสุดท้าย

ค่าความหนืดสุดท้าย เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของความหนืดของแป้งนิยมใช้ในการอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดจะเกิดขึ้นหลังการหุงต้มและทำให้เย็น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2544, หน้า 3-4) จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 จะพบว่าค่าความหนืดสุดท้ายจะมีลักษณะคล้ายกับค่าความคงตัวของแป้งสุก กล่าวคือค่าความหนืดสุดท้ายมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสในข้าวเพิ่มสูงขึ้นและส่งผลให้ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) แต่ค่าความหนืดสุดท้ายของข้าวหอมมะลิไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p > 0.05$ )

#### 4.1.5.5 อุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก เป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงเมื่อดสตาร์ชเริ่มพองตัวและเกิดกระบวนการเจลาติไนเซชัน ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้น (Perdon *et al.*, 2001, pp. 205-209) อุณหภูมิแป้งสุกของตัวอย่างข้าวอยู่ในช่วง  $89.50 \pm 0.57$  ถึง  $83.25 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิแป้งสุกของข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างข้าวกลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123

#### 4.1.5.6 ความหนืดหลังการทำเย็น

ค่าความหนืดหลังการทำเย็นของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 โดยพบว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความหนืดหลังการทำเย็นสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) และยังพบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าความหนืดหลังการทำเย็นแตกต่างกับข้าวกลุ่มที่มี

ปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้น ค่าความหนืดหลังการทำเย็นจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำได้

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่างข้าวสารทั้ง 60 ตัวอย่าง จะพบว่าปริมาณโปรตีนไม่สามารถนำมาใช้จำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ได้ แต่ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติทางด้านความหนืดสามารถนำมาใช้ในการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงได้ แต่ไม่สามารถนำมาจำแนกข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำได้ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่วิเคราะห์ได้จะพบว่าคุณสมบัติด้านความหนืด โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความคงตัวของแป้งสุกสามารถนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำได้

#### 4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมมะลิผสมกับข้าวปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำและกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ ข้าวทั้งสองพันธุ์นี้นิยมนำมาผสมกับข้าวหอมมะลิ เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิมากที่สุด อีกทั้งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ยังจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำเช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 อายุการเก็บรักษาไม่เกิน 4 เดือน จะมีค่าความคงตัวของเจลใกล้เคียงกับข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำอีกด้วย จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้ประกอบการค้าข้าวส่วนใหญ่จึงนิยมนำข้าวทั้งสองพันธุ์มาผสมรวมกับข้าวหอมมะลิ และส่งผลให้ข้าวหอมมะลิมีคุณภาพด้านการหุงต้ม รับประทาน และการแปรรูปลดลง ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (งามชื่น คงเสรี, 2539, หน้า 42) ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหอมมะลิผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และสร้างสมการสำหรับทำนายการปลอมปนข้าวหอมมะลิเป็นสำคัญ

4.2.1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าปริมาณโปรตีนของตัวอย่างข้าวดังกล่าวอยู่ในช่วง  $6.46 \pm 0.25$  ถึง  $7.39 \pm 0.47\%$  โดยข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% จะมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 25 : 75 จะมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% และตัวอย่างข้าวข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันนั้นจะมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ปริมาณโปรตีนในข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันโดยมีสาเหตุจากปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม วิธีการเพาะปลูก และพันธุ์ข้าวตามรายงานการวิจัยของ Patrick & Hoskinw (1974) แต่เมื่อนำข้าวมาผสมกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะมีทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวแต่ละตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายของเมล็ดข้าว  
ในสารละลายต่างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ใน  
อัตราส่วนที่ต่างต่างกัน

อัตราส่วนผสม (%)		ปริมาณโปรตีน (%)	ปริมาณแอมิโลส (%)	ค่าความคงตัวของเจล (มม.)	ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง
ขาวดอกมะลิ 105	ปทุมธานี 1				
100	0	7.33 ± 0.37 <sup>abc</sup>	15.90 ± 0.70 <sup>abc</sup>	85.33 ± 1.52 <sup>ab</sup>	6.96 ± 0.58 <sup>ab</sup>
95	5	7.43 ± 0.25 <sup>abc</sup>	16.16 ± 0.57 <sup>abc</sup>	83.00 ± 1.73 <sup>abc</sup>	6.83 ± 0.58 <sup>abcd</sup>
90	10	7.30 ± 0.20 <sup>abc</sup>	15.13 ± 0.80 <sup>cde</sup>	81.66 ± 2.88 <sup>abcd</sup>	6.83 ± 0.12 <sup>abcd</sup>
85	15	6.86 ± 0.40 <sup>bc</sup>	15.46 ± 0.41 <sup>abcde</sup>	80.66 ± 1.15 <sup>bcd</sup>	6.86 ± 0.06 <sup>abcd</sup>
80	20	7.46 ± 0.40 <sup>abc</sup>	15.46 ± 1.01 <sup>abcde</sup>	81.33 ± 3.05 <sup>abcd</sup>	6.76 ± 0.57 <sup>bc</sup>
75	25	7.20 ± 0.40 <sup>abc</sup>	15.56 ± 0.96 <sup>abcd</sup>	80.66 ± 1.15 <sup>bcd</sup>	6.70 ± 0.00 <sup>d</sup>
70	30	7.06 ± 0.76 <sup>abc</sup>	16.00 ± 0.46 <sup>abc</sup>	82.00 ± 2.00 <sup>abcd</sup>	6.83 ± 0.15 <sup>abcd</sup>
65	35	7.36 ± 0.64 <sup>abc</sup>	15.16 ± 1.05 <sup>cde</sup>	79.33 ± 5.13 <sup>bc</sup>	6.93 ± 0.05 <sup>abc</sup>
60	40	6.76 ± 0.46 <sup>bc</sup>	16.53 ± 0.70 <sup>bc</sup>	82.00 ± 2.00 <sup>abcd</sup>	6.80 ± 0.10 <sup>bcd</sup>
55	45	7.26 ± 0.55 <sup>abc</sup>	16.80 ± 0.45 <sup>a</sup>	83.33 ± 1.15 <sup>abc</sup>	6.86 ± 0.15 <sup>abcd</sup>
50	50	6.83 ± 0.51 <sup>bc</sup>	15.73 ± 0.40 <sup>abcd</sup>	82.66 ± 4.04 <sup>abc</sup>	6.80 ± 0.10 <sup>bcd</sup>
45	55	6.70 ± 0.17 <sup>bc</sup>	14.90 ± 0.52 <sup>cde</sup>	76.66 ± 5.03 <sup>d</sup>	6.80 ± 0.00 <sup>bcd</sup>
40	60	6.73 ± 0.60 <sup>bc</sup>	14.13 ± 0.06 <sup>e</sup>	83.66 ± 4.72 <sup>abc</sup>	6.83 ± 0.15 <sup>abcd</sup>
35	65	7.30 ± 0.61 <sup>abc</sup>	14.50 ± 0.53 <sup>de</sup>	83.33 ± 1.16 <sup>abc</sup>	6.86 ± 0.15 <sup>abcd</sup>
30	70	6.53 ± 0.35 <sup>c</sup>	14.90 ± 0.50 <sup>cde</sup>	84.33 ± 0.54 <sup>abc</sup>	6.90 ± 0.10 <sup>abc</sup>
25	75	7.93 ± 0.47 <sup>a</sup>	15.33 ± 0.40 <sup>bcde</sup>	83.66 ± 1.52 <sup>abc</sup>	6.86 ± 0.06 <sup>abcd</sup>
20	80	7.03 ± 0.49 <sup>abc</sup>	15.46 ± 1.01 <sup>abcde</sup>	82.66 ± 3.05 <sup>abc</sup>	6.80 ± 0.10 <sup>bcd</sup>
15	85	7.56 ± 0.32 <sup>ab</sup>	15.36 ± 0.40 <sup>bcde</sup>	85.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	6.90 ± 0.00 <sup>abc</sup>
10	90	7.26 ± 0.92 <sup>abc</sup>	15.46 ± 0.63 <sup>abcde</sup>	83.67 ± 4.93 <sup>abc</sup>	6.97 ± 0.57 <sup>ab</sup>
5	95	7.10 ± 0.70 <sup>abc</sup>	16.03 ± 0.66 <sup>abc</sup>	86.00 ± 2.00 <sup>ab</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
0	100	6.46 ± 0.25 <sup>c</sup>	15.26 ± 1.00 <sup>bcde</sup>	87.00 ± 1.73 <sup>a</sup>	7.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

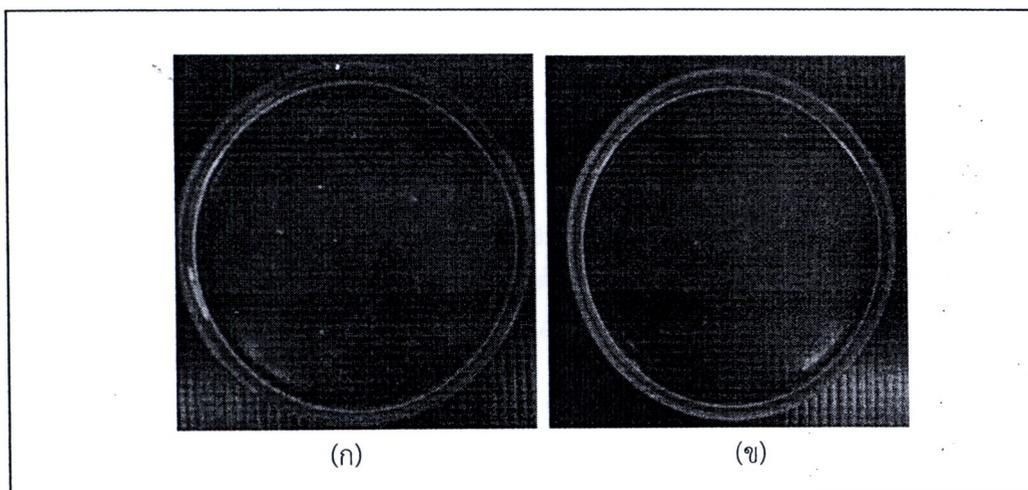
a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันแถวนี้ หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวที่จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำและกลุ่มข้าวหอมเหมือนกัน แต่ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมมะลิไทย ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ไม่ได้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยแต่อยู่ในกลุ่มข้าวหอมเท่านั้น (งามชื่น คงเสรี, 2539, หน้า 14) จากการที่ข้าวทั้ง 2 พันธุ์นี้จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำเหมือนกัน จึงส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสของตัวอย่างข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และตัวอย่างข้าวที่ผสมกันในอัตราส่วนที่ต่างต่างกันจึงมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.3) อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.3 จะพบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนเท่ากับ 55 : 45 จะมีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด ( $16.80 \pm 0.45\%$ ) และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนเท่ากับ 40 : 60 จะมีปริมาณแอมิโลสต่ำที่สุด ( $14.13 \pm 0.06\%$ )

จากการที่ปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์ทางลบ (Negative correlation) กับค่าความคงตัวของเจลและค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง กล่าวคือข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีระยะเวลาไหลของเจลแบ่งต่ำหรือค่าความคงตัวของเจลต่ำ และมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวใน

สารละลายต่างเท่ากับ 1 (เมล็ดข้าวไม่มีการสลายตัว) ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะมีค่าความคงตัวของเจลสูง และมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างเท่ากับ 6-7 (เมล็ดข้าวสลายตัวเป็นวุ้นใส) (Juliano, 1993, pp. 112; Little, Hilder & Dawson, 1958, pp. 111-126; Cagampang, Perez & Juliano, 1973, pp. 1589-1594) ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้จะพบว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำและมีปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.3) จึงส่งผลให้ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ และตัวอย่างข้าวที่ผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วย ( $p > 0.05$ ) จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความคงตัวของเจลแบ่งอยู่ในช่วง  $77.66 \pm 5.03$  ถึง  $87.00 \pm 1.73$  มิลลิเมตร โดยข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนเท่ากับ 45 : 55 จะมีค่าความคงตัวของเจลแบ่งต่ำที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% จะมีค่าความคงตัวของเจลแบ่งสูงที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% และตัวอย่างข้าวที่ผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกันมีค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในช่วง 6-7 (การตรวจสอบด้วยสายตา) แสดงว่าเมล็ดข้าวมีการสลายตัวตลอดทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นเมือกใส (ภาพที่ 4.2) จากผลการทดลองดังกล่าวจึงทำให้สรุปได้ว่าข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ไม่สามารถจำแนกออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ด้วยวิธีการตรวจสอบการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง หรือกล่าวได้ว่าวิธีการตรวจสอบการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างไม่สามารถนำมาตรวจสอบการปลอมปนข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปลอมปนได้



ภาพที่ 4.2 ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (ก) และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (ข) เมื่อแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.7% นาน 23 ชั่วโมง

คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% จะมีค่าความหนืดสูงที่สุด ( $1,869 \pm 6$  RVU) และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1

ที่อัตราส่วน 80 : 20 ( $1,819 \pm 8$  RVU) และ 55 : 45 ( $1,823 \pm 9$  RVU) จะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำที่สุดและไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากตารางที่ 4.3 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 85 : 15 ( $1,829 \pm 2$  RVU), 80 : 20 ( $1,819 \pm 8$  RVU), 75 : 25 ( $1,824 \pm 7$  RVU), 70 : 30 ( $1,828 \pm 15$  RVU), 60 : 40 ( $1,839 \pm 4$  RVU), 55 : 45 ( $1,823 \pm 9$  RVU), 50 : 50 ( $1,837 \pm 6$  RVU), 45 : 55 ( $1,830 \pm 14$  RVU), 35 : 65 ( $1,837 \pm 6$  RVU) และ 15 : 85 ( $1,836 \pm 6$  RVU) มีค่าความหนืดสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $1,843 \pm 4$  RVU) และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 95 : 5 ( $1,844 \pm 9$  RVU), 90 : 10 ( $1,842 \pm 2$  RVU), 65 : 35 ( $1,851 \pm 10$  RVU), 30 : 70 ( $1,854 \pm 3$  RVU), 25 : 75 ( $1,855 \pm 6$  RVU), 20 : 80 ( $1,861 \pm 4$  RVU), 10 : 90 ( $1,865 \pm 5$  RVU) และ 5 : 95 ( $1,843 \pm 3$  RVU) ( $p<0.05$ )

ปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าวจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดของข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าข้าวกลุ่มปริมาณปานกลาง และสูง (Meadows & Barton-II, 2002, pp. 563-566; Patindol, Gu & Wang, 2009, pp. 3-11) จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (ตารางที่ 4.3) จึงมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 อย่างไรก็ตามเมื่อนำข้าวทั้ง 2 พันธุ์มาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ จะพบว่าค่าความหนืดสูงสุดส่วนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) นอกจากนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 20 : 80 ( $1,861 \pm 4$  RVU) และ 10 : 90 ( $1,865 \pm 5$  RVU) จะมีค่าความหนืดสูงสุดแตกต่างจากข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนอื่น ๆ และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% แสดงว่าค่าความหนืดสูงสุดสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสม ที่ 80-90% ได้

ค่าการแตกตัวของแป้งสุกของตัวอย่างข้าวสารต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% มีค่าการแตกตัวของแป้งสุกต่ำที่สุด ( $1,023 \pm 9$  RVU) และแตกต่างกับค่าการแตกตัวของแป้งสุกของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ( $p<0.05$ ) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 จะพบว่าค่าการแตกตัวของแป้งสุกของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ไม่มีความแตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 95 : 5 ( $1,105 \pm 5$  RVU), 90 : 10 ( $1,109 \pm 56$  RVU), 85 : 15 ( $1,116 \pm 55$  RVU), 75 : 25 ( $1,106 \pm 3$  RVU), 70 : 30 ( $1,085 \pm 6$  RVU), 65 : 35 ( $1,088 \pm 2$  RVU) และ 60 : 40 ( $1,087 \pm 7$  RVU) ( $p>0.05$ ) ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าถ้ามีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 อยู่ในช่วง 5-40% จะไม่สามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยใช้ค่าการแตกตัวของแป้งสุกได้ แต่ถ้ามีการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ด้วยข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ 55% ขึ้นไป มีแนวโน้มที่จะตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้โดยใช้ค่าการแตกตัวของแป้งสุก (ตารางที่ 4.4)



ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนผสม (%)		คุณสมบัติด้านความหนืด (RVU)				
ข้าวดอกมะลิ 105	ปทุมธานี 1	ความหนืดสูงสุด	การแตกตัวของแป้งสุก	ค่าความคงตัวของแป้งสุก	ความหนืดสุดท้าย	ความหนืดหลังการทำเย็น
100	0	1,843 ± 4 <sup>defg</sup>	1,110 ± 8 <sup>a</sup>	-763 ± 6 <sup>jk</sup>	3,035 ± 12 <sup>j</sup>	1,649 ± 10 <sup>hi</sup>
95	5	1,844 ± 9 <sup>defg</sup>	1,105 ± 5 <sup>a</sup>	-775 ± 5 <sup>k</sup>	3,041 ± 5 <sup>j</sup>	1,649 ± 7 <sup>hi</sup>
90	10	1,842 ± 2 <sup>efghi</sup>	1,109 ± 56 <sup>a</sup>	-765 ± 5 <sup>jk</sup>	3,046 ± 6 <sup>j</sup>	1,648 ± 2 <sup>hi</sup>
85	15	1,829 ± 2 <sup>ijkl</sup>	1,116 ± 55 <sup>a</sup>	-770 ± 6 <sup>k</sup>	3,047 ± 6 <sup>j</sup>	1,632 ± 5 <sup>jk</sup>
80	20	1,819 ± 8 <sup>l</sup>	1,065 ± 12 <sup>bcde</sup>	-761 ± 2 <sup>jk</sup>	3,107 ± 5 <sup>i</sup>	1,623 ± 4 <sup>k</sup>
75	25	1,824 ± 7 <sup>kl</sup>	1,106 ± 3 <sup>a</sup>	-746 ± 6 <sup>hijk</sup>	3,144 ± 17 <sup>h</sup>	1,648 ± 4 <sup>hi</sup>
70	30	1,828 ± 15 <sup>kl</sup>	1,085 ± 6 <sup>abcd</sup>	-764 ± 10 <sup>jk</sup>	3,205 ± 6 <sup>fg</sup>	1,659 ± 6 <sup>gh</sup>
65	35	1,851 ± 10 <sup>cdef</sup>	1,088 ± 2 <sup>ab</sup>	-735 ± 11 <sup>ghi</sup>	3,222 ± 5 <sup>f</sup>	1,669 ± 4 <sup>fg</sup>
60	40	1,839 ± 4 <sup>fghij</sup>	1,087 ± 7 <sup>abc</sup>	-755 ± 6 <sup>ijk</sup>	3,202 ± 4 <sup>fg</sup>	1,653 ± 9 <sup>h</sup>
55	45	1,823 ± 9 <sup>l</sup>	1,067 ± 4 <sup>bcde</sup>	-742 ± 3 <sup>ghij</sup>	3,186 ± 4 <sup>g</sup>	1,637 ± 11 <sup>jk</sup>
50	50	1,837 ± 6 <sup>fghijk</sup>	1,071 ± 6 <sup>bcde</sup>	-726 ± 13 <sup>fg</sup>	3,253 ± 67 <sup>e</sup>	1,678 ± 4 <sup>ef</sup>
45	55	1,830 ± 14 <sup>hijkl</sup>	1,047 ± 6 <sup>ef</sup>	-728 ± 9 <sup>fg</sup>	3,260 ± 10 <sup>e</sup>	1,668 ± 18 <sup>fg</sup>
40	60	1,843 ± 4 <sup>defg</sup>	1,063 ± 4 <sup>bcde</sup>	-713 ± 12 <sup>ef</sup>	3,438 ± 9 <sup>d</sup>	1,688 ± 4 <sup>de</sup>
35	65	1,837 ± 4 <sup>ghijk</sup>	1,056 ± 4 <sup>bcdef</sup>	-712 ± 15 <sup>ef</sup>	3,475 ± 6 <sup>c</sup>	1,677 ± 6 <sup>ef</sup>
30	70	1,854 ± 3 <sup>bcde</sup>	1,066 ± 5 <sup>bcde</sup>	-700 ± 20 <sup>de</sup>	3,557 ± 12 <sup>b</sup>	1,689 ± 2 <sup>de</sup>
25	75	1,855 ± 6 <sup>bcd</sup>	1,046 ± 8 <sup>ef</sup>	-687 ± 19 <sup>d</sup>	3,555 ± 12 <sup>b</sup>	1,693 ± 4 <sup>d</sup>
20	80	1,861 ± 4 <sup>abc</sup>	1,052 ± 5.5 <sup>cdef</sup>	-666 ± 13 <sup>c</sup>	3,561 ± 11 <sup>b</sup>	1,694 ± 5 <sup>d</sup>
15	85	1,836 ± 6 <sup>ghijk</sup>	1,051 ± 10 <sup>def</sup>	-644 ± 19 <sup>b</sup>	3,578 ± 6 <sup>b</sup>	1,723 ± 7 <sup>c</sup>
10	90	1,865 ± 5 <sup>ab</sup>	1,036 ± 7 <sup>ef</sup>	-643 ± 4 <sup>b</sup>	3,621 ± 4 <sup>a</sup>	1,729 ± 11 <sup>bc</sup>
5	95	1,843 ± 3 <sup>defg</sup>	1,044 ± 7 <sup>ef</sup>	-616 ± 14 <sup>a</sup>	3,631 ± 5 <sup>a</sup>	1,741 ± 13 <sup>ab</sup>
0	100	1,869 ± 6 <sup>a</sup>	1,023 ± 9 <sup>f</sup>	-612 ± 10 <sup>a</sup>	3,647 ± 6 <sup>a</sup>	1,750 ± 9 <sup>a</sup>

a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 5 : 95 มีค่าสูงสุด ( $-616 \pm 14$  RVU) และไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ทั้ง 100% ( $-612 \pm 10$  RVU) ( $p > 0.05$ ) แต่มีความแตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 100% และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) (ตารางที่ 4.4) นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ทั้ง 100% ( $-763 \pm 6$  RVU) ไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 95 : 5 ( $-775 \pm 5$  RVU), 90 : 10 ( $-765 \pm 5$  RVU), 85 : 15 ( $-770 \pm 6$  RVU), 80 : 20 ( $-761 \pm 2$  RVU), 75 : 25 ( $-746 \pm 6$  RVU), 70 : 30 ( $-764 \pm 10$  RVU), 65 : 35 ( $-735 \pm 11$  RVU) และ 60 : 40 ( $-755 \pm 6$  RVU) ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนตั้งแต่ 55 : 45 เป็นต้นไป

ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตั้งแต่ 45% ขึ้นไป จะสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าว

ดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้โดยใช้คุณสมบัติความหนืดของแป้งด้านค่าความคงตัวของแป้งสุกในการตรวจสอบการปลอมปนดังกล่าว

ค่าความหนืดสุดท้ายของตัวอย่างข้าวสารต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยพบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% มีค่าความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด ( $3,647 \pm 6$  RVU) และไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 10 : 90 ( $3,621 \pm 4$  RVU) และ 5 : 95 ( $3,621 \pm 5$  RVU) ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) จากตารางที่ 4.4 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 95 : 5 ( $3,041 \pm 5$  RVU), 90 : 10 ( $3,046 \pm 6$  RVU) และ 85 : 15 ( $3,047 \pm 6$  RVU) ( $p > 0.05$ ) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าตัวอย่างที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในช่วง 5-15% นั้น จะไม่สามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยใช้ค่าความหนืดสุดท้ายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 70 : 30 ( $3,205 \pm 6$  RVU), 65 : 35 ( $3,222 \pm 5$  RVU), 60 : 40 ( $3,202 \pm 4$  RVU) และ 55 : 45 ( $3,186 \pm 4$  RVU) มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) เช่นเดียวกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 50 : 50 ( $3,253 \pm 67$  RVU) และ 45 : 55 ( $3,260 \pm 10$  RVU) จะมีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 30 : 70 ( $3,557 \pm 12$  RVU), 25 : 75 ( $3,555 \pm 12$  RVU), 20 : 80 ( $3,561 \pm 11$  RVU) และ 15 : 85 ( $3,578 \pm 6$  RVU) ก็มีค่าความหนืดสุดท้ายไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) เช่นเดียวกัน

สำหรับค่าความหนืดหลังการทำเย็นซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการหุงต้มและทำให้เย็น (อรอนงค์, 2544) แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $1,649 \pm 10$  RVU) มีค่าความหนืดหลังการทำเย็นไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 95 : 5 ( $1,649 \pm 7$  RVU), 90 : 10 ( $1,648 \pm 2$  RVU), 75 : 25 ( $1,648 \pm 4$  RVU) และ 60 : 40 ( $1,653 \pm 9$  RVU) ( $p > 0.05$ ) ซึ่งแสดงว่าค่าความหนืดหลังการทำเย็นไม่สามารถใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่อัตราส่วนดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมตั้งแต่ 45% ขึ้นไปมีแนวโน้มที่จะตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้ โดยอาศัยคุณสมบัติด้านความหนืดหลังการทำเย็น นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% ( $1,750 \pm 13$  RVU) จะมีค่าความหนืดหลังการทำเย็นสูงสุดแต่ไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 5 : 95 ( $1,741 \pm 13$  RVU) ( $p > 0.05$ )

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างไม่สามารถนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ แต่คุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ



105 ได้ โดยค่าความหนืดสูงสุดสามารถตรวจสอบการปลอมปนได้เมื่อข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสม 80-90% และค่าการแตกตัวของแป้งสุก ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็นสามารถตรวจสอบตัวอย่างข้าวที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมตั้งแต่ 55, 45, 20 และ 45% ขึ้นไป ตามลำดับ

4.2.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยพบว่าปริมาณโปรตีนของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันอยู่ในช่วง  $6.03 \pm 0.15$  ถึง  $7.30 \pm 0.26\%$  โดยข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 10 : 90 ( $7.30 \pm 0.26\%$ ) จะมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดและไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 35 : 65 ( $7.24 \pm 0.15\%$ ), 60 : 40 ( $7.20 \pm 0.20\%$ ), 15 : 85 ( $7.16 \pm 0.20\%$ ) และ 10 : 90 ( $7.30 \pm 0.26\%$ ) ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.5)

จากตารางที่ 4.5 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $6.20 \pm 0.17\%$ ) มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% ( $6.43 \pm 0.23\%$ ) ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแตกต่างจากงานวิจัยของงามชื่น คงเสรี (2545) ที่พบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่เพาะปลูกที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จังหวัดปทุมธานีจะมีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (8.92%) จะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (7.70%) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Patrick & Hoskins (1974) ที่พบว่าปริมาณโปรตีนในข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม วิธีการเพาะปลูก พันธุ์ข้าว และฤดูกาลเพาะปลูก นอกจากนี้จากตารางที่ 4.5 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% จะมีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ยกเว้นข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 35 : 65 ( $7.24 \pm 0.15\%$ ), 60 : 40 ( $7.20 \pm 0.20\%$ ), 15 : 85 ( $7.16 \pm 0.20\%$ ) และ 10 : 90 ( $7.30 \pm 0.26\%$ ) ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายของเมล็ดข้าว  
ในสารละลายต่างของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ใน  
อัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนผสม (%)		ปริมาณโปรตีน (%)	ปริมาณแอมิโลส (%)	ค่าความคงตัวของเจล (มม.)
ข้าวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1			
100	0	6.20 ± 0.17 <sup>def</sup>	15.68 ± 0.51 <sup>l</sup>	82.66 ± 2.08 <sup>ab</sup>
95	5	6.33 ± 0.23 <sup>cdef</sup>	16.13 ± 0.15 <sup>kl</sup>	82.33 ± 1.52 <sup>ab</sup>
90	10	6.20 ± 0.20 <sup>def</sup>	16.10 ± 0.60 <sup>kl</sup>	78.24 ± 2.51 <sup>b</sup>
85	15	6.80 ± 0.10 <sup>bc</sup>	16.56 ± 0.32 <sup>k</sup>	83.67 ± 2.08 <sup>a</sup>
80	20	6.20 ± 0.26 <sup>def</sup>	16.43 ± 0.40 <sup>k</sup>	79.00 ± 2.00 <sup>b</sup>
75	25	6.66 ± 0.40 <sup>cd</sup>	17.23 ± 0.20 <sup>j</sup>	72.56 ± 2.30 <sup>c</sup>
70	30	6.03 ± 0.15 <sup>f</sup>	17.44 ± 0.15 <sup>j</sup>	71.35 ± 2.51 <sup>cd</sup>
65	35	6.23 ± 0.20 <sup>def</sup>	18.15 ± 0.25 <sup>i</sup>	68.00 ± 2.01 <sup>de</sup>
60	40	7.20 ± 0.20 <sup>ab</sup>	18.38 ± 0.31 <sup>i</sup>	66.87 ± 1.53 <sup>ef</sup>
55	45	6.43 ± 0.35 <sup>cdef</sup>	18.46 ± 0.20 <sup>i</sup>	64.00 ± 2.05 <sup>ef</sup>
50	50	6.63 ± 0.37 <sup>cde</sup>	18.70 ± 0.26 <sup>hi</sup>	63.00 ± 1.00 <sup>fg</sup>
45	55	6.50 ± 0.52 <sup>cdef</sup>	18.45 ± 0.32 <sup>i</sup>	64.45 ± 3.51 <sup>ef</sup>
40	60	6.23 ± 0.22 <sup>def</sup>	19.16 ± 0.19 <sup>h</sup>	63.00 ± 2.64 <sup>fg</sup>
35	65	7.24 ± 0.15 <sup>ab</sup>	19.73 ± 0.18 <sup>g</sup>	59.00 ± 1.00 <sup>gh</sup>
30	70	6.22 ± 0.18 <sup>def</sup>	21.42 ± 0.42 <sup>f</sup>	57.00 ± 2.65 <sup>h</sup>
25	75	6.13 ± 0.06 <sup>ef</sup>	21.40 ± 0.36 <sup>f</sup>	55.01 ± 2.00 <sup>h</sup>
20	80	6.30 ± 0.30 <sup>cdef</sup>	22.50 ± 0.17 <sup>e</sup>	47.68 ± 5.68 <sup>ij</sup>
15	85	7.16 ± 0.20 <sup>ab</sup>	23.46 ± 0.41 <sup>d</sup>	50.35 ± 3.05 <sup>i</sup>
10	90	7.30 ± 0.26 <sup>a</sup>	24.70 ± 0.20 <sup>c</sup>	43.67 ± 2.08 <sup>jk</sup>
5	95	6.40 ± 0.26 <sup>cdef</sup>	25.70 ± 0.17 <sup>b</sup>	43.36 ± 2.09 <sup>k</sup>
0	100	6.43 ± 0.23 <sup>cdef</sup>	26.40 ± 0.26 <sup>a</sup>	41.69 ± 2.07 <sup>k</sup>

a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณแอมิโลสของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $15.68 \pm 0.51\%$ ) มีปริมาณต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกับกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 95 : 5 ( $16.13 \pm 0.15\%$ ) และ 90 : 10 ( $16.10 \pm 0.60\%$ ) ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนผสมอื่น ๆ และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% ( $p < 0.05$ ) ซึ่งมีสาเหตุมาจากข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (งามชื่น คงเสรี, 2545, หน้า 42) จึงส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสในตัวอย่างข้าวมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าปริมาณแอมิโลสสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้ ถ้าในตัวอย่างข้าวสารนั้นมีปริมาณข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตั้งแต่ 15% เป็นต้นไป

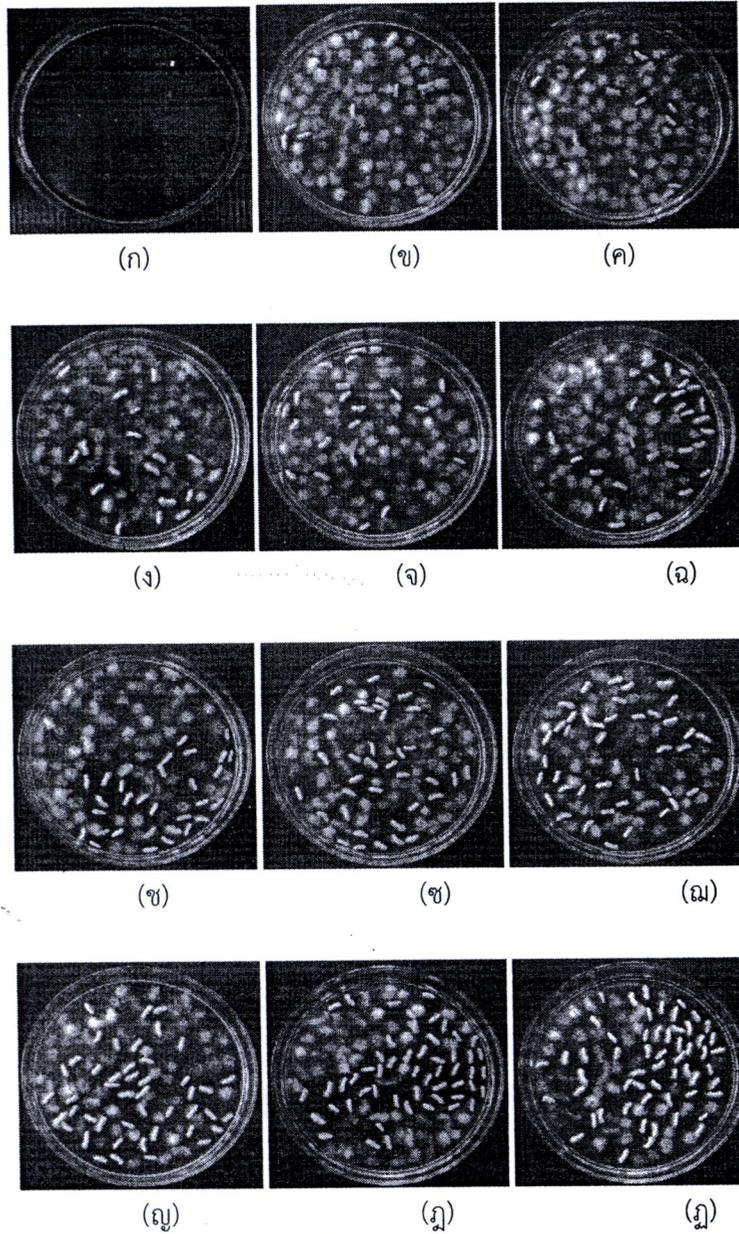
ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีค่าความคงตัวของเจลสูง กล่าวคือ แป้งสุกจะมีลักษณะอ่อน ระยะเวลาที่เจลแบ่งไหลอยู่ในช่วง 61-100 มิลลิเมตร ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวที่มีค่าความคงตัวของเจลต่ำ แป้งสุกมีลักษณะแข็ง ระยะเวลาที่เจลแบ่งไหลอยู่

ในช่วง 26-40 มิลลิเมตร (งามชื่น คงเสรี, 2545, หน้า 44) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์ใช้ค่าความคงตัวของเจลในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

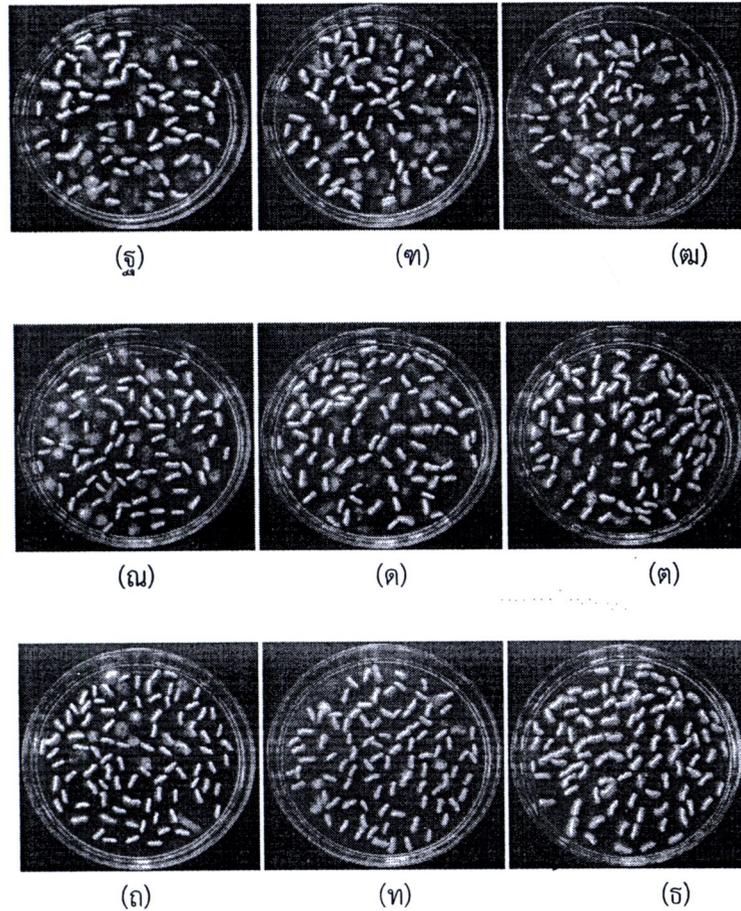
จากตารางที่ 4.5 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $82.66 \pm 2.08$  มิลลิเมตร) มีค่าความคงตัวของเจลสูงที่สุดและไม่แตกต่างกับกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 95 : 5 ( $82.33 \pm 1.52$  มิลลิเมตร), 90 : 10 ( $78.24 \pm 2.51$  มิลลิเมตร), 85 : 15 ( $83.67 \pm 2.08$  มิลลิเมตร) และ 80 : 20 ( $79.00 \pm 2.00$  มิลลิเมตร) ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างกับตัวอย่างข้าวที่มีปริมาณข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตั้งแต่ 25% ขึ้นไป และข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 แท้ 100% ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นค่าความคงตัวของเจลแบ่งจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 ผสมตั้งแต่ 25% ขึ้นไป

สำหรับค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง แสดงดังภาพที่ 4.3 โดยพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างจะอยู่ในช่วง 6-7 คือ เมล็ดข้าวสลายตัวตลอดทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นเมือกใส (ภาพที่ 4.3ก) ซึ่งตรงข้ามกับข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 100% ที่มีระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในช่วง 1-2 กล่าวคือเมล็ดข้าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงถึงเมล็ดข้าวมีการพองตัวเล็กน้อย (ภาพที่ 4.3ข) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prathepha *et al.* (2005) และงามชื่น คงเสรี (2545) ที่พบว่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวเหนียวซึ่งอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมากจะแตกต่างกับข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยข้าวเหนียวจะมีค่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างเฉลี่ย 6-7 ในขณะที่ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวเจ้าจะอยู่ในช่วง 1-3 ซึ่งสาเหตุดังกล่าวเกิดจากความยาวของสายแอมิโลเพกทิน Umemoto *et al.* (2002) รายงานว่าสตาร์ชข้าวที่มีองค์ประกอบของแอมิโลเพกทินสายสั้นสูงจะแตกตัวได้ง่ายกว่าสตาร์ชข้าวที่มีแอมิโลเพกทินสายยาวในปริมาณที่สูง

อย่างไรก็ตาม Nakamura *et al.* (2002) พบว่าปริมาณแอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 ผสมตั้งแต่ 5% ขึ้นไปจะมีระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างแตกต่างกันอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4.3ข-ค) ดังนั้น ค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ชัณษาท 1 ได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.3 ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 100% (ก) ข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วน เท่ากับ 95 : 5 (ข), 90 : 10 (ค), 85 : 15 (ง), 80 : 20 (จ), 75 : 25 (ฉ), 70 : 30 (ช), 65 : 35 (ซ), 60 : 40 (ฌ), 55 : 45 (ญ), 50 : 50 (ฎ), 45 : 55 (ฏ)



ภาพที่ 4.3 ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 40 : 60 (จ), 35 : 65 (ฉ), 30 : 70 (ค), 25 : 75 (ณ), 20 : 80 (ด), 15 : 85 (ต), 10 : 90 (ถ), 5 : 95 (ท) และข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 100% (ธ) (ต่อ)

คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดสูงสุดของตัวอย่างข้าวสารอยู่ในช่วง  $1,223 \pm 4$  RVU ถึง  $1,849 \pm 11$  RVU โดยข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าความหนืดสูงสุดต่ำที่สุด และข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 ( $1,849 \pm 11$  RVU) มีค่าความหนืดสูงสุดและไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนเท่ากับ 95 : 5 ( $1,836 \pm 6$  RVU) และข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 100% ( $1,843 \pm 4$  RVU) ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% มีความแตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 15% ขึ้นไป และข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% ( $p < 0.05$ ) โดยค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลสจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งที่อุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$  จึงส่งผลให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

ซึ่งเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ (Patindol *et al.*, 2009 ; งามชื่น, 2545) ดังนั้น จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าค่าความหนืดสูงสุดสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 15% เป็นต้นไป

ค่าการแตกตัวของแป้งสุกมีแนวโน้มลดลงเมื่อข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ผสมในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6 โดยข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $1,110 \pm 8$  RVU) มีค่าการแตกตัวของแป้งสุกสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 55, 60, 65, 70, 80, 75, 85, 90 และ 95% ตามลำดับ และข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% มีค่าการแตกตัวของแป้งสุกต่ำที่สุด ( $776 \pm 4$  RVU) ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องจากค่าการแตกตัวของแป้งสุกมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณแอมิโลส (Patindol, Gu & Wang, 2009, pp. 3-11) ดังนั้นเมื่อตัวอย่างข้าวสารมีปริมาณข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นด้วย (ตารางที่ 4.5) และส่งผลให้ค่าการแตกตัวของแป้งสุกลดลง นอกจากนี้จากตารางที่ 4.6 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% มีค่าการแตกตัวของแป้งสุกแตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันและข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% ( $p < 0.05$ ) ดังนั้น การตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 สามารถใช้คุณสมบัติความหนืดของแป้งด้านค่าการแตกตัวของแป้งสุกมาตรวจสอบได้

ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็นมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณแอมิโลส กล่าวคือเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความคงตัวของแป้งสุก ความหนืดสุดท้าย และความหนืดหลังการทำเย็นเพิ่มขึ้นด้วย (Meadows & Barton-II, 2002, pp. 563-566; Patindol, Gu & Wang, 2009, pp. 3-11) จากตารางที่ 4.6 จึงพบว่าข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% มีค่าความคงตัวของแป้งสุก ความหนืดสุดท้าย และความหนืดหลังการทำเย็นสูงที่สุด และมีความแตกต่างทางสถิติกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ( $p > 0.05$ ) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองจะพบว่าข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% มีค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็นไม่แตกต่างกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่เท่ากับ 95 : 5 ( $p > 0.05$ ) ดังนั้น การตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็นจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เมื่อตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมหรือปลอมปนตั้งแต่ 10% เป็นต้นไป

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนผสม (%)		คุณสมบัติด้านความหนืด (RVU)				
ข้าวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1	ความหนืดสูงสุด	การแตกตัวของแป้งสุก	ค่าความคงตัวของแป้งสุก	ความหนืดสุดท้าย	ความหนืดหลังการทำเย็น
100	0	1,843 ± 4 <sup>a</sup>	1,110 ± 8 <sup>a</sup>	-763 ± 6 <sup>p</sup>	3,035 ± 12 <sup>o</sup>	1,649 ± 10 <sup>o</sup>
95	5	1,836 ± 6 <sup>a</sup>	1,069 ± 12 <sup>b</sup>	-739 ± 4 <sup>p</sup>	3,059 ± 12 <sup>no</sup>	1,675 ± 5 <sup>no</sup>
90	10	1,849 ± 11 <sup>a</sup>	1,049 ± 7 <sup>c</sup>	-664 ± 16 <sup>o</sup>	3,084 ± 9 <sup>n</sup>	1,691 ± 9 <sup>mn</sup>
85	15	1,754 ± 6 <sup>b</sup>	1,038 ± 7 <sup>c</sup>	-610 ± 3 <sup>n</sup>	3,120 ± 9 <sup>m</sup>	1,715 ± 12 <sup>m</sup>
80	20	1,687 ± 4 <sup>c</sup>	1,003 ± 4 <sup>de</sup>	-578 ± 5 <sup>n</sup>	3,184 ± 4 <sup>l</sup>	1,719 ± 64 <sup>m</sup>
75	25	1,675 ± 7 <sup>c</sup>	1,012 ± 3 <sup>d</sup>	-521 ± 11 <sup>m</sup>	3,190 ± 58 <sup>l</sup>	1,822 ± 11 <sup>l</sup>
70	30	1,648 ± 4 <sup>cd</sup>	994 ± 4 <sup>e</sup>	-465 ± 14 <sup>l</sup>	3,260 ± 3 <sup>k</sup>	1,853 ± 9 <sup>k</sup>
65	35	1,621 ± 5 <sup>d</sup>	962 ± 10 <sup>f</sup>	-424 ± 5 <sup>kl</sup>	3,287 ± 5 <sup>jk</sup>	1,931 ± 10 <sup>j</sup>
60	40	1,571 ± 10 <sup>e</sup>	961 ± 7 <sup>f</sup>	-384 ± 8 <sup>jk</sup>	3,290 ± 4 <sup>j</sup>	2,015 ± 9 <sup>i</sup>
55	45	1,471 ± 3 <sup>f</sup>	940 ± 10 <sup>g</sup>	-359 ± 6 <sup>j</sup>	3,308 ± 16 <sup>ij</sup>	2,125 ± 6 <sup>h</sup>
50	50	1,452 ± 11 <sup>fg</sup>	911 ± 11 <sup>i</sup>	-295 ± 7 <sup>i</sup>	3,327 ± 15 <sup>hi</sup>	2,335 ± 11 <sup>g</sup>
45	55	1,450 ± 3 <sup>fg</sup>	925 ± 4 <sup>h</sup>	-280 ± 15 <sup>i</sup>	3,343 ± 17 <sup>gh</sup>	2,356 ± 10 <sup>g</sup>
40	60	1,440 ± 8 <sup>fg</sup>	886 ± 13 <sup>j</sup>	-220 ± 6 <sup>h</sup>	3,364 ± 13 <sup>fg</sup>	2,472 ± 10 <sup>f</sup>
35	65	1,423 ± 14 <sup>g</sup>	890 ± 6 <sup>j</sup>	-174 ± 7 <sup>gh</sup>	3,372 ± 10 <sup>f</sup>	2,473 ± 9 <sup>e</sup>
30	70	1,370 ± 5 <sup>h</sup>	877 ± 7 <sup>j</sup>	-153 ± 13 <sup>g</sup>	3,390 ± 6 <sup>f</sup>	2,512 ± 15 <sup>d</sup>
25	75	1,370 ± 10 <sup>h</sup>	851 ± 9 <sup>k</sup>	-125 ± 14 <sup>f</sup>	3,391 ± 4 <sup>f</sup>	2,527 ± 14 <sup>d</sup>
20	80	1,345 ± 6 <sup>h</sup>	853 ± 7 <sup>k</sup>	354 ± 9 <sup>e</sup>	3,422 ± 10 <sup>e</sup>	2,639 ± 13 <sup>c</sup>
15	85	1,323 ± 10 <sup>i</sup>	841 ± 3 <sup>k</sup>	461 ± 10 <sup>d</sup>	3,450 ± 6 <sup>d</sup>	2,872 ± 4 <sup>b</sup>
10	90	1,280 ± 5 <sup>j</sup>	820 ± 8 <sup>l</sup>	617 ± 6 <sup>c</sup>	3,573 ± 12 <sup>c</sup>	2,927 ± 11 <sup>a</sup>
5	95	1,242 ± 2 <sup>jk</sup>	810 ± 9 <sup>l</sup>	730 ± 2 <sup>b</sup>	3,675 ± 8 <sup>b</sup>	2,951 ± 9 <sup>a</sup>
0	100	1,223 ± 4 <sup>k</sup>	776 ± 4 <sup>m</sup>	887 ± 4 <sup>a</sup>	3,885 ± 6 <sup>a</sup>	2,972 ± 8 <sup>a</sup>

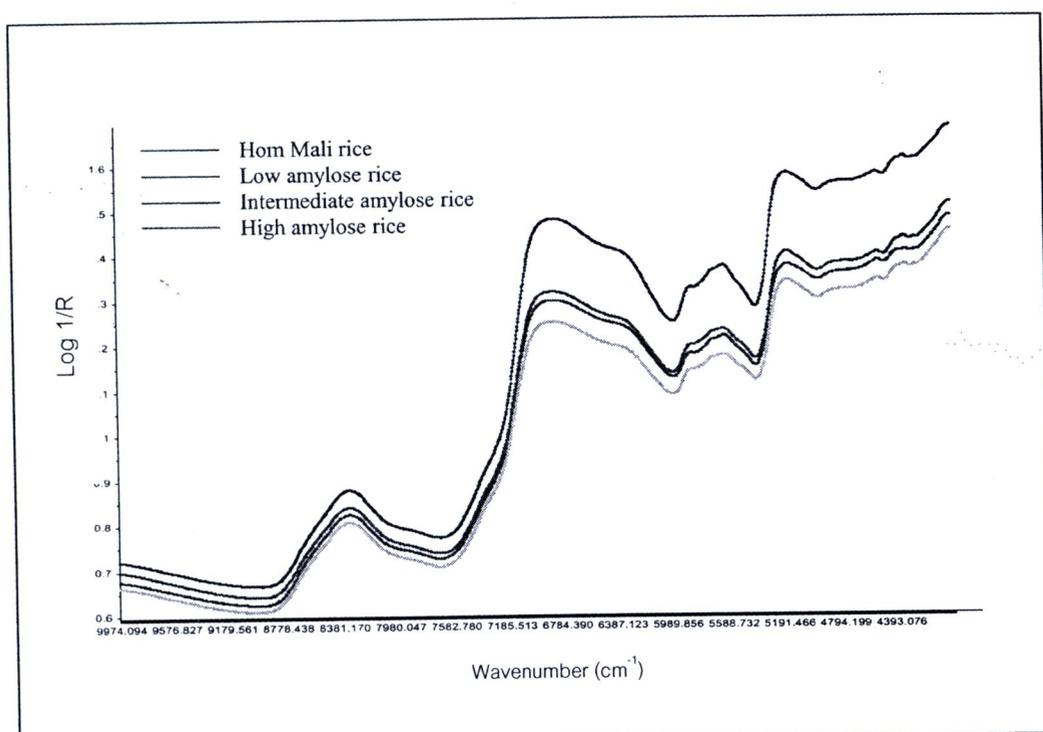
a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดลองดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 นั้น การตรวจสอบระดับค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างนั้นให้ผลการตรวจสอบที่แม่นยำมากที่สุด ในขณะที่ปริมาณแอมิโลส ค่าการแตกตัวของแป้งสุกสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้เช่นเดียวกัน โดยปริมาณแอมิโลสสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้เมื่อมีปริมาณข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 15% ขึ้นไป และ 25% ขึ้นไปเมื่อตรวจสอบโดยใช้ค่าความคงตัวของเจล อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวไม่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดสามารถนำมาใช้ตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้เช่นเดียวกัน โดยค่าความหนืดสูงสุดสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เมื่อมีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 15% ขึ้นไป ในขณะที่ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็น สามารถตรวจสอบการปลอมปนของข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ได้ เมื่อมีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 10% ขึ้นไป อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้พบว่าค่าการแตกตัวของ

แป้งสุกสามารถตรวจสอบการปลอมปนของข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้เมื่อมีข้าวสารพันธุ์ชยันนาท 1 ผสมเพียง 5% เท่านั้น

#### 4.3 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

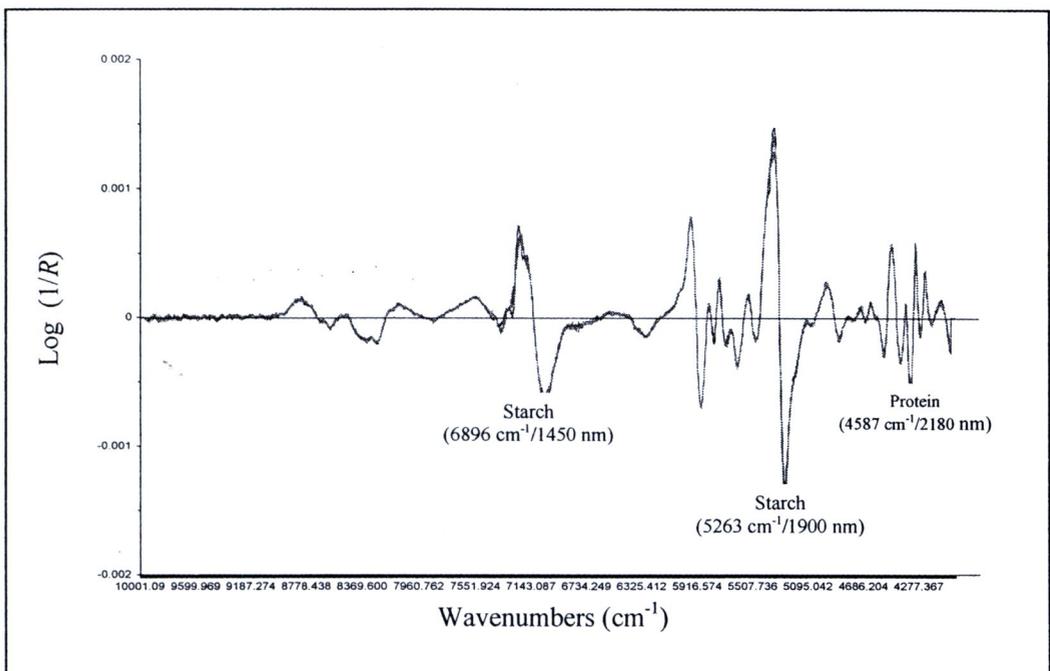
การวัดค่าการดูดกลืนแสงของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดด้วยเครื่องสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  (1,100-2,500 นาโนเมตร) ลักษณะของสเปคตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ของข้าวหอมมะลิ ข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวปริมาณแอมิโลสสูง แสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่าลักษณะรูปแบบของสเปคตรัมข้าวสารหอมมะลิที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้มีค่าการดูดกลืนแสงหรือค่า  $\log 1/R$  สูงกว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ กลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีแอมิโลสสูง ตามลำดับ ซึ่ง Osborne *et al.* (1993) รายงานว่าค่าการดูดกลืนแสงของสเปคตรัมที่แตกต่างกันอาจเนื่องจากองค์ประกอบภายในของข้าวแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าว



ภาพที่ 4.4 ลักษณะของสเปคตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดกลุ่มข้าวหอมมะลิ ข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวปริมาณแอมิโลสสูงที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าลักษณะสเปคตรัมมีการซ้อนทับกันของพีคและพีคแยกออกจากกันไม่ชัดเจน อาจเป็นผลจากการเกิดการกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบกับตัวอย่างเนื่องจากตัวอย่างข้าวสารเต็มเมล็ดมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อการสร้างสมการทำนายวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

กายภาพของข้าว การวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณรวมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานรวมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง ซึ่งผลจากการปรับแต่งสเปกตรัมพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองจะทำให้ได้สเปกตรัมที่มีฐานแคบและจุดยอดแยกกันอย่างชัดเจนแต่มีลักษณะกลับหัวลงมาด้านล่าง แสดงดังภาพที่ 4.5 โดยพบว่าแต่ละความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับพันธะเคมีที่แตกต่างกัน คือ จำนวนคลื่นที่  $6,900\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H ในโมเลกุลน้ำในข้าวซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 13-14% และจำนวนคลื่นที่  $6,896$  และ  $5,263\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H, C-O และ C-H ในสตาร์ช ขึ้นอยู่กับการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) การสั่นแบบงอของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H bending) และการสั่นผลรวมแบบยืดของหมู่คาร์บอน-ออกซิเจน (C-O stretching combination) (Osborne *et al.*, 1993, pp. 77-83; Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262)



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

นอกจากนี้ Parker (1983) พบว่าพีคของโมเลกุลเอมีโลสจะมี การสั่นแบบยืดของหมู่  $\text{CH}_2$  ที่จำนวนคลื่น  $5,128\text{ cm}^{-1}$  (1,950 นาโนเมตร)  $4,063\text{ cm}^{-1}$  (2,461 นาโนเมตร) และ  $4,019\text{ cm}^{-1}$  (2,488 นาโนเมตร) และจากภาพที่ 4.5 ยังพบของโปรตีนที่วัดค่าการดูดกลืนแสงในรูปของกลุ่มเอไมด์ และหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอน-ไฮโดรเจน (C-H functional groups) ที่พบช่วงจำนวนคลื่น  $4,587\text{ cm}^{-1}$  (2,180 นาโนเมตร) (Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262)

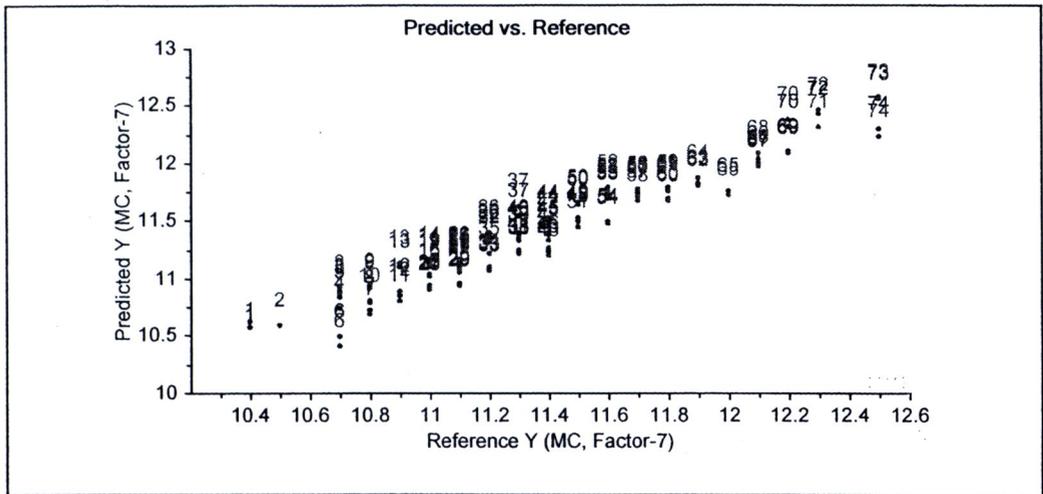


#### 4.4 การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด

การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณภาพที่ทำการศึกษา ทำได้โดยนำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดทั้ง 60 ตัวอย่าง แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) และกำหนดให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวขนาดเต็มเมล็ด ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าว เป็นตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน หรือ PLSR เพื่อสร้างสมการทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดดังกล่าว สมการที่เหมาะสมควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการสูง ( $r^2_{val}$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ PLSR (RMSEP) ต่ำ การสร้างสมการสำหรับทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด มีรายละเอียดดังนี้

##### 4.4.1 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณโปรตีน

เมื่อนำสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัม (ตัวแปร X) มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี (ตัวแปร Y) ด้วยวิธีทางสถิติ PLSR พบว่าสมการที่เหมาะสม คือ สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ มีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 7 แฟกเตอร์ และสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง ( $r^2_{val}$ ) ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ PLSR (RMSEP) และค่า RDP เท่ากับ 0.87, 1.64% และ 2.58 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 Parker (1983) พบว่าโปรตีนในข้าวสามารถตรวจพบได้จากแถบเอไมด์ 1 (Amide I band) จำนวนคลื่นที่  $1,660\text{ cm}^{-1}$  และวงแหวนกรดอะมิโน (Aromatic amino acids) จำนวนคลื่นที่  $1,613\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Himmelsbach *et al.* (2001) พบว่าสมการทำนายค่าโปรตีนที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วงจำนวนคลื่นที่  $200\text{--}1,795\text{ cm}^{-1}$  และ  $2,050\text{--}3,570\text{ cm}^{-1}$  เมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์/รามาน (NIR-FT/Raman spectroscopy)



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

นอกจากนี้ Navasearttavisoot (2004) ยังพบว่าจำนวนคลื่นที่ 5,882 และ 5,050  $\text{cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนมาก โดยแต่ละตำแหน่งจะมีความเกี่ยวข้องกับพันธะเคมีที่ต่างกันไป คือ จำนวนคลื่นที่ 5,882  $\text{cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ C-H และจำนวนคลื่นที่ 5,050  $\text{cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้น สมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR จำนวนคลื่นช่วง 10,000-400  $\text{cm}^{-1}$  จะครอบคลุมข้อมูลที่เกี่ยวกับปริมาณโปรตีน อย่างไรก็ตามผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าสมการที่เหมาะสมในการทำนายปริมาณโปรตีนมีค่าค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการสูงกว่าผลการวิจัยของ Barton *et al.* (1998) ได้ทำการตรวจสอบปริมาณโปรตีนของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดและแป้งข้าวที่ปลูกในสหรัฐอเมริกาด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงจำนวนคลื่น 10,000-400  $\text{cm}^{-1}$  พบว่าสมการทำนายค่าปริมาณโปรตีนของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดและแป้งข้าวจะมีค่า RMSEP เท่ากับ 0.25 และ 0.18% ตามลำดับ นอกจากนี้จากผลการวิจัยของ Choi & Kim (2000) ยังพบว่าการตรวจสอบปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องพันธุ์ Dongjin, Jlpum และ Chucheong ด้วยการทดสอบแบบทีละเมล็ด (Single grain kernel) ที่จำนวนคลื่นช่วง 10,000-400  $\text{cm}^{-1}$  พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการน้อยกว่า 0.479%

#### 4.4.2 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลสในข้าวสามารถพบได้จากแถบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{CH}_2$  ที่จำนวนคลื่นที่ 2,905 และ 2,490  $\text{cm}^{-1}$  (Himmelsbach *et al.*, 2001) นอกจากนี้ Parker (1983) ยังพบว่าปริมาณแอมิโลสสามารถพบได้ที่แถบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{CH}_2$  ช่วงจำนวนคลื่นที่ 5,128, 4,063 และ 4019  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ จากเหตุผลดังกล่าวการสร้างสมการสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลสจึงเลือกจำนวนคลื่นสำหรับสร้างสมการ 2 ช่วง ได้แก่ 8,620-5,128  $\text{cm}^{-1}$  และ 7,142-4,012  $\text{cm}^{-1}$  เพื่อเปรียบเทียบว่าช่วงจำนวนคลื่นใดที่เหมาะสมสำหรับสร้างสมการทำนายค่า

ปริมาณแอมิโลสด้วยวิธี PLSR มากที่สุดเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องสูง และค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการต่ำที่สุด

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7 พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลส คือ สมการที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมเริ่มต้นช่วงจำนวนคลื่น  $8,620-5,128 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 3 แฟกเตอร์ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และ RPD เท่ากับ 0.88, 1.14% และ 2.26 ตามลำดับ โดยพบว่าจำนวนคลื่นที่ตำแหน่ง 6,896 และ  $5,263 \text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณแอมิโลสมาก เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับพันธะ C-H และโมเลกุลของสตาร์ซซึ่งพันธะและโมเลกุลที่เกี่ยวข้องนั้นมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของแอมิโลสและโมเลกุลสตาร์ซที่เป็นองค์ประกอบหลักภายในข้าว นอกจากนี้ Tsuchikawa *et al.* (2003) พบว่าจำนวนคลื่นที่ตำแหน่ง 7,042 และ  $6,775 \text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับส่วนอสัณฐาน (Amorphous regions) ของโครงสร้างของเม็ดแป้ง

จากผลการทดลองพบว่า สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณแอมิโลสในงานวิจัยครั้งนี้มีความแม่นยำกว่ารายงานการวิจัยของ Delwiche *et al.* (1996) ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการสะท้อนกลับของแสงช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 นาโนเมตร พบว่าสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.887 และค่า SEP เท่ากับ 1.33% ตามลำดับ

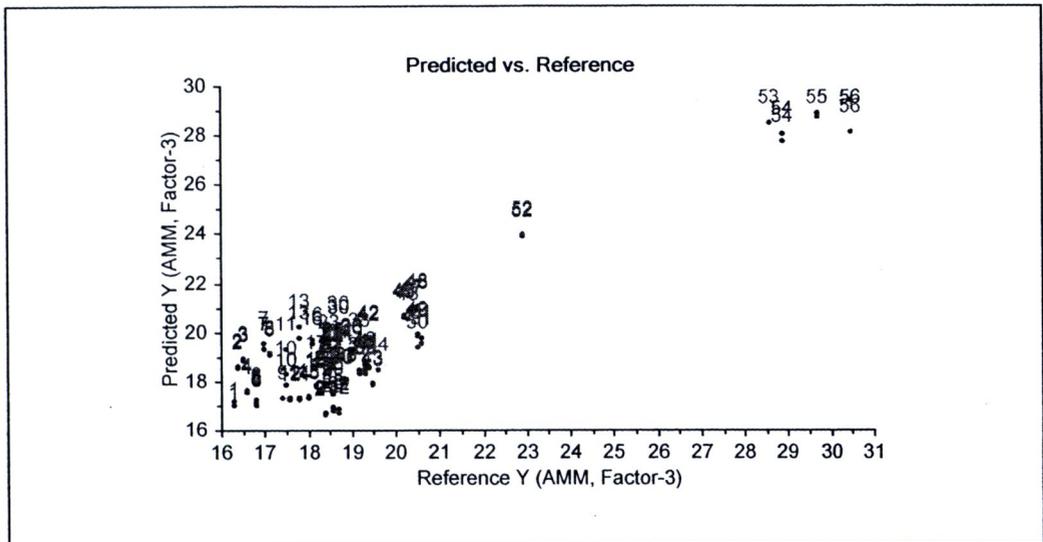
ตารางที่ 4.7 สรุปสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดด้วยวิธี PLSR

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม <sup>1)</sup>	จำนวนคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	แพกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ (Calibration set)		กลุ่มการทวนสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set)		RPD <sup>2)</sup>
				RMSEC	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	RMSEP	r <sup>2</sup> <sub>val</sub>	
ปริมาณโปรตีน (%)	MSC	10,000-4,000	7	1.01	0.95	1.64	0.87	2.58
ปริมาณแอมิโลส (%)	Original	8,620-5,128	3	1.02	0.89	1.14	0.88	2.26
ค่าความคงตัวของเจล (มม.)	SNV+SavGol_2 <sup>nd</sup> deriv	10,000-4,000	5	2.01	0.95	3.20	0.88	2.41
ค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่าง	MSC	10,000-4,000	6	0.44	0.91	0.52	0.86	2.43

หมายเหตุ: <sup>1)</sup> MSC คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และ SNV คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

<sup>2)</sup> RPD คือ สัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

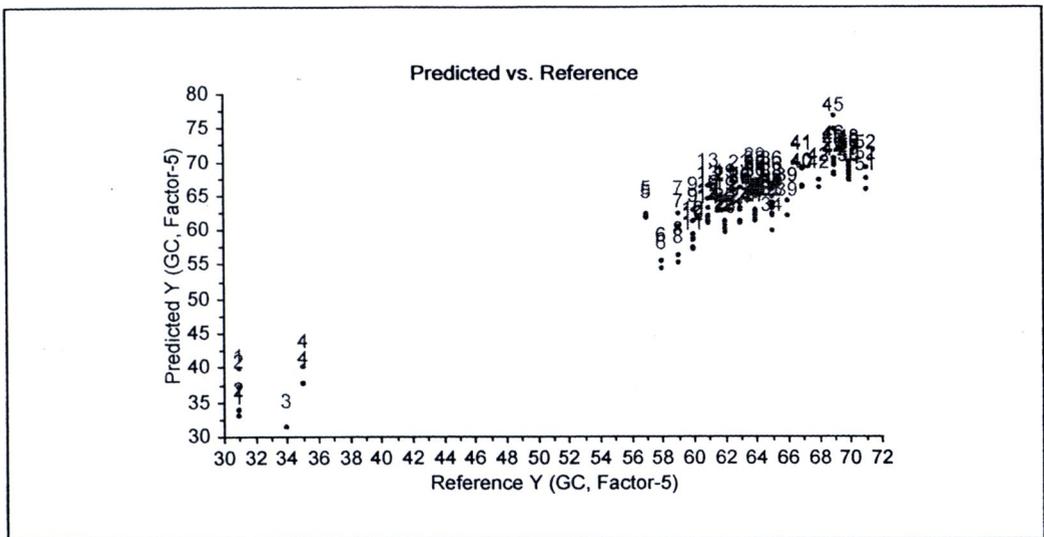
นอกจากนี้ยังพบว่าสมการสำหรับทำนายปริมาณแอมิโลสดังกล่าวยังมีความแม่นยำกว่าสมการทำนายปริมาณแอมิโลสของ Shimizu *et al.* (1999) ซึ่งตรวจสอบปริมาณแอมิโลสในข้าวญี่ปุ่นขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการส่องผ่านของแสงช่วงความยาวคลื่น 833-1,050 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLSR พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลสมีค่า SEP เท่ากับ 1.25% และเมื่อนำสมการที่สร้างขึ้นมาตรวจสอบความแม่นยำของสมการพบว่า มีความแม่นยำน้อยเนื่องจากปริมาณแอมิโลสของตัวอย่างข้าวญี่ปุ่นที่นำมาสร้างสมการมีค่าในช่วงแคบ คือ 13.2-20.7% ในขณะที่ Bao, Cai & Corke (2001) ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบสะท้อนกลับช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวด้วยวิธีทางสถิติ PLSR พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณแอมิโลสนั้นมีค่า SEP สูงถึง 1.39%



ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณแอมโมไลสระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

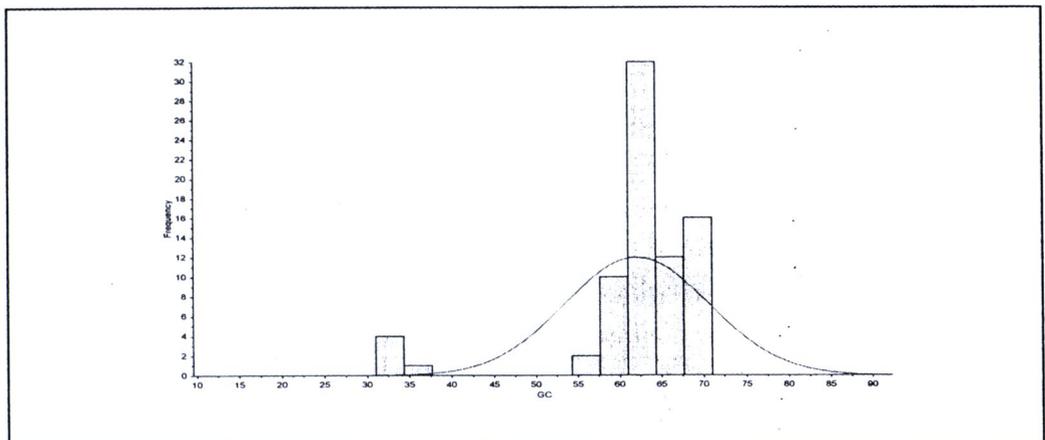
#### 4.4.3 การสร้างสมการทำนายค่าความคงเจล

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความคงตัวของเจลข้าวสาร คือ สมการที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 4 แพกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่า RPD เท่ากับ 0.88, 3.20 มิลลิเมตร และ 2.41 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) โดยพบว่าสมการดังกล่าวมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำสำหรับการทำนายค่าความคงตัวของเจลของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ด อย่างไรก็ตาม Bao, Cai & Corke (2001) สรุปรว่าสมการที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบค่าความคงตัวของเจลแป้งข้าวที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.81 และมีค่า SEP เท่ากับ 7.12 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวได้ นอกจากนี้สมการดังกล่าวยังสามารถอธิบายได้ด้วยการเปรียบเทียบค่าความคงตัวของเจลที่วิเคราะห์ได้ทางเคมีกับค่าที่ได้จากการสมการ แสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของเจลระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

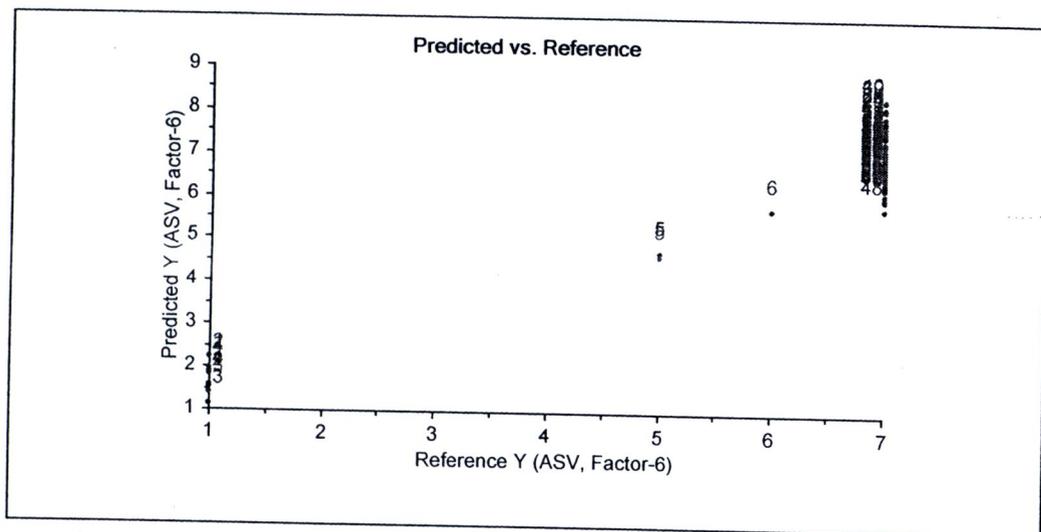
จากภาพที่ 4.8 พบว่าค่าความคงตัวของเจลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเจลแป็งนุ่มซึ่งเป็นลักษณะของข้าวหอมมะลิและข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ โดยเฉพาะตัวอย่างข้าวหอมมะลิซึ่งมีจำนวนมากในการวิจัยครั้งนี้ ในขณะที่กลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ปริมาณแอมิโลสปานกลาง และปริมาณแอมิโลสสูงมีจำนวนน้อย จึงส่งผลให้การกระจายค่าทางเคมีไม่เป็นแบบปกติ (Non-normal distribution) (ภาพที่ 4.9) และมีผลทำให้ค่าทำนายมีค่าน้อยกว่าค่าจริงและสมการมีความแม่นยำต่ำ (รณฤทธิ์ ฤทธิริน, 2552, หน้า 112) เพื่อลดปัญหาดังกล่าวควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้าวทั้ง 3 กลุ่มให้มีจำนวนตัวอย่างใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิเพื่อให้การกระจายค่าทางเคมีเป็นแบบสม่ำเสมอ



ภาพที่ 4.9 การกระจายค่าทางเคมีแบบไม่เป็นปกติของค่าความคงตัวของเจล

#### 4.4.4 การสร้างสมการทำนายค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 6 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง และค่า RPD เท่ากับ 0.86, 0.52 ของค่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Units on a 1-7 visual scale), และ 2.43 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

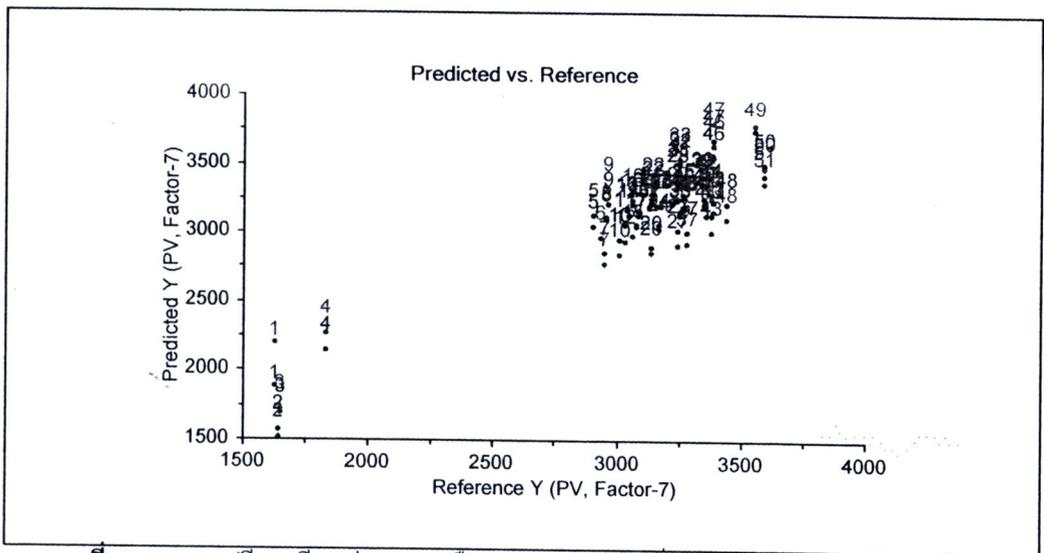
จากการศึกษารายงานการวิจัย พบว่าสมการสำหรับทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ที่สร้างขึ้นนั้นไม่ค่อยมีความแม่นยำในการทำนายค่าทางเคมีดังกล่าว โดย Delwiche *et al.* (1996) ตรวจสอบระดับการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างความเข้มข้น 1.5% ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 1,140-1,800 นาโนเมตร ด้วยวิธีทางสถิติ PLSR พบว่าสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 6 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่า SEP และ Bias เท่ากับ 0.822, 0.43 และ -0.08 ตามลำดับ โดย Wadsworth (1994) อธิบายว่าค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำที่ความยาวคลื่น 1,930 และ 1,450 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม Srisawas (2009) พบว่าเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างได้ โดยสมการที่เหมาะสมสร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับให้ราบเรียบ (Smoothing) แต่มีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่สูงถึง 19 แฟกเตอร์ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูงถึง 0.806 และมีค่า SEP เท่ากับ 0.545 ซึ่งสมการที่มีตัว

แปรใหม่สูงถึง 19 แฟกเตอร์นั้นยังไม่มีความแม่นยำในการทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

#### 4.4.5 การสร้างสมการสำหรับทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าว

##### 4.4.5.1 ค่าความหนืดสูงสุด

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดสูงสุดของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 7 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ เท่ากับ 0.78 และ 209 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า RPD เท่ากับ 1.79



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)



ตารางที่ 4.8 สรุปสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายคุณสมบัติน้ำตาลของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดด้วยวิธี PLSR

คุณสมบัติด้านความหนืด (RVU)	วิธีการปรับแต่งสเปคตรัม <sup>1)</sup>	จำนวนคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ (Calibration set)		กลุ่มการทวนสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set)		RPD <sup>2)</sup>
				RMSEC	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	RMSEP	r <sup>2</sup> <sub>val</sub>	
				ค่าความหนืดสูงสุด	MSC	10,000-4,000	7	
ค่าการแตกตัวของแป้งสุก	Original	10,000-4,000	5	88	0.85	106	0.79	1.83
ค่าความคงตัวของแป้งสุก	Original	10,000-4,000	6	195	0.92	237	0.89	2.68
ค่าความหนืดสุดท้าย	MSC + Sav.Gol_2nd deriv <sup>4)</sup>	10,000-4,000	3	151	0.86	181	0.80	2.68
ค่าความหนืดหลังการทำเ็น	MSC	10,000-4,000	5	111	0.85	141	0.77	1.72

หมายเหตุ: <sup>1)</sup> MSC คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และ SNV คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

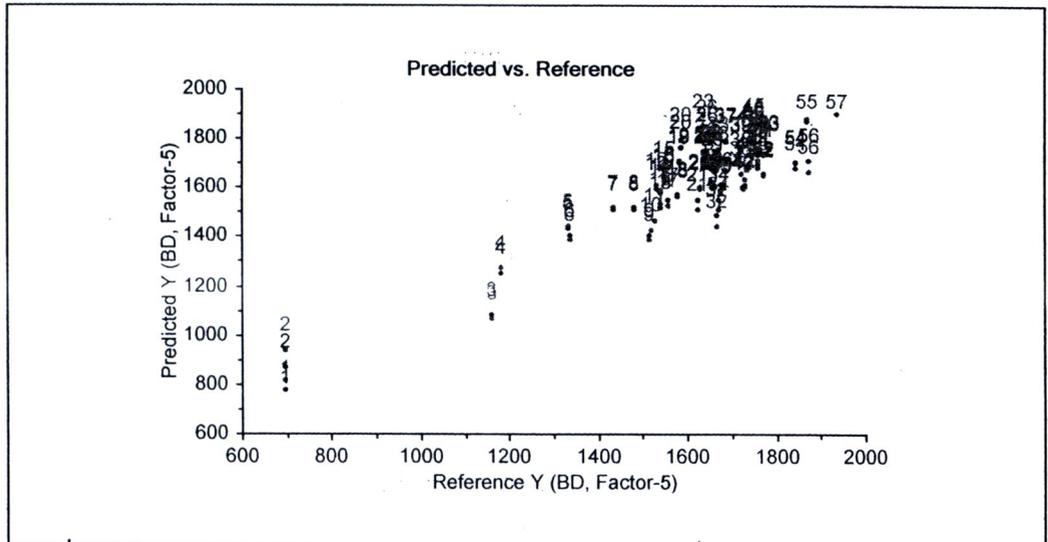
<sup>2)</sup> RPD คือ สัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

<sup>3)</sup> Sav.Gol\_2nd deriv (Savitzky Golay 2<sup>nd</sup> derivative, 10 points averaging, 2<sup>nd</sup> polynomial order) คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการแปลงให้เป็นอนุพันธ์อันดับสอง

<sup>4)</sup> MSC + Sav.Gol\_2nd deriv (Multiplicative Scatter Correction + Savitzky Golay 2<sup>nd</sup> derivative, 10 points averaging, 2<sup>nd</sup> polynomial order) คือ การปรับสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าให้เป็นอนุพันธ์อันดับสอง

#### 4.4.5.2 ค่าการแตกตัวของแป้งสุก

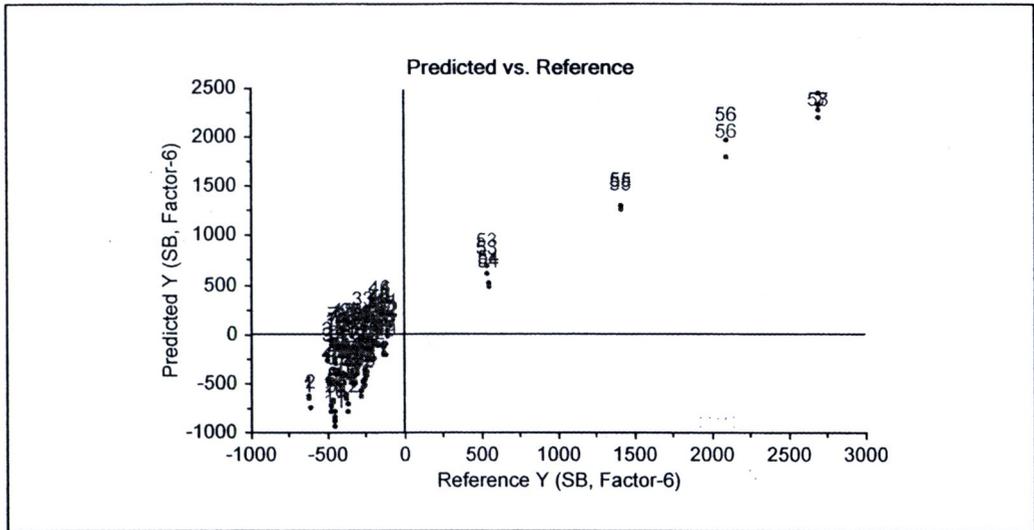
สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำนายค่าการแตกตัวของแป้งสุกของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.12 โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่เป็นตัวแปรเต็มได้ 5 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่า RPD เท่ากับ 0.79, 106 RVU และ 1.83 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าการแตกตัวของแป้งสุกระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

#### 4.4.5.2 ค่าความคงตัวของแป้งสุก

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากสเปคตรัมเริ่มต้น ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.13 โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่เป็นตัวแปรเต็มได้ 6 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่า RPD เท่ากับ 0.89, 237 RVU และ 2.68 ตามลำดับ



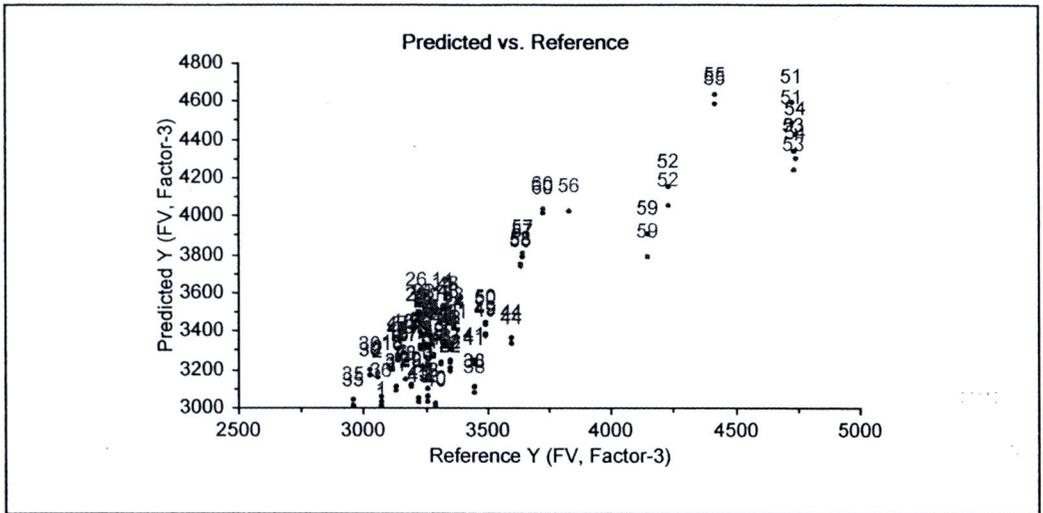
ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของแป้งสุกระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

#### 4.4.5.4 ค่าความหนืดสุดท้าย

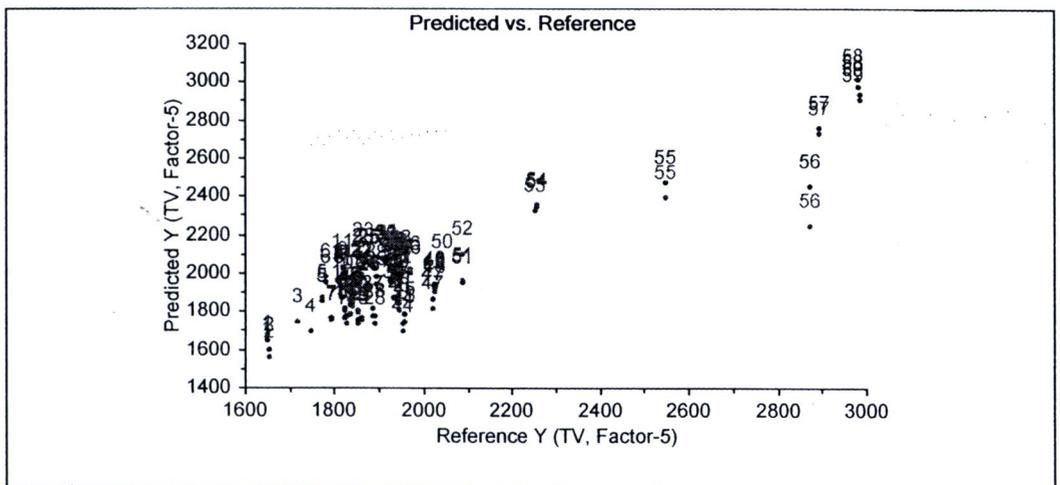
สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายคุณสมบัติความหนืดของแป้งด้านค่าความหนืดสุดท้าย แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.14 พบว่าสมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  มีความเหมาะสมที่สุดในการทำนายค่าความหนืดของตัวอย่างข้าว โดยพบว่าสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่เป็นตัวแปรเดิมได้ 3 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่า RPD เท่ากับ 0.80, 181 RVU และ 2.68 ตามลำดับ

#### 4.4.5.5 ค่าความหนืดหลังการทำเย็น

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดหลังการทำเย็นของตัวอย่างข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดกลุ่มข้าวหอมมะลิ ข้าวปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวปริมาณปานกลาง และข้าวปริมาณแอมิโลสสูง คือ สมการที่สร้างขึ้นจากสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน ช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.15 โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่เป็นตัวแปรเดิมได้ 5 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ ค่าความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ และค่า RPD เท่ากับ 0.77, 141 RVU และ 1.72 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความหนืดหลังการทำเย็นระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างที่สร้างสมการ (สีน้ำเงิน) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (สีแดง)

จากผลการวิจัยดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ทำนายค่าคุณสมบัติทางด้านความหนืดของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด โดย Radhika *et al.* (1994) พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวมีอิทธิพลมาจากสายโซ่แป้งของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน และความแปรปรวนระหว่างอัตราส่วนของโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ซึ่งมีผลทำให้การทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ไม่มีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม Shimizu *et al.* (2001) Bao, Cai & Corke (2001) และ Meadows &

Barton II (2002) พบว่าสมการที่สร้างขึ้นจากเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความแม่นยำสูงในการทำนายค่าคุณสมบัติทางด้านความหนืดของข้าว

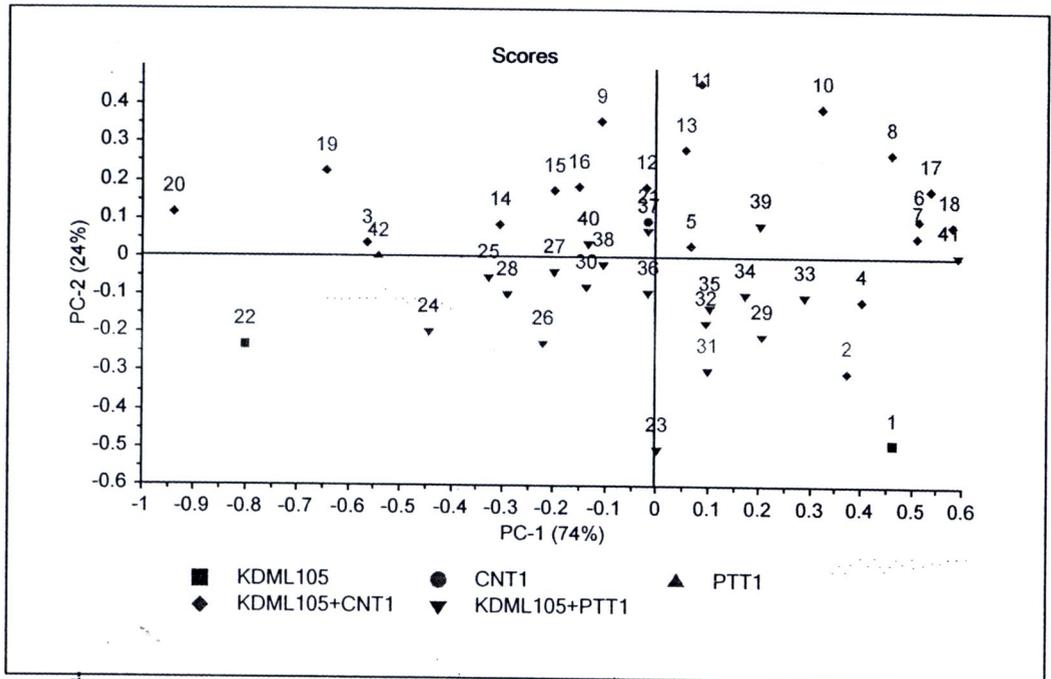
ดังนั้น สมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธีทางสถิติ PLSR จึงมีความเหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวสารขนาดเต็มเมล็ดของข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

#### 4.5 การสร้างสมการทำนายสำหรับตรวจสอบการปลอมปนข้าวหอมมะลิจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นพันธุ์ข้าวสำคัญที่นิยมนำมาปลอมปนในข้าวหอมมะลิ เนื่องจากข้าวทั้ง 2 พันธุ์ มีคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีกายภาพใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ อาทิเช่น เมล็ดยาว เรียว มีกลิ่นหอม ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมเช่นเดียวกับข้าวหอมมะลิแต่ไม่ได้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมมะลิไทยนั้น จะเป็นข้าวที่มีกลิ่นหอม ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม แต่มีราคาถูกกว่าข้าวหอมมะลิ จึงนิยมนำผสมกับข้าวหอมมะลิ (Cheapun, Wongpiyachon & Kongseree, 2005, pp. 44-45) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ถึงแม้จะเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง แต่ค่าความคงตัวของเจลแป้งมีลักษณะนุ่มปานกลาง จึงส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่ม ร่วน เมื่ออายุการเก็บรักษาไม่เกิน 4 เดือน ดังนั้น ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จึงนิยมนำมาผสมกับข้าวหอมมะลิ เนื่องจากมีคุณลักษณะตรงกับความต้องการของผู้บริโภค เพราะจะมีกลิ่นหอมจากข้าวหอมมะลิ และลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกนุ่ม ร่วน ไม่เลอะเกินไปเหมือนข้าวหอมมะลิ (งามชื่น คงเสรี, 2545, หน้า 23) อย่างไรก็ตามข้าวทั้งสองพันธุ์ยังมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกับข้าวหอมมะลิ โดยเฉพาะด้านความหนืด (ตารางที่ 4.2) การผสมข้าวทั้งสองพันธุ์ในข้าวหอมมะลิจึงทำให้คุณภาพการหุงต้ม รับประทาน และแปรรูปของข้าวหอมมะลิลดลง และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคตลอดจนส่งผลให้มูลค่าของข้าวหอมมะลิในตลาดลดลง

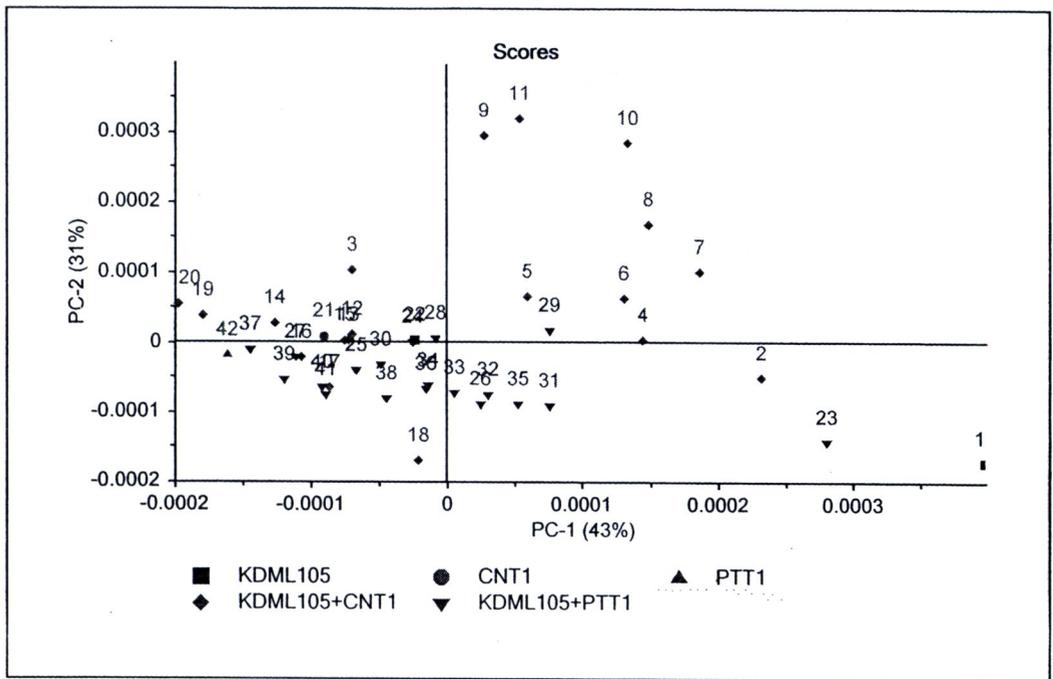
การสร้างสมการทำนายสำหรับทำนายตรวจสอบการปลอมปนข้าวหอมมะลิจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ตามคุณลักษณะของสเปกตรัมเมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถทำได้โดยนำสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ช่วงความยาวคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ผลการวิเคราะห์การปลอมปนข้าวหอมมะลิจากสเปกตรัมเริ่มต้น แสดงดังภาพที่ 4.16 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของสเปกตรัมข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวทั้งสองพันธุ์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) ซึ่งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ โดยสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 98% โดยพบว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะถูกจัดวางให้อยู่ในตำแหน่งด้านบนซ้ายและขวาของแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย ในขณะที่ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 จะอยู่บริเวณตรงกลางของแผนภาพคะแนนปัจจัย นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% (หมายเลข 1 และ 22) จะจำแนกออกจากตัวอย่างข้าวอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจน ในทางตรงกัน

ข้ามข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% (หมายเลข 42) จะไม่สามารถจำแนกออกจากข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 (หมายเลข 3) ได้ เนื่องจากมีค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัวของแป้งสุก และค่าความหนืดหลังการทำเย็นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.4 และ 4.6) เช่นเดียวกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% (หมายเลข 21) ก็ไม่สามารถจำแนกออกจากข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วน 25 : 75 (หมายเลข 37) ได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.16 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมเริ่มต้นของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

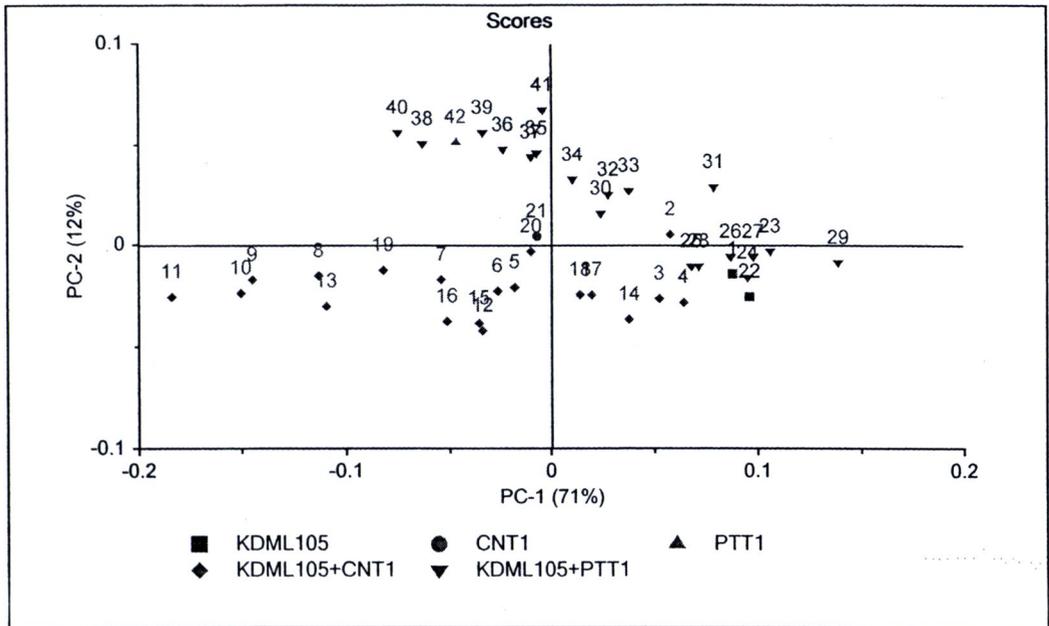
ภาพคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมตัวอย่างข้าวที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง แสดงดังภาพที่ 4.17 พบว่าองค์ประกอบ 1 ( $PC_1$ ) และองค์ประกอบ 2 ( $PC_2$ ) สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 74% จากแผนภาพค่าคะแนนปัจจัยดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% (หมายเลข 1) สามารถแยกออกจากตัวอย่างข้าวอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจนในขณะที่ข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% อีกตัวอย่าง (หมายเลข 22) ไม่สามารถแยกออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 ได้ เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่าง และคุณสมบัติด้านความหนืดใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองที่ได้จึงพบว่ากรรมผสมข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ปริมาณ 10% จะไม่สามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวหอมมะลิได้เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 4.17 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

นอกจากนี้จากภาพที่ 4.17 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% (หมายเลข 42) ยังไม่สามารถแยกออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 25 : 75 (หมายเลข 37) ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่ข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% (หมายเลข 21) ก็ไม่สามารถแยกออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 45 : 55 (หมายเลข 12) และ 40 : 60 (หมายเลข 13) ได้

ภาพที่ 4.18 อธิบายลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ โดยพบว่าผลการทดลองที่ได้แตกต่างจากลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมเริ่มต้น (ภาพที่ 4.16) และภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง (ภาพที่ 4.17) กล่าวคือข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนแตกต่างกันจะถูกจัดวางที่ตำแหน่งด้านบนซ้ายและขวาของแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย ในขณะที่ข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วนแตกต่างกันจะอยู่ในตำแหน่งบริเวณตรงกลางของแกน  $PC_1$  และ  $PC_2$

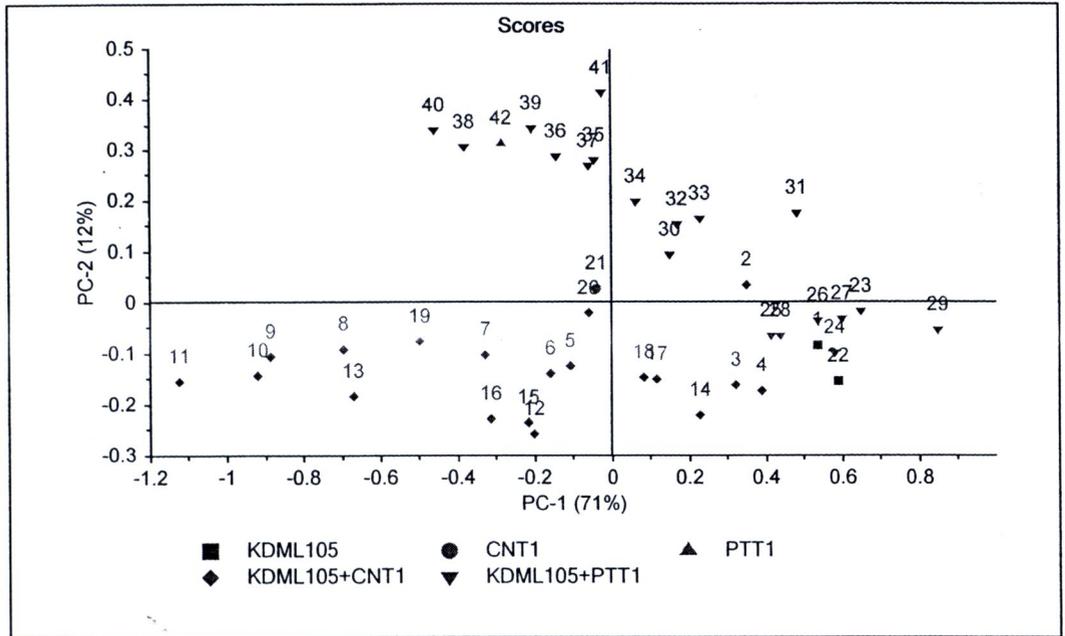


ภาพที่ 4.18 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การเจิงแบบผลคูณ

จากภาพที่ 4.18 ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% (หมายเลข 1 และ 22) ไม่สามารถจำแนกออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 (หมายเลข 24), 80 : 20 (หมายเลข 26) และ 75 : 25 (หมายเลข 27)ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% (หมายเลข 42) ไม่สามารถจำแนกออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 20 : 80 (หมายเลข 38) และ 15 : 85 (หมายเลข 39) เนื่องจากมีอัตราส่วนของข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ในอัตราส่วนที่สูงถึงถึง 85% จึงส่งผลให้คุณลักษณะของสเปกตรัมและคุณสมบัติด้านเคมีกายภาพใกล้เคียงกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% จึงทำให้ไม่สามารถจำแนกตัวอย่างข้าวดังกล่าวได้ เช่นเดียวกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% (หมายเลข 21) ที่ไม่สามารถจำแนกออกข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ที่อัตราส่วน 5 : 90 (หมายเลข 20) เนื่องจากมีคุณภาพใกล้เคียงกับข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าการผสมข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ในข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปริมาณ 10-25% จะไม่สามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ โดยใช้วิธีการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางด้านความหนืดที่ใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ได้ ถ้ามีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมตั้งแต่ 30% ขึ้นไป

ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของตัวอย่างที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน แสดงดังภาพที่ 4.19 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับ

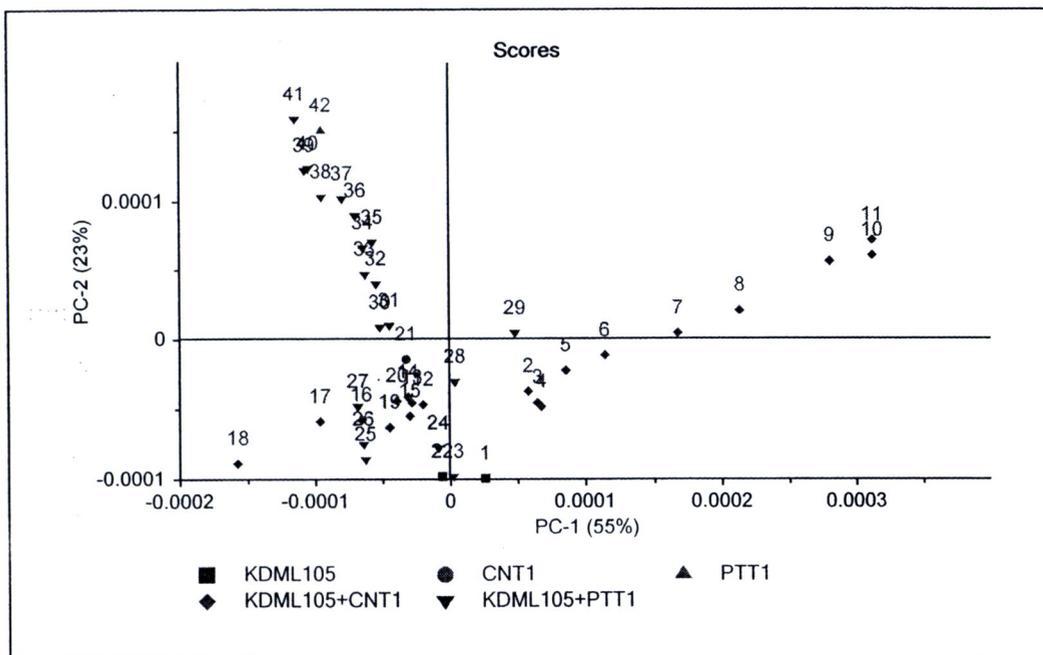
ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของตัวอย่างที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับการแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (ภาพที่ 4.18) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณและการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ออกจากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ ที่มีการผสมข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ตั้งแต่ 30% ขึ้นไป



ภาพที่ 4.19 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

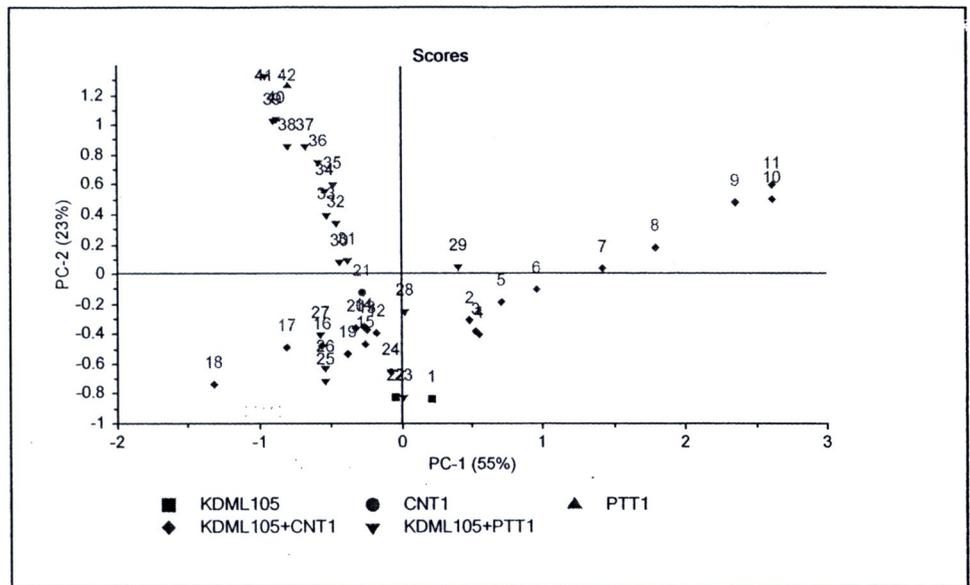
ภาพที่ 20 และ 21 แสดงลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% ข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% ข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเมื่อผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับการแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง โดยพบว่าองค์ประกอบที่ 1 และองค์ประกอบที่ 2 สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนได้เท่ากันคือ 78% เมื่อพิจารณาการจัดวางตำแหน่งของตัวอย่างในภาพค่าคะแนนปัจจัยจะพบว่าข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% และข้าวสารพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะถูกจัดวางในตำแหน่งด้านซ้ายบนและล่างขององค์ประกอบที่ 2 (PC<sub>2</sub>) ในขณะที่ข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% จะถูกวางกระจัดกระจายอยู่ในตำแหน่งด้านล่างซ้ายขององค์ประกอบที่ 2 (PC<sub>2</sub>) และ

องค์ประกอบที่ 1 ( $PC_1$ ) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการจำแนกการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105



ภาพที่ 4.20 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จะพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองนั้น ไม่สามารถจำแนกตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 แท้ 100% (หมายเลข 1 และ 22) ออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่อัตราส่วนเท่ากับ 95 : 5 (หมายเลข 23) และ 90 : 10 (หมายเลข 24) ได้ นั่นแสดงว่าทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพในตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ผสมในข้าวสารพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ในปริมาณที่ต่ำถึง 5% ได้ ซึ่งจะมีประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางการค้าข้าว



ภาพที่ 4.21 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 แท้ 100% พันธุ์ปทุมธานี 1 แท้ 100% พันธุ์ชัยนาท 1 แท้ 100% และข้าวพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 นั้น จะพบว่าวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถจำแนกข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 100 (หมายเลข 1 และ 22) ออกจากตัวอย่างข้าวที่มีข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ผสมตั้งแต่ 5% ขึ้นไป (หมายเลข 2) ได้อย่างชัดเจนทุกวิธีการปรับแต่งสเปกตรัม อย่างไรก็ตามผลการวิจัยในครั้งนี้ยังพบว่าการผสมข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ที่มีอายุการเก็บรักษาไม่เกิน 4 เดือน กับข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ช่วงอัตราส่วน 40-70% ยังไม่สามารถจำแนกการออกจากตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่ผสมกับข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ช่วงอัตราส่วน 20-30% ได้ ทั้งนี้อาจจะมีเหตุผลมาจากคุณสมบัติค่าความคงตัวของเจลของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่มีลักษณะเป็นเจลนุ่ม-ปานกลางจึงผลให้คุณสมบัติด้านความหนืดของตัวอย่างข้าวดังกล่าวไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 จากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวสารพันธุ์ชัยนาท 1 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบการปลอมปนข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105% จากข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 เนื่องจากสามารถตรวจสอบตัวอย่างข้าวสารพันธุ์ชาวดอกมะลิ 105 ที่มีข้าวสารพันธุ์ปทุมธานี 1 ผสมในปริมาณที่ต่ำถึง 5% ได้ สำหรับการตรวจสอบการปลอมปนข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 นั้นจะพบว่าเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถตรวจสอบได้อย่างแม่นยำเมื่อใช้ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก