

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง

ตัวอย่างข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด จำนวน 60 ตัวอย่าง ที่นำมาศึกษาเป็นข้าวที่มีขนาดเมล็ดยาวประกอบด้วยข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง การศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพของข้าวกล้องที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณแอมิโลส ปริมาณโปรตีน ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในน้ำ และคุณสมบัติด้านความเหนียว ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าคุณภาพทางด้านเคมี และแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ

##### 1.1 ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนในข้าวแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม วิธีการเพาะปลูก พันธุ์ข้าว และฤดูกาลเพาะปลูก เป็นต้น (Patrick & Hoskins, 1974, pp. 84-95) ในการวิจัยนี้ตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดลองมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง  $5.27 \pm 0.02\%$  ถึง  $9.06 \pm 0.08\%$  แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด และข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 มีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณโปรตีนในข้าวตัวอย่างที่แตกต่างกันมีสาเหตุมาจากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการเพาะปลูก Bahamaniar & Ranjbar (2007) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงที่ข้าวออกดอกจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในข้าวเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Gomez & Veskosit (1973) พบว่าข้าวพันธุ์เดียวเมื่อนำมาปลูกที่ประเทศไทยและฟิลิปปินส์จะมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไชมัน แก้ว เส้นใย (Fiber) และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันสูงมาก อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Marshall & Wadsworth (1994) ที่รายงานว่าข้าวจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 7.3-8.3% ของน้ำหนักตัวอย่าง โปรตีนจะทำหน้าที่ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ดข้าว อีกทั้งข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกและอุณหภูมิการเกิดเจลเลติไนเซชันเพิ่มสูงขึ้น

## 1.2 ปริมาณแอมิโลส

ตารางที่ 4.1 ว่าข้าวในกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ได้แก่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์ปทุมธานี 60 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ชัยนาท 1 มีปริมาณแอมิโลสสูงที่สุด รองลงมาคือข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ และกลุ่มข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ความแตกต่างของปริมาณแอมิโลสในข้าวแต่ละพันธุ์ขึ้นอยู่กับปริมาณสตาร์ช (Starch content) Navaserartavisootr (2004) พบว่าปริมาณสตาร์ชของกลุ่มพันธุ์ข้าวหอม (Aromatic rices) จะมีปริมาณต่ำกว่าข้าวกลุ่มที่ไม่ใช่ข้าวหอม (Non-aromatic rices) นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวหอมมะลิมียปริมาณแอมิโลสไม่แตกต่างกับข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง เนื่องจากข้าวหอมมะลิจัดเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำนั่นเอง (งามชื่น คงเสรี, 2539, หน้า 241-259) Hu-lin, You-zhang, Xiao-e, Ying & Chung-yong (2007, pp. 289-294) ยังพบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ปริมาณแอมิโลสในเมล็ดข้าวลดลงแต่จะส่งผลให้ค่าความคงตัวของเจลเพิ่มขึ้นอีกด้วย ปริมาณแอมิโลสของข้าวแต่ละพันธุ์ที่วิเคราะห์ได้สอดคล้องกับ Juliano (1993) และงามชื่น คงเสรี (2539) ที่แบ่งกลุ่มข้าวตามปริมาณแอมิโลสเป็น 5 กลุ่ม คือ ข้าวเหนียว ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง และข้าวเจ้าแอมิโลสสูง (แสดงดังตารางที่ 2.3)

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบการแบ่งกลุ่มตาม Juliano (1993) และงามชื่น คงเสรี (2539) กับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวทั้ง 60 ตัวอย่าง สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ประกอบด้วยข้าวหอมมะลิ (ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์กข 15) พันธุ์หอมคลองหลวง พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์พิษณุโลก 1 ข้าวกลุ่มแอมิโลสปานกลาง ประกอบด้วยข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 พันธุ์สุพรรณบุรี 60 และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ประกอบด้วยข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์ชัยนาท 2 พันธุ์เหลืองประทิว 123 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ปทุมธานี 60

## 1.3 ค่าความคงตัวของเจล

ค่าความคงตัวของเจลเป็นคุณสมบัติทางเคมีกายภาพสำคัญ สามารถจำแนกความแตกต่างลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่มีปริมาณแอมิโลสใกล้เคียงกันได้ เนื่องจากเจลแข็งของข้าวแต่ละพันธุ์มีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน ส่งผลให้เจลแข็งมีความแข็งและอ่อนแตกต่างกัน อธิบายได้ว่าเจลแข็งที่แข็งจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวสุกแข็ง ร่วน ในขณะที่เจลอ่อนจะทำให้ข้าวสุกมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม 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 จะมีค่าความคงตัวของเจลนุ่มปานกลาง

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.1 พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มข้าวตามค่าความคงตัวของเจลตามวิธีของ Cagampang, Perez & Juliano (1973) ได้ 3 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวเจลนุ่ม (ระยะทางที่แป้งสุกไหล 61-100 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ กลุ่มข้าวเจลนุ่มปานกลาง (ระยะทางที่แป้งสุกไหล 41-60 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และกลุ่มข้าวเจลแข็ง (ระยะทางที่แป้งสุกไหล 26-40 มิลลิเมตร) ได้แก่ ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ

#### 1.4 ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีความสำคัญต่อคุณภาพด้านการหุงต้มและแปรรูปข้าว เนื่องจากสามารถใช้ประเมินอุณหภูมิการเกิดเจลาติโนเซชันของสตาร์ชข้าวทางอ้อม (Delwiche, McKenzie & Webb, 1996, pp. 257-263) ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ระดับ 7.00 หมายถึงเมล็ดข้าวสลายตัวทั้งเมล็ดและมีลักษณะเป็นเมือกใส ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างของข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p>0.05$ ) ยกเว้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 1 ซึ่งมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอยู่ในระดับ 5.00 และไม่แตกต่างกับข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 2 ( $p>0.05$ ) ที่จัดอยู่ในกลุ่มข้าวปริมาณแอมิโลสปานกลาง ในขณะที่ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างต่ำที่สุด โดยอยู่ในระดับ 1.00-2.00 ซึ่งหมายถึงเมล็ดข้าวไม่เปลี่ยนแปลงถึงพองตัวเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับการแบ่งกลุ่มข้าวตามลักษณะการสลายตัวของเมล็ดข้าวในต่างของ Little, Hilder & Dawson (1958) ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติโนเซชันต่ำ (ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 6-7) ข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติโนเซชันปานกลาง (ระดับการ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล และค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่างของตัวอย่างข้าวกล้อง

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

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

สลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 4-5) และข้าวที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันสูง (ระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง 1-3) แสดงดังตารางที่ 2.5

**Nishi, Nakamura, Tanaka & Satoh (2001)** พบว่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างแต่ละพันธุ์ที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากโครงสร้างของแอมิโลเพกทิน **Umamoto, Yano, Satoh & Shomura (2002)** พบว่าสตาร์ชข้าวที่มีองค์ประกอบของแอมิโลเพกทินสายสั้นสูงจะแตกตัวได้ง่ายกว่าสตาร์ชข้าวที่มีแอมิโลเพกทินสายยาวอยู่ในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ **Nakamura, Sakurai, Inaba, Kimura, Iwasawa & Nagamine (2002)** ยังรายงานว่าปริมาณแอมิโลสไม่มีความสัมพันธ์กับค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง ซึ่งสอดคล้องกับ **Harushima, Yano, Shomura, Sato, Shimano, Kuboki, Yamamoto, Lin, Antonio, Parco, Kajiya, Huang, Yamamoto, Nagamura, Kurata, Khush & Sasaki (1998)** พบว่าในสตาร์ชข้าวจะมี **Amylopectin-synthesizing enzyme** ทำหน้าที่สังเคราะห์ยีนที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชตลอดจนโครงสร้างของแอมิโลเพกทินในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งความยาวของสายแอมิโลเพกทินนั้นมีผลต่อการแตกตัวของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างอย่างมีนัยสำคัญ

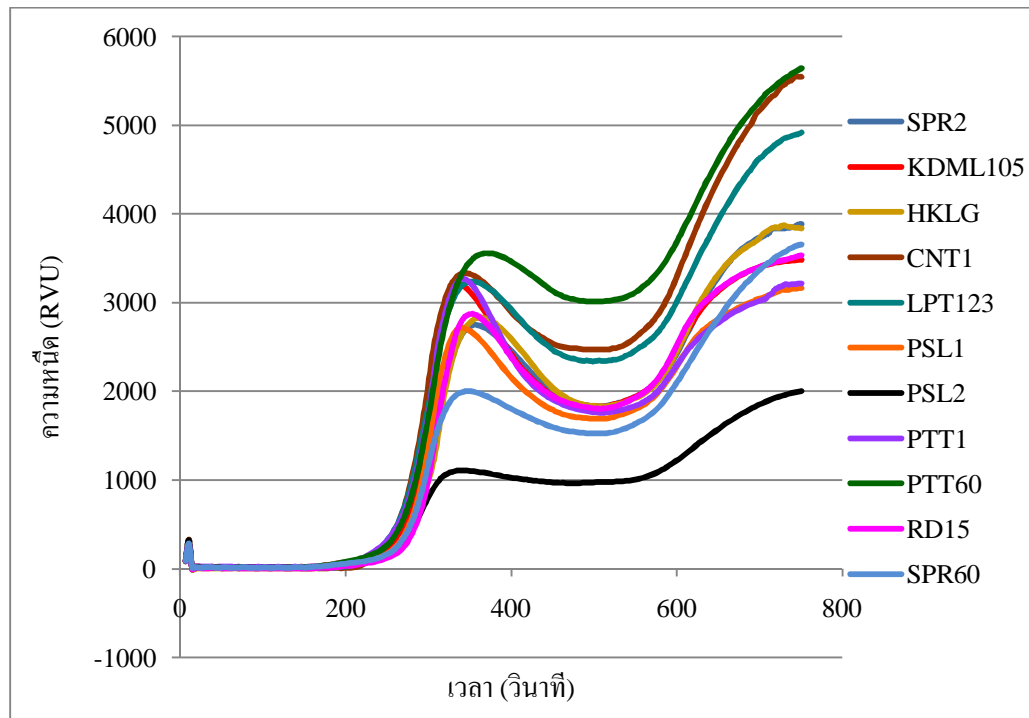
### 1.5 คุณสมบัติด้านความเหนียว

ความเหนียวของแป้งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการแปรรูปอาหารที่มีข้าวเป็นองค์ประกอบ (**Meadows & Barton II, 2002, pp. 563-566**) คุณสมบัติด้านความเหนียวแสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติด้านความเหน็ดของข้าวกล้อง

กลุ่ม/พันธุ์ข้าว	ความเหน็ดสูงสุด (RVU)	การแตกตัวของแป้งสุก (RVU)	ความคงตัวของแป้งสุก (RVU)	ความเหน็ดสุดท้าย (RVU)	อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ความเหน็ดหลังการทำเย็น (RVU)
ข้าวหอมมะลิ (n = 50)						
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>
ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสต่ำ (n = 3)						
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>
ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง (n = 2)						
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>
ข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง (n = 5)						
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. เหลืองประทิว 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>

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



ภาพที่ 4.1 ลักษณะความชื้นของน้ำแป้งของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นอย่างรวดเร็ว

### 1.5.1 ความชื้นสูงสุด

ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ได้แก่ ข้าวพันธุ์หอมคลองหลวง พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์พิษณุโลก 1 มีค่าความชื้นสูงสุด รองลงมาคือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ Meadows & Barton-II (2002) และ Patindol, Gu & Wang (2009) พบว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่อค่าความชื้นสูงสุดของแป้ง เนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลสจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งที่อุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$  จึงส่งผลให้ค่าความชื้นสูงสุดของข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงต่ำกว่าข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ

### 1.5.2 การแตกตัวของแป้งสุก

การแตกตัวของแป้งสุกเป็นผลต่างระหว่างความชื้นสูงสุดกับความชื้นที่คงที่ต่อการกวน 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,

Gu & Wang (2009) พบว่าค่าการแตกตัวของแป้งสุกมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับสายโซ่ในโครงสร้างของแอมิโลเพกตินและมีความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณแอมิโลส จึงมีผลทำให้ข้าวหอมมะลิและข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำซึ่งในเมล็ดแป้งประกอบด้วยแอมิโลสเพกตินสูงและปริมาณแอมิโลสต่ำจึงมีค่าการแตกตัวของแป้งสุกสูงกว่าข้าวในกลุ่มอื่น ๆ ดังผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2

### 1.5.3 ค่าความคงตัวของแป้งสุก

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

### 1.5.4 ค่าความหนืดสุดท้าย

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

### 1.5.5 อุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก เป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงเมล็ดสตาร์ชเริ่มพองตัวและเกิดกระบวนการเจลลิตีในเซชัน ทำให้ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้น (Perdon, Siebenmorgen, Mauromoustakos, Griffin & Johnson, 2001, pp. 205-209) อุณหภูมิแป้งสุกของตัวอย่างข้าวอยู่

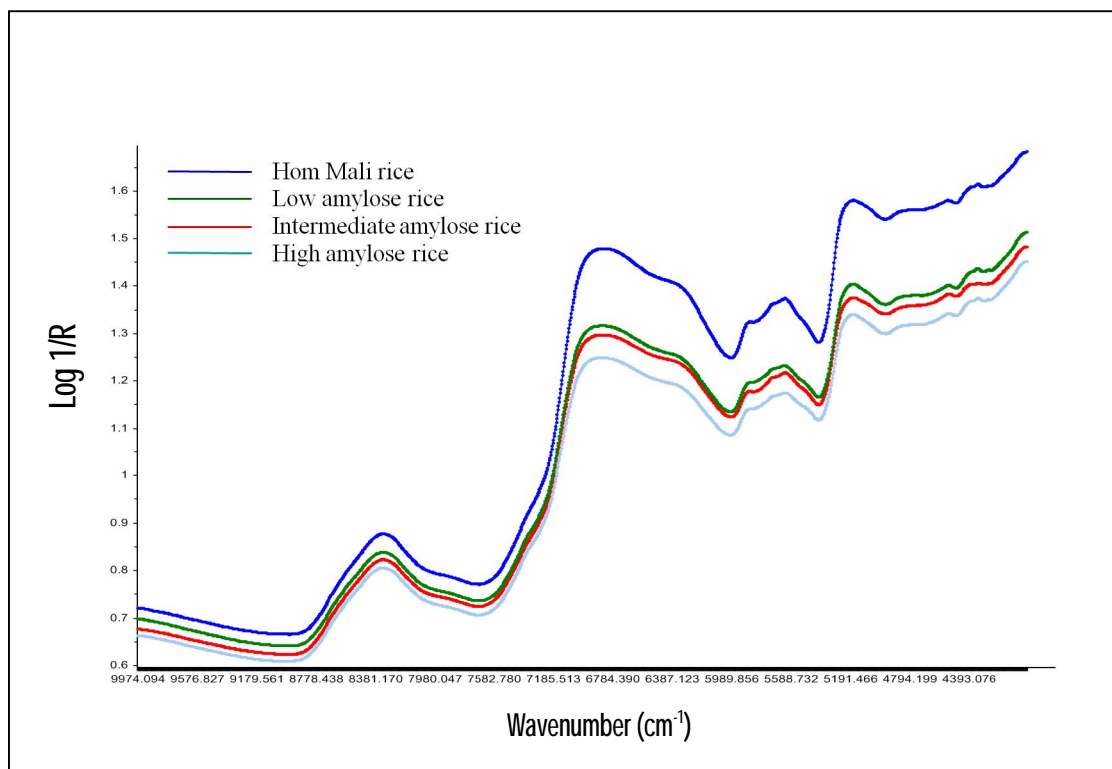
ในช่วง  $89.50 \pm 0.57^{\circ}\text{C}$  ถึง  $83.25 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิแข็งสุกของข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างข้าวกลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นข้าวพันธุ์ชัชยนาท 1 และข้าวพันธุ์เหลืองประทิว 123

### 1.5.6 ความเหน็ดหลังการทำเย็น

ค่าความเหน็ดหลังการทำเย็นของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1 โดยพบว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าความเหน็ดหลังการทำเย็นสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และข้าวหอมมะลิ ตามลำดับ ( $p < 0.05$ ) และยังพบว่าข้าวหอมมะลิมีค่าความเหน็ดหลังการทำเย็นแตกต่างกับข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ( $p < 0.05$ ) ดังนั้น ค่าความเหน็ดหลังการทำเย็นจึงเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำได้

## 2. การวัดค่าการดูดกลืนแสงของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  (1,100-2,500 นาโนเมตร) ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ของข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่าลักษณะรูปแบบของสเปกตรัมข้าวกล้องหอมมะลิที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้มีค่าการดูดกลืนแสงหรือค่า  $\log 1/R$  สูงกว่าข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ กลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีแอมิโลสสูง ตามลำดับ ซึ่ง Osborne, Martens, Thomson & Fearn (1993) รายงานว่าค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่แตกต่างกันอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบภายในของข้าวแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกัน



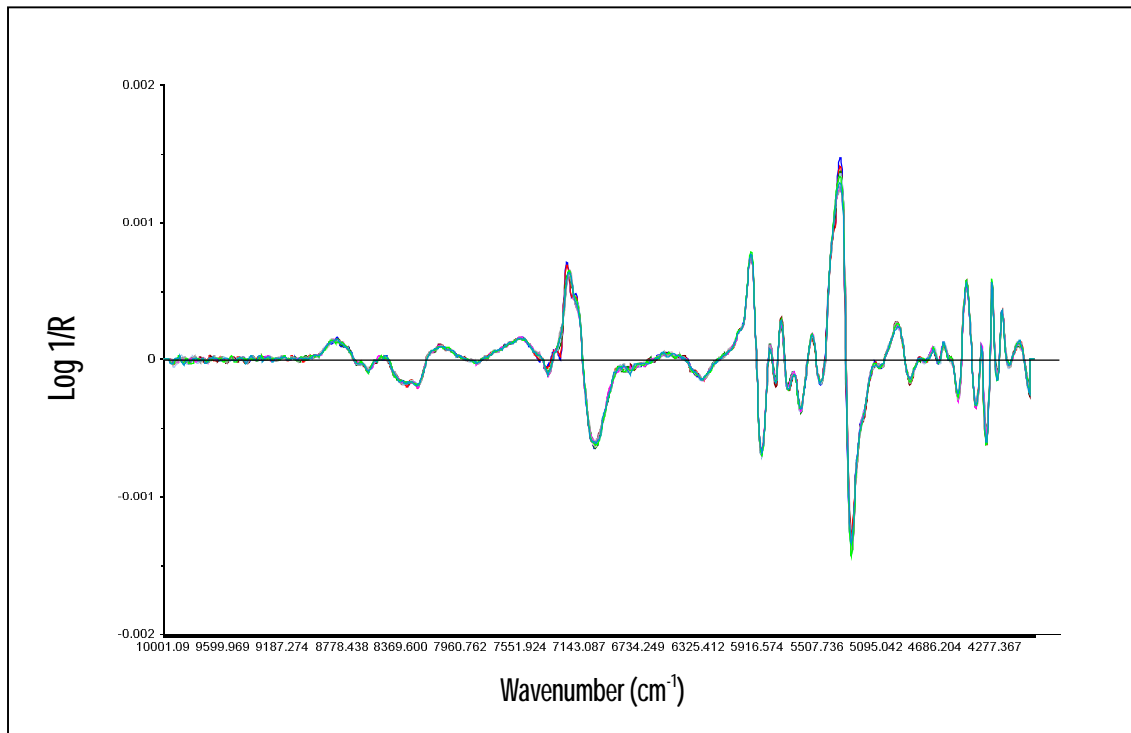
ภาพที่ 4.2 ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด กลุ่มข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 4.3 ลักษณะสเปกตรัมที่ได้ประกอบด้วยพีค (Peak) ที่แตกต่างกัน โดยพีคของน้ำพบที่จำนวนคลื่น  $6,900 \text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่น  $1,450$  นาโนเมตร (The stretch of O-H molecular bonds, first overtone) และจำนวนคลื่น  $5,150 \text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่น  $1,940$  นาโนเมตร (The stretch of O-H bonds and O-H deformations) (Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262) พีคของโปรตีนที่วัดค่าการดูดกลืนแสงในรูปของกลุ่มเอไมด์ (Amides) และหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอน-ไฮโดรเจน (C-H functional groups) พบที่ช่วงจำนวนคลื่น  $6,667-6,536 \text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่น  $1,500-1,530$  นาโนเมตร (N-H stretching first overtone)  $4,878-4,854 \text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่น  $2,050-2,060$  นาโนเมตร (N-H stretching combinations)  $4,613-4,857 \text{ cm}^{-1}$  หรือช่วงความยาวคลื่น  $2,168-2,180$  นาโนเมตร (N-H bend second overtone and C=O stretch/N-H in-plane bending/C-H stretch combination bands)

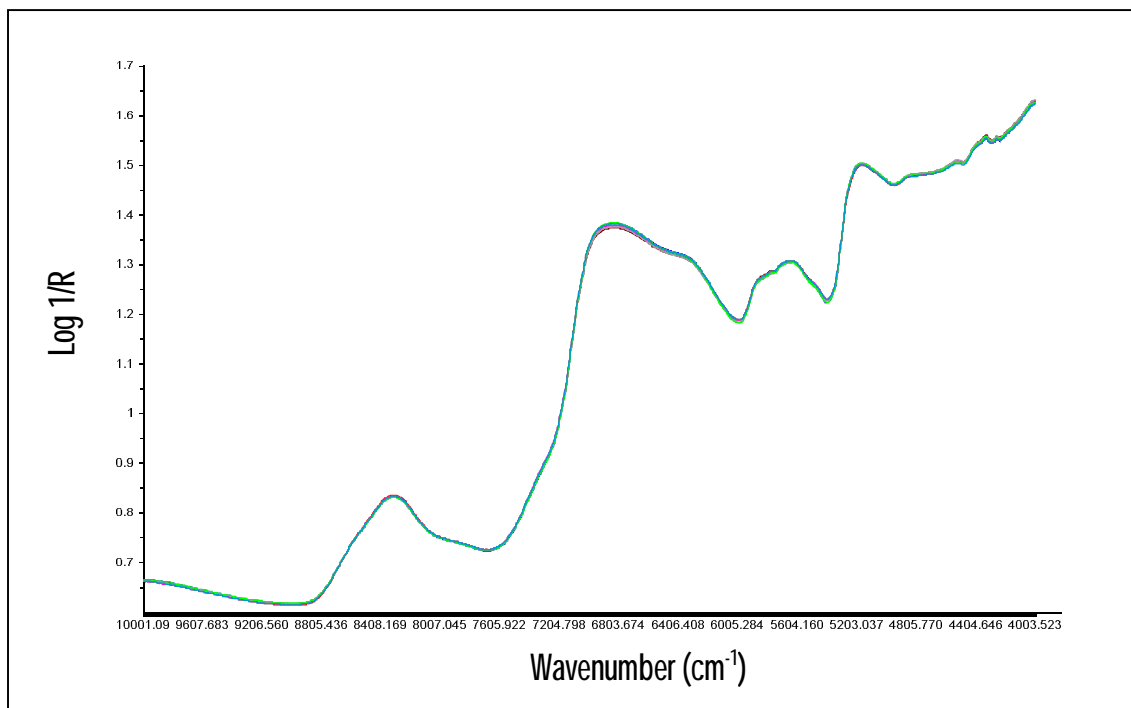
(Osborne, Martens, Thomson & Fearn, 1993, pp. 77-83; Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262)

นอกจากนี้ลักษณะของสเปกตรัมเริ่มต้นยังแสดงพีคของสตาร์ซซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของข้าว ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (O-H function groups) เป็นส่วนใหญ่ พบที่จำนวนคลื่น  $5,102\text{ cm}^{-1}$  (1,960 นาโนเมตร) และ  $4,761\text{ cm}^{-1}$  (2,100 นาโนเมตร) ซึ่งอยู่กับการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) การสั่นแบบงอของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H bending) และการสั่นผลรวมแบบยืดของหมู่คาร์บอน-ออกซิเจน (C-O stretching combination) (Osborne, Martens, Thomson & Fearn, 1993, pp. 77-83; Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262) นอกจากนี้ Parker (1983) พบว่าพีคของโมเลกุลแอมิโลสจะมีการสั่นแบบยืดของหมู่  $\text{CH}_2$  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)

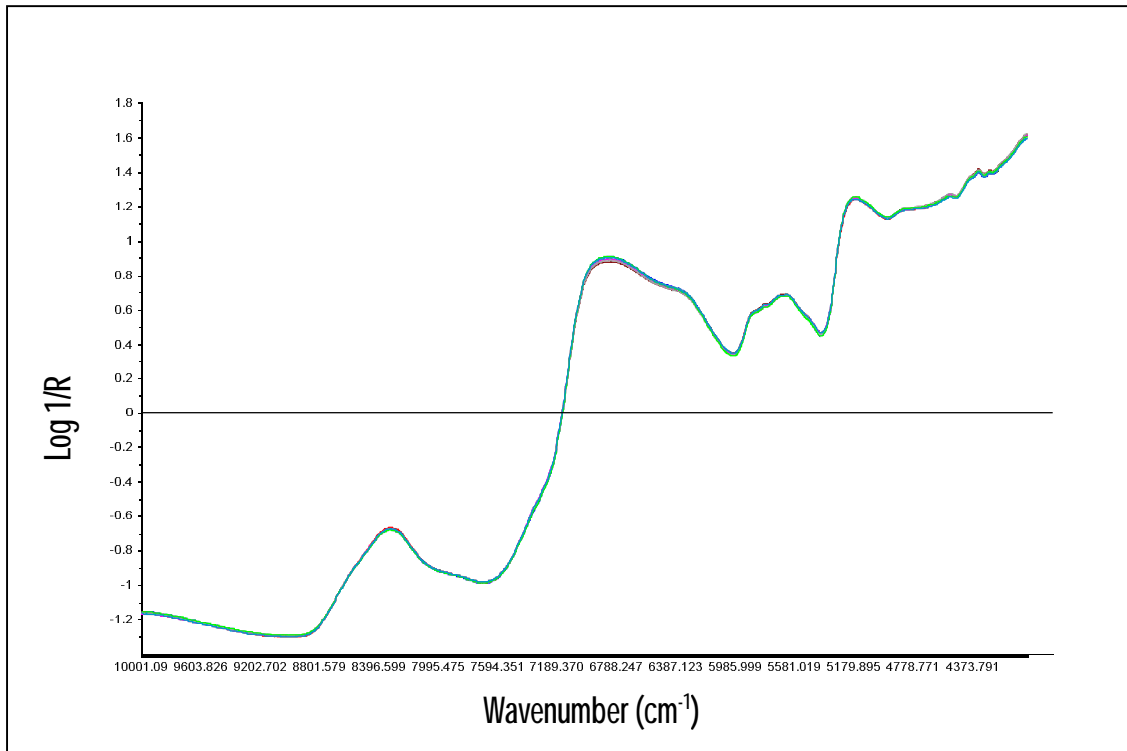
จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าลักษณะสเปกตรัมมีการซ้อนทับกันของพีคและพีคแยกออกจากกันไม่ชัดเจน อาจเป็นผลจากการเกิดการกระเจิงแสงเมื่อตกกระทบกับตัวอย่างเนื่องจากตัวอย่างข้าวกล้องเต็มเมล็ดมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อการสร้างสมการทำนายวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าวกล้อง การวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการปรับแต่งสมการด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง แสดงดังภาพที่ 4.3-4.7 จากภาพที่ 4.3 พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองจะทำให้ได้สเปกตรัมที่มีฐานแคบและจุดยอดแยกกันอย่างชัดเจนแต่มีลักษณะกลับหัวลงมาด้านล่าง โดยพบว่าแต่ละความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กับพันธะเคมีที่แตกต่างกัน คือ จำนวนคลื่นที่  $6,900\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H ในโมเลกุลน้ำในข้าวซึ่งมีปริมาณความชื้นประมาณ 13-14% และจำนวนคลื่นที่  $5,102$ ,  $5,128$ ,  $4,761$ ,  $4,063$  และ  $4,019\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ O-H, C-O และ C-H ในสตาร์ซ (Osborne, Martens, Thomson & Fearn, 1993, pp. 77-83; Workmand & Weyer, 2008, p. 239-262)



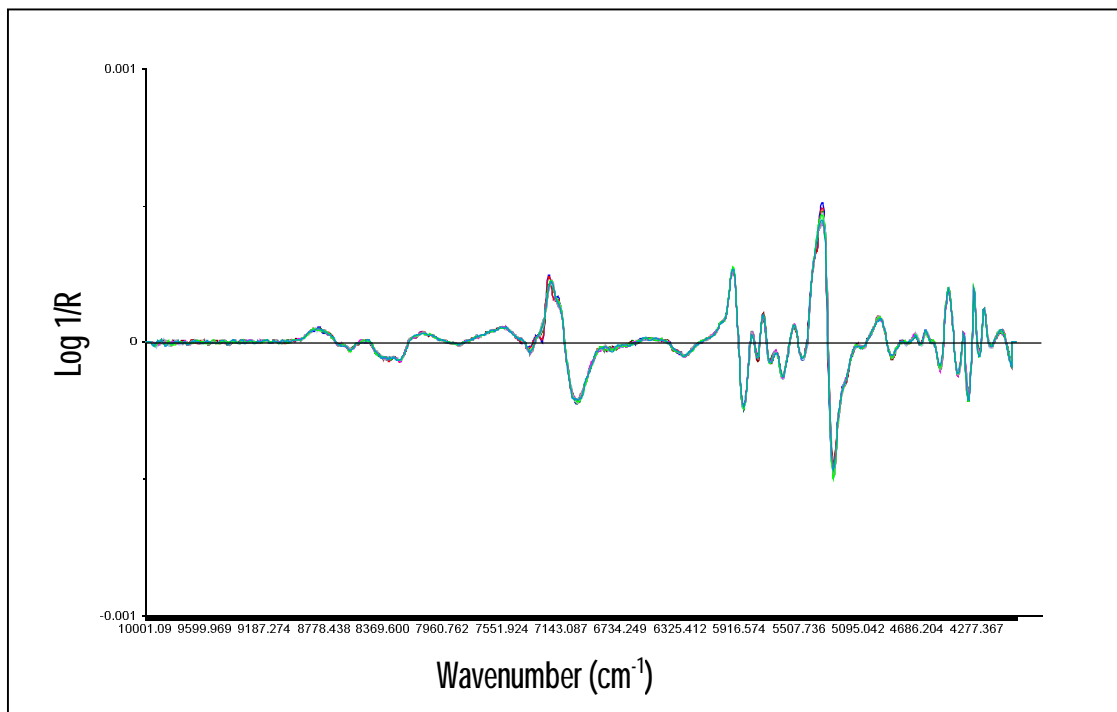
ภาพที่ 4.3 สเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



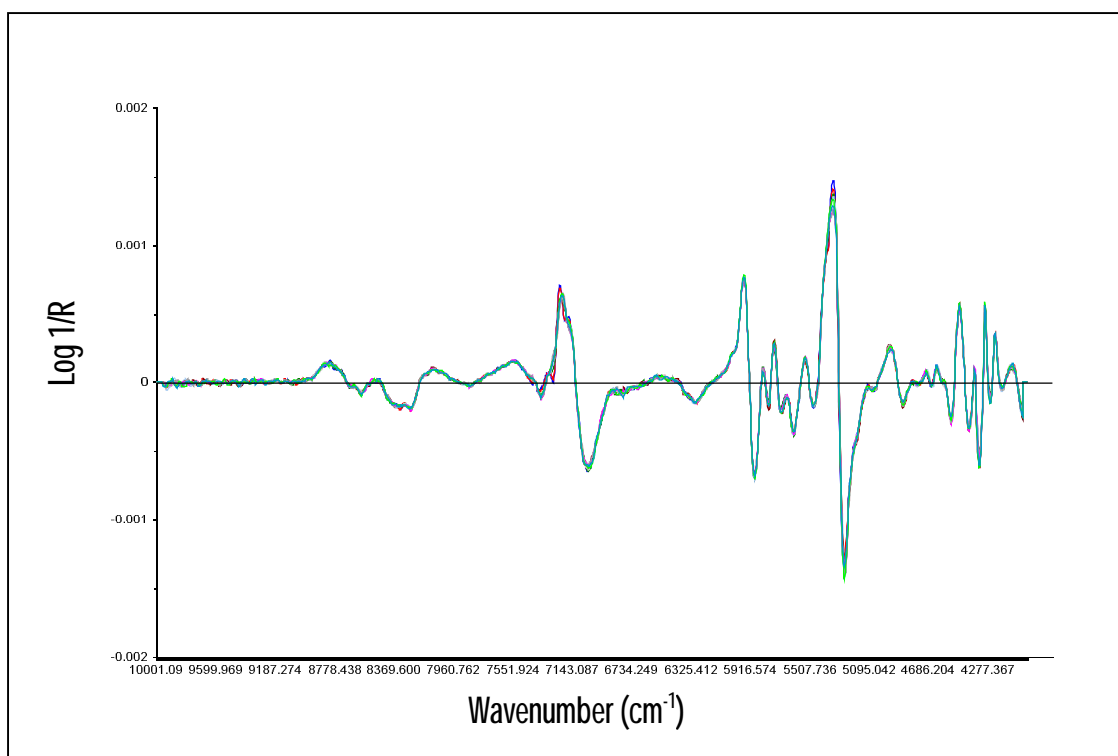
ภาพที่ 4.4 สเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน



ภาพที่ 4.6 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



ภาพที่ 4.7 สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

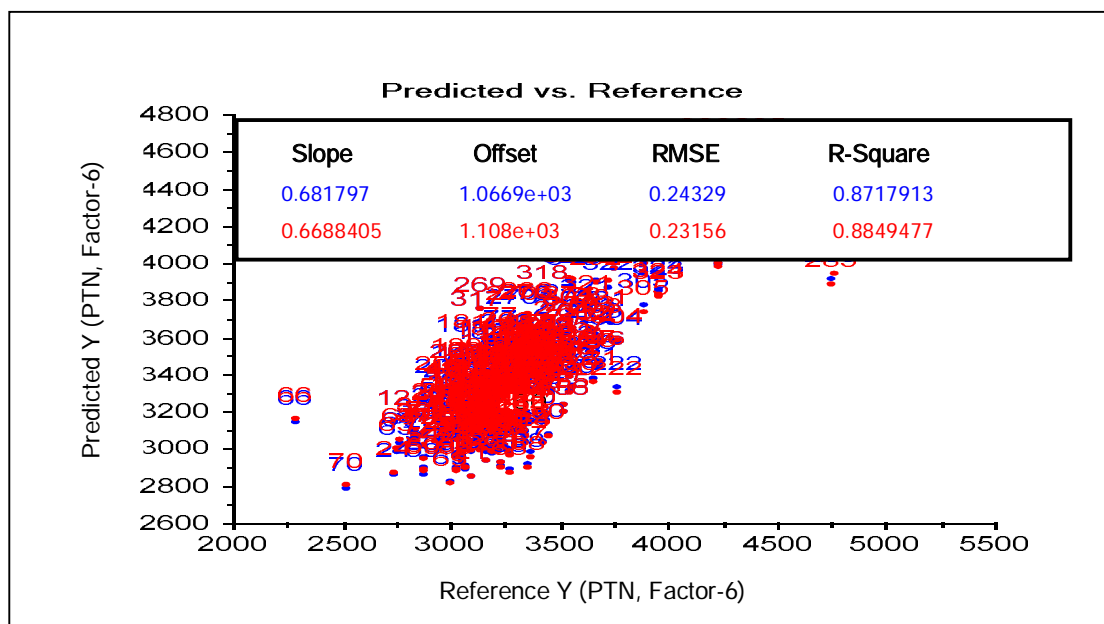
จากภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 จะพบว่าลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีแตกต่างกันนั้น สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณมีลักษณะไม่แตกต่างกับสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองในภาพที่ 4.6 และ 4.7 จะพบว่าสามารถลดปัญหาการซ้อนทับกันของพีคในสเปกตรัมเริ่มต้น โดยจะแยกจุดพีคของสเปกตรัมเริ่มต้นให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และลดลักษณะการกระเจิงแสงที่เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของตัวอย่างที่ไม่สม่ำเสมอของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดได้ (Osborne, Martens, Thomson & Fearn, 1993, pp. 77-83)

### 3. การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด

การสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ทำการศึกษา ทำได้โดยนำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดทั้ง 60 ตัวอย่าง ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ตามลำดับ กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (ตัวแปร X) และกำหนดให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวขนาดเต็มเมล็ด ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง และคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าว เป็นตัวแปรตาม (ตัวแปร Y) นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน หรือ PLSR เพื่อสร้างสมการทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดดังกล่าว สมการที่เหมาะสมควรมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง (R) และค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ PLSR (SEC) ต่ำ การสร้างสมการสำหรับทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณโปรตีน

เมื่อนำสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัม (ตัวแปร X) มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี (ตัวแปร Y) ด้วยวิธีทางสถิติ PLSR พบว่าสมการที่เหมาะสม คือ สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ มีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 6 แฟกเตอร์ และสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ PLSR (SEC) ค่า Bias และค่า RPD เท่ากับ 0.87, 0.95, -0.07 และ 2.84 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 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, Barton-II, McClung & Champagne (2001) พบว่าสมการทำนายค่าโปรตีนที่เหมาะสมสมควรจะอยู่ในช่วงจำนวนคลื่นที่  $200-1,795 \text{ cm}^{-1}$  และ  $2,050-3,570 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์/รามาน (NIR-FT/Raman spectroscopy)



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

นอกจากนี้ Osborne, Martens, Thomson & Fearn (1993) พบว่าจำนวนคลื่นที่  $4,878\text{ cm}^{-1}$  และ  $4,587\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับโปรตีน และ Navasearttavisoot (2004) ยังพบว่าจำนวนคลื่นที่  $5,882\text{ cm}^{-1}$ ,  $5,050\text{ cm}^{-1}$  และ  $4,761\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนมาก โดยแต่ละตำแหน่งจะมีความเกี่ยวข้องกับพันธะเคมีที่แตกต่างกัน คือ จำนวนคลื่นที่  $5,882\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับพันธะ C-H จำนวนคลื่นที่  $5,050\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับโปรตีน และจำนวนคลื่นที่  $4,761\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของสตาร์ช ดังนั้น สมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR จำนวนคลื่นช่วง  $10,000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$  จะครอบคลุมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีน

เมื่อพิจารณาตารางภาคผนวกที่ 3 การสร้างสมการทำนายคุณสมบัติทางเคมี ภายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดที่จำนวนคลื่นและวิธีการปรับแต่งสเปคตรัมที่แตกต่างกัน พบว่าสมการที่สร้างขึ้นช่วงจำนวนคลื่นที่  $10,000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$  และปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณมีความแม่นยำในการทำนายค่าปริมาณโปรตีนมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนของสมการในการทำนายปริมาณโปรตีนต่ำ คือ มีค่า SEP เท่ากับ 1.51% อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการทำนายค่าปริมาณโปรตีนของข้าวในรูปแบบต่าง ๆ พบว่าการทำนายปริมาณโปรตีนในรูปแบบของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดมีความแม่นยำต่ำกว่ารูปแบบอื่น ๆ

โดย Iwamoto, Suzuki, Kongseree, Uozumi & Inatsu (1986) ตรวจสอบปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-400\text{ cm}^{-1}$  พบว่าสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) มีค่า SEP เท่ากับ 0.219% Barton, Windham, Champagne & Lyon (1998) ได้ทำการตรวจสอบปริมาณโปรตีนของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดและแป้งข้าวที่ปลูกในสหรัฐอเมริกาด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ในช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-400\text{ cm}^{-1}$  พบว่าสมการทำนายค่าปริมาณโปรตีนของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดและแป้งข้าวจะมีค่า SEP เท่ากับ 0.25 และ 0.18% ตามลำดับ นอกจากนี้ Choi & Kim (2000) ได้ทำการตรวจสอบปริมาณโปรตีนในข้าวกล้องพันธุ์ Dongjin, Jlpum และ Chucheong ด้วยการทดสอบแบบทีละเมล็ด (Single grain kernel) ที่จำนวนคลื่นในช่วง  $10,000-400\text{ cm}^{-1}$  พบว่าเมื่อทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการด้วยกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องในแต่ละพันธุ์หรือค่า SEP น้อยกว่า 0.479% ดังนั้น การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำนายค่าปริมาณโปรตีนในรูปของข้าวกล้องด้วยการทดสอบทีละเมล็ดน่าจะมีความแม่นยำสูงกว่าการทดสอบแบบปริมาณมาก (Bulk volume)

### 3.2 การสร้างสมการทำนายค่าปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลสในข้าวสามารถพบได้จากแถบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{CH}_2$  ที่จำนวนคลื่นที่ 2,905 และ  $2,490\text{ cm}^{-1}$  (Himmelsbach, Barton-II, McClung & Champagne, 2001, pp. 488-492) นอกจากนี้ Parker (1983) ยังพบว่าปริมาณแอมิโลสสามารถพบได้ที่แถบการสั่นแบบยืดของหมู่ฟังก์ชัน  $\text{CH}_2$  ช่วงจำนวนคลื่นที่  $5,128\text{ cm}^{-1}$ ,  $4,063\text{ cm}^{-1}$  และ  $4019\text{ cm}^{-1}$  จากเหตุผลดังกล่าวการสร้างสมการสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลสจึงเลือกจำนวนคลื่นสำหรับสร้างสมการ 2 ช่วง ได้แก่  $8,620-5,128\text{ cm}^{-1}$  และ  $7,142-4,012\text{ cm}^{-1}$  เพื่อเปรียบเทียบว่าช่วงจำนวนคลื่นใดที่เหมาะสมสำหรับสร้างสมการทำนายค่าปริมาณแอมิโลสด้วยวิธี PLSR มากที่สุด

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.9 พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลส คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $7,142-4,012\text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แฟกเตอร์ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่า SEC เท่ากับ 0.90 และ 1.27% ตามลำดับ โดยพบว่าจำนวนคลื่นที่ตำแหน่ง  $5,128$ ,  $4,063$  และ  $4019\text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับค่าปริมาณแอมิโลสมาก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพันธะ C-H และโมเลกุลของสตาร์ช

ตารางที่ 4.3 สรุปสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดด้วยวิธี PLSR

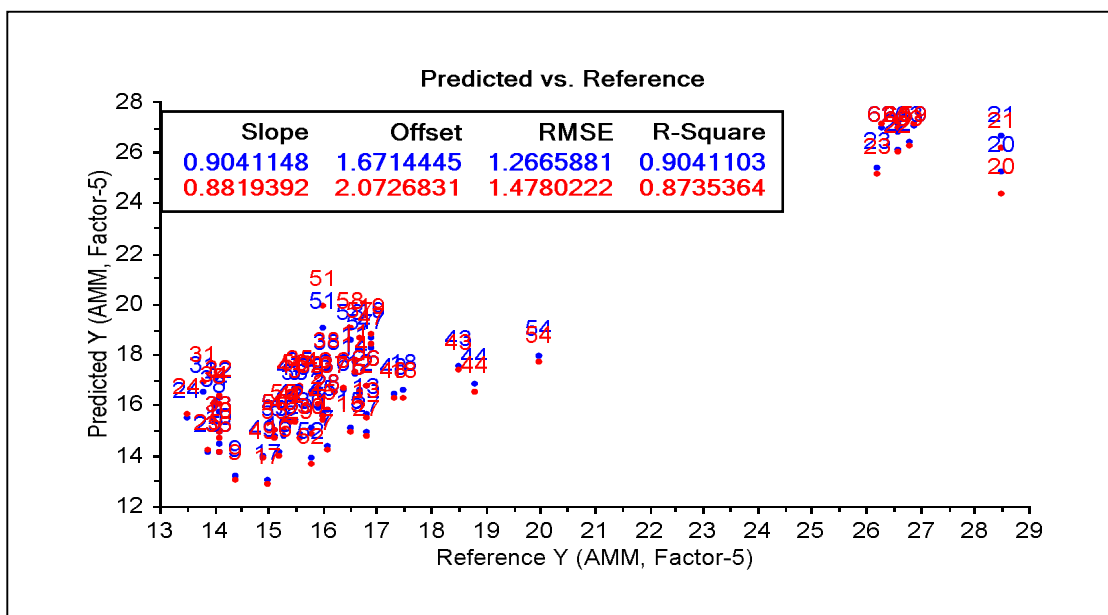
คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ	วิธีการปรับแต่งสเปกตรัม <sup>1)</sup>	จำนวนคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	แพกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ (Calibration set)		กลุ่มการทวนสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set)		Bias <sup>2)</sup>	RPD <sup>3)</sup>
				SEC	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	SEP	r <sup>2</sup> <sub>val</sub>		
ปริมาณโปรตีน (%)	MSC	10,000-4,000	6	0.95	0.87	1.51	0.88	-0.07	2.84
ปริมาณแอมิโลส (%)	SNV	7,142-4,012	5	1.27	0.90	1.47	0.87	0.23	2.64
ค่าความคงตัวของเจล (มม.)	SNV	10,000-4,000	4	5.01	0.82	5.66	0.78	0.26	1.87
ค่าการสลายเมล็ดข้าวในต่าง	SNV	10,000-4,000	7	0.52	0.91	0.67	0.86	-0.03	2.69

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

<sup>2)</sup> Bias คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการกับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง

<sup>3)</sup> RPD คือ สัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ซึ่งพันธะและโมเลกุลที่เกี่ยวข้องนั้นมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของแอมิโลสและโมเลกุลสตาร์ชที่เป็นองค์ประกอบหลักภายในข้าว นอกจากนี้ Tsuchikawa, Murata, Kohara & Mitsui (2003) พบว่าคลื่นที่ตำแหน่ง  $7,042$  และ  $6,775 \text{ cm}^{-1}$  มีความสัมพันธ์กับส่วนอสัณฐาน (Amorphous regions) ของโครงสร้างเม็ดแป้ง



**ภาพที่ 4.9** การเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลสระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

การตรวจสอบความแม่นยำเมื่อพิจารณาจากสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง จะพบว่าสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR ช่วงจำนวนคลื่น  $7,142-4,012 \text{ cm}^{-1}$  มีความเหมาะสมและแม่นยำในการทำนายค่าปริมาณแอมิโลส เนื่องจากมีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 1.47%, 0.23% และ 2.64 ตามลำดับ Delwiche, Bean, Miller, Webb & Williams (1995) สร้างสมการทำนายปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าวด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการสะท้อนกลับของแสงช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,498 นาโนเมตร พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายปริมาณแอมิโลสด้วยวิธี PLSR มีค่า SEP และ Bias เท่ากับ 1.04% และ -0.077% ตามลำดับ ในปีถัดมา Delwiche, McKenzie & Webb (1996) ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสของข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการสะท้อนกลับของแสง

ช่วงความยาวคลื่น 1,100-2,500 นาโนเมตร พบว่าสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.887 และมีค่า SEP และ Bias เท่ากับ 1.33 และ -0.01% ตามลำดับ

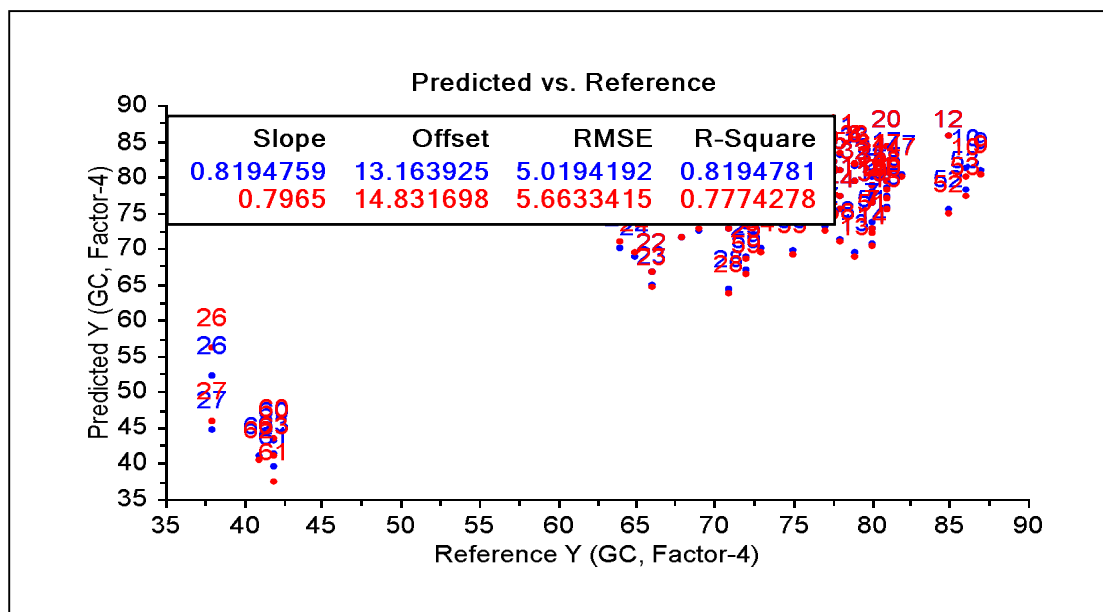
**Barton, Windham, Champagne & Lyon (1998)** ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสในข้าวขาวขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการส่องผ่าน ช่วงความยาวคลื่น 1,100-1,700 นาโนเมตร พบว่าสมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธี PLSR เพื่อใช้ในการทำนายปริมาณแอมิโลสมีค่า SEC เท่ากับร้อยละ 0.55 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่สร้างขึ้นด้วยตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องพบว่าสมการที่สร้างขึ้นมีค่า SEP เท่ากับ 0.23% และ Shimizu, Katsura, Yanagisawa, Inoue, Withey, Cowe, Eddison, Blakeney, Kimura, Yoshizaki, Okadome, Toyoshima & Ohysubo (1999) ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสในข้าวญี่ปุ่นขนาดเต็มเมล็ดด้วยเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบการส่องผ่านของแสงช่วงความยาวคลื่น 833-1,050 นาโนเมตร ด้วยวิธี PLSR พบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าปริมาณแอมิโลสมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.740 และมีค่า SEP เท่ากับ 1.25% และเมื่อนำสมการที่สร้างขึ้นมาตรวจสอบความแม่นยำของสมการพบว่า มีความแม่นยำน้อยเนื่องจากปริมาณแอมิโลสของตัวอย่างข้าวญี่ปุ่นที่นำมาสร้างสมการมีค่าในช่วงแคบ คือ 13.2-20.7%

อย่างไรก็ตาม Bao, Cai & Corke (2001) พบว่าเทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูงในการทำนายปริมาณแอมิโลส โดยพบว่าการใช้เทคนิคสเปกโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้แบบสะท้อนกลับช่วงความยาวคลื่น 400-2,500 นาโนเมตร ตรวจสอบปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวด้วยวิธีทางสถิติ PLSR มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.960 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการ พบว่ามีค่า SEP และ Bias เท่ากับ 1.39 และ -0.17% ตามลำดับ

### 3.3 การสร้างสมการทำนายค่าความคงตัวของเจล

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความคงตัวของเจลของข้าวกล้อง คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น 10,000-4,000  $\text{cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 4 แพกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.82 และ 5.01 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง (แสดงดังภาพที่ 4.10) พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 5.63 มิลลิเมตร, 0.23 มิลลิเมตร และ 1.66 ตามลำดับ โดยพบว่าสมการดังกล่าวมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำสำหรับการทำนายค่าความคงตัวของเจลของข้าวกล้อง อย่างไรก็ตาม Bao, Cai & Corke (2001) สรุปว่าสมการที่สร้างขึ้นเพื่อ

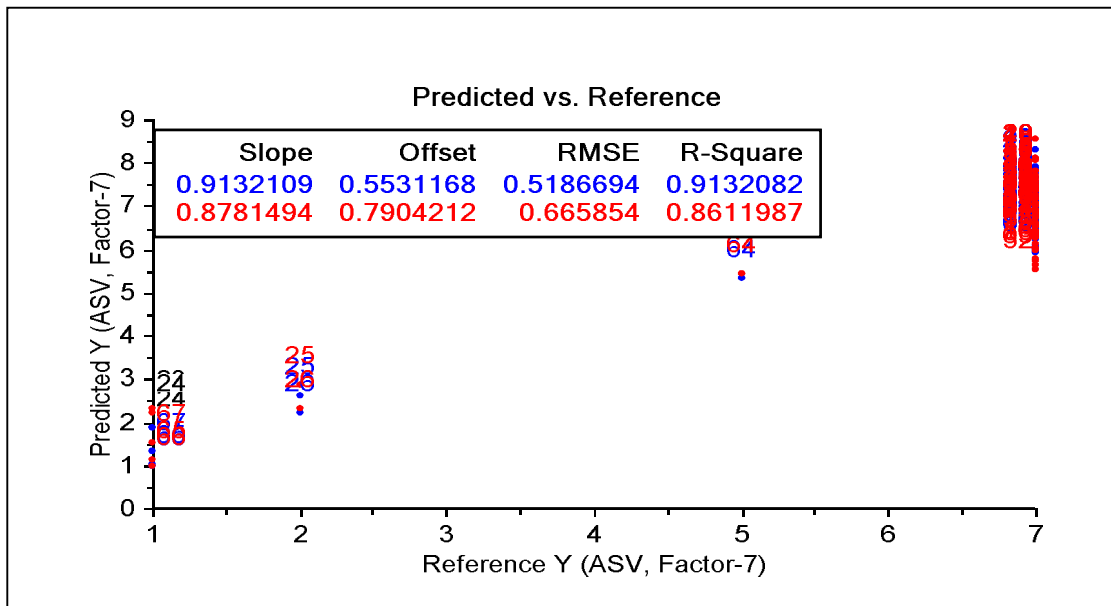
ตรวจสอบค่าความคงตัวของเจลแป้งข้าวที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ **0.81** และมีค่า SEP เท่ากับ **7.12** สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวได้



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของเจลระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

### 3.4 การสร้างสมการทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง คือสมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 7 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ **0.91** และ **0.52** ของค่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง (Units on a 1-7 visual scale) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.11 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องพบว่า มีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ **0.67** ของค่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง **-0.03** ของค่าระดับการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และ **2.69** ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

จากการศึกษาการสร้างสมการสำหรับทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้พบว่าสมการที่สร้างขึ้นไม่ค่อยมีความแม่นยำในการทำนายค่าทางเคมีดังกล่าว โดย Delwiche, McKenzie & Webb (1996) ตรวจสอบระดับการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างความเข้มข้น 1.5% ด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ช่วงความยาวคลื่น 1,140-1,800 นาโนเมตร ด้วยวิธีทางสถิติ PLSR พบว่าสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 6 แพกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่า SEP และ Bias เท่ากับ 0.822, 0.43 และ -0.08 ตามลำดับ Wadsworth (1994) อธิบายว่าค่าการสลายของเมล็ดข้าวในสารละลายต่างมีความสัมพันธ์กับโมเลกุลของน้ำที่ความยาวคลื่น 1,930 และ 1,450 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม Srisawas (2009) พบว่าเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่างได้ โดยสมการที่เหมาะสมสร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับให้ราบเรียบ (Smoothing) แต่มีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่สูงถึง 19 แพกเตอร์ เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าสูงถึง 0.806 และ

มีค่า SEP เท่ากับ 0.545 ซึ่งสมการที่มีตัวแปรใหม่สูงถึง 19 แฟกเตอร์นั้นยังไม่มีความแม่นยำในการทำนายค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง

### 3.5 การสร้างสมการทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าว

#### 3.5.1 ค่าความหนืดสูงสุด

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดสูงสุดของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.78 และ 115 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.12 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 137 RVU, -11.90 RVU และ 1.89 ตามลำดับ

#### 3.5.2 ค่าการแตกตัวของแป้งสุก

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าการแตกตัวของแป้งสุกของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  โดยทั้งสองสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.92 และ 60 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.13 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 71 RVU, -7.15 RVU และ 2.87 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 สรุปสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายคุณสมบัติทางด้านความหนืดของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดด้วยวิธี PLSR

คุณสมบัติด้านความหนืด	วิธีการปรับแต่งสเปคตรัม <sup>1)</sup>	จำนวนคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	แฟกเตอร์	กลุ่มสร้างสมการ (Calibration set)		กลุ่มการทวนสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set)		Bias <sup>2)</sup>	RPD <sup>3)</sup>
				SEC	R <sup>2</sup> <sub>cal</sub>	SEP	r <sup>2</sup> <sub>val</sub>		
ค่าความหนืดสูงสุด (RVU)	SNV	10,000-4,000	5	115	0.78	137	0.71	-11.90	1.89
ค่าการแตกตัวของแป้งสุก (RVU)	MSC, SNV	10,000-4,000	5	60	0.92	71	0.89	-7.15	2.87
ค่าความคงตัวของแป้งสุก (RVU)	MSC, SNV	10,000-4,000	4	219	0.91	245	0.88	33.47	2.88
ค่าความหนืดสุดท้าย (RVU)	Sav.Gol_2nd deriv <sup>4)</sup>	10,000-4,000	5	69	0.93	141	0.71	0.84	1.48
ค่าความหนืดหลังการทำเย็น (RVU)	MSC + Sav.Gol_2nd deriv <sup>5)</sup>	10,000-4,000	5	0.45	0.93	0.86	0.74	-0.11	1.80

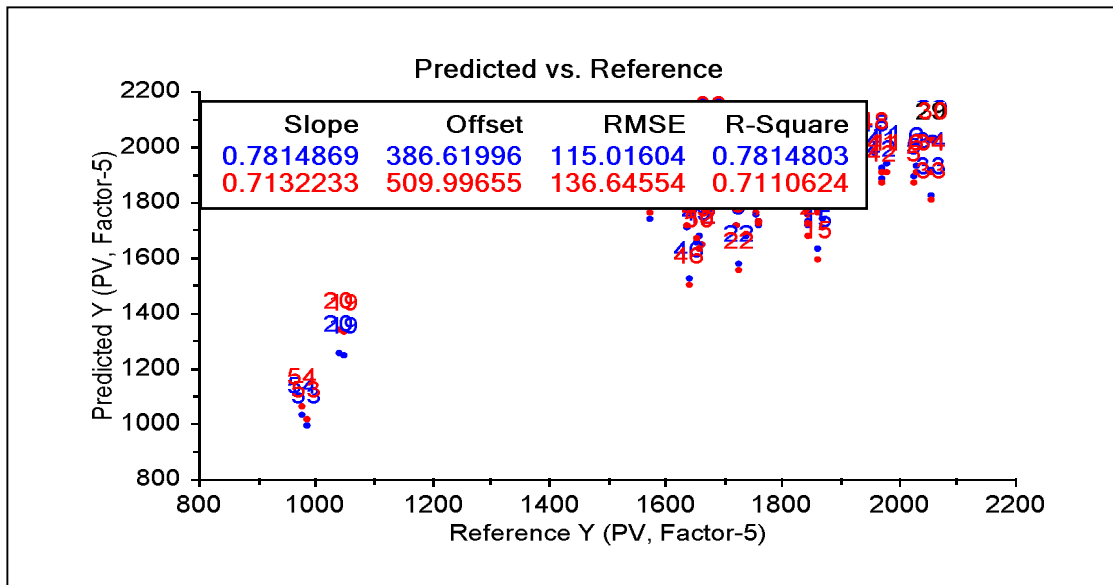
หมายเหตุ: <sup>1)</sup> MSC คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และ SNV คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

<sup>2)</sup> Bias คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการกับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง

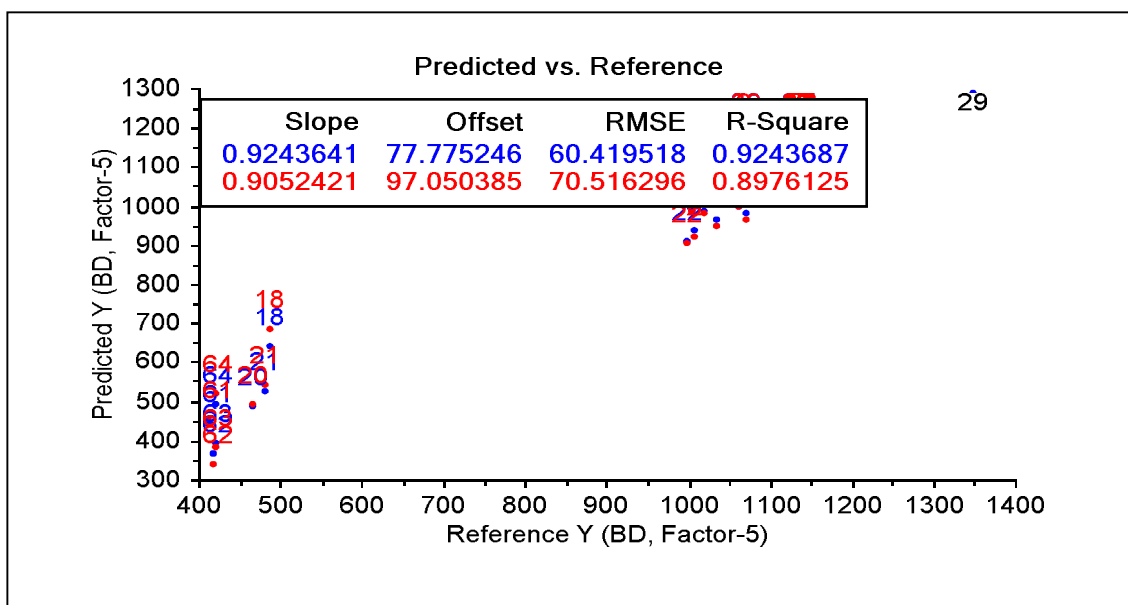
<sup>3)</sup> RPD คือ สัดส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าทางเคมีและค่า SEP ของตัวอย่างในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการแคลิเบรชันและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

<sup>4)</sup> Sav.Gol\_2nd deriv (Savitzky Golay 2<sup>nd</sup> derivative, 10 points averaging, 2<sup>nd</sup> polynomial order) คือ การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการแปลงให้เป็นอนุพันธ์อันดับสอง

<sup>5)</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 การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าให้เป็นอนุพันธ์อันดับสอง



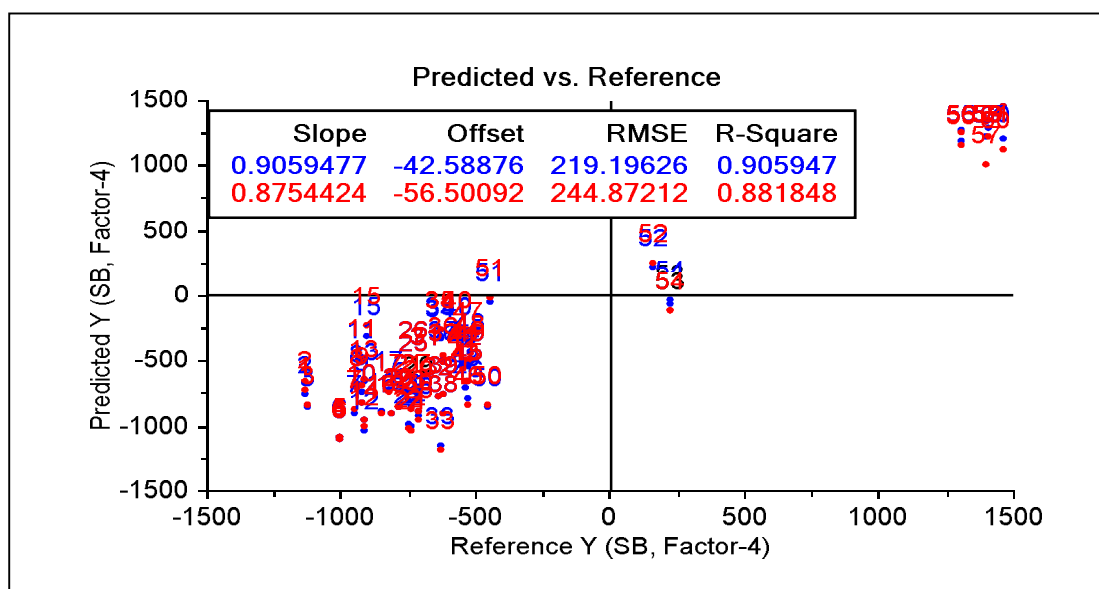
ภาพที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสูงสุดระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)



ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าการแตกตัวของแป้งสุกระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

### 3.5.3 ค่าการคงตัวของแป้งสุก

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความคงตัวของแป้งสุกของข้าวกล้องงอกขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000\text{ cm}^{-1}$  โดยทั้งสองสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 4 แพกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.91 และ 219 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.14 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 254 RVU, 33.47 RVU และ 2.88 ตามลำดับ

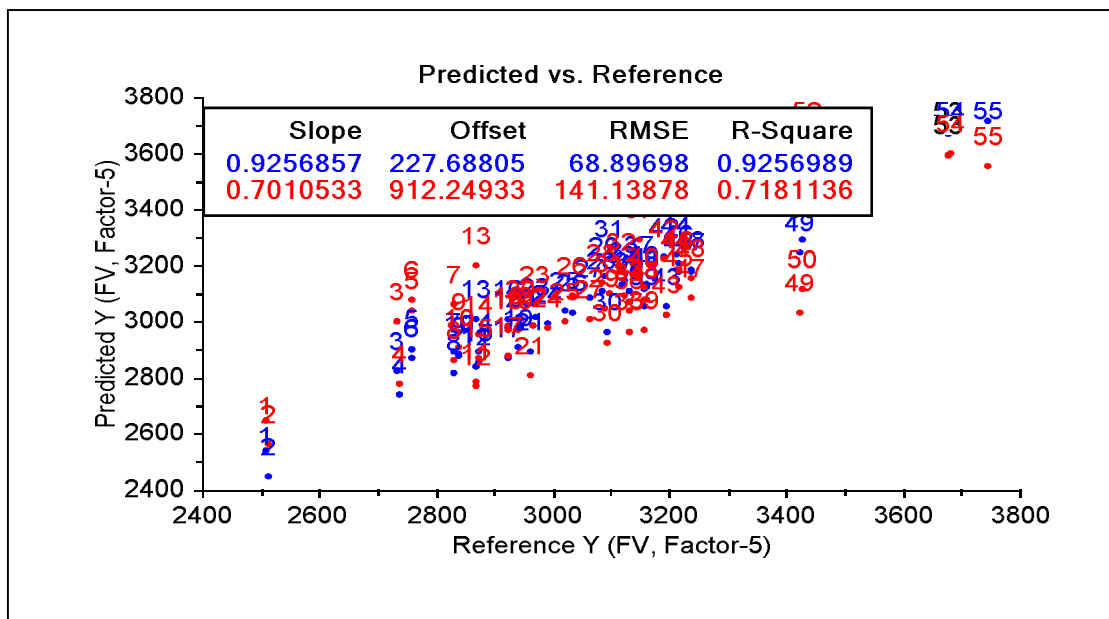


ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าความคงตัวของแป้งสุกระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

### 3.5.4 ค่าความหนืดสุดท้าย

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดสุดท้ายของข้าวกล้องงอกขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ และวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น  $10,000-4,000\text{ cm}^{-1}$  โดยทั้งสองสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แพกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์

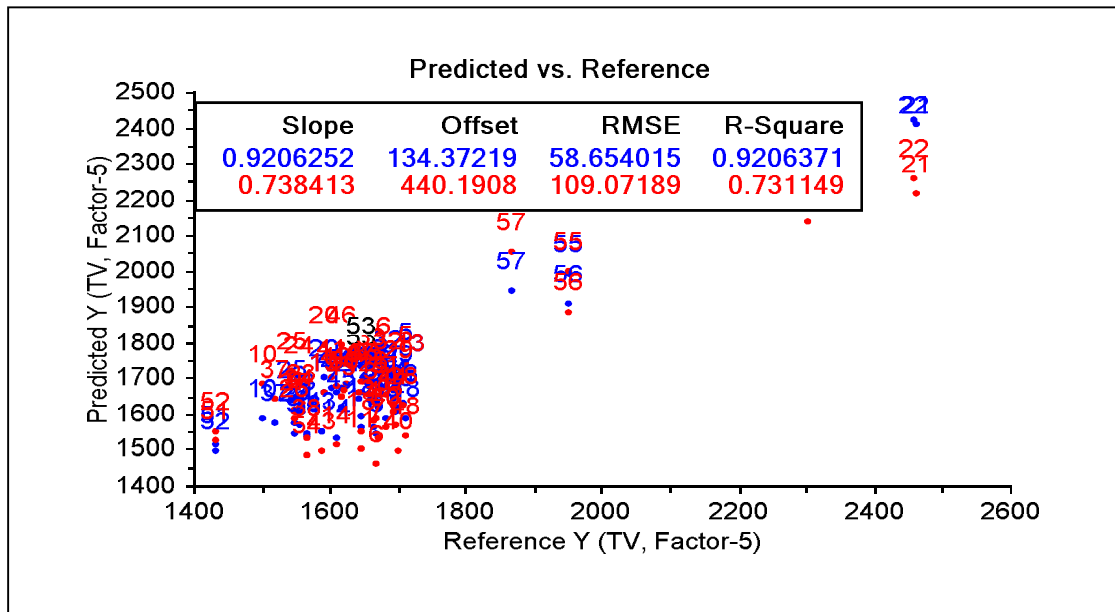
สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.93 และ 69 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.15 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 141 RVU, 0.84 RVU และ 1.48 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบค่าความหนืดสุดท้ายระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

### 3.5.5 ค่าความหนืดหลังการทำเย็น

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความหนืดหลังการทำเย็นของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ ร่วมกับวิธีการแปลงค่าให้เป็นอนุพันธ์อันดับที่สองช่วงจำนวนคลื่น 10,000-4,000  $\text{cm}^{-1}$  โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ 5 แฟกเตอร์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่า SEC เท่ากับ 0.93 และ 0.45 RVU ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.16 และเมื่อตรวจสอบความแม่นยำของสมการจากกลุ่มตรวจสอบความถูกต้อง พบว่ามีค่า SEP, Bias และ RPD เท่ากับ 0.86 RVU, -0.01 RVU และ 1.80 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.16 การเปรียบเทียบค่าความหนืดหลังการทำให้เย็นระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี (Reference value) กับค่าที่ได้จากการทำนาย (Predicted value) ด้วยวิธี PLSR ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการ (Calibration set; ●) และกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการ (Validation set; ●)

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ทำนายค่าคุณสมบัติทางด้านความหนืดของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด โดย Radhika Reddy, Subramanian, Ali & Bhattacharya (1994) พบว่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวมีอิทธิพลมาจากสายโซ่แป้งของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน และความแปรปรวนระหว่างอัตราส่วนของโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ซึ่งมีผลทำให้การทำนายค่าคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ไม่มีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม Shimizu, Yanagisawa, Okadome, Yoyoshima, Andren, Kimura & Ohtsubo (2001) Bao, Cai & Corke (2001) และ Meadows & Barton II (2002) พบว่าสมการที่สร้างขึ้นจากเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้มีความแม่นยำสูงในการทำนายค่าคุณสมบัติทางด้านความหนืดของข้าว

ดังนั้น สมการที่สร้างขึ้นด้วยวิธีทางสถิติ PLSR จึงมีความเหมาะสมในการทำนายค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดของข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

#### 4. การสร้างสมการทำนายสำหรับแบ่งกลุ่มข้าวตามค่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด

การแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากกลุ่มข้าวหอม (Aromatic rice varieties) และกลุ่มข้าวที่ไม่ใช่ข้าวหอม (Non-aromatic rice varieties) มีความสำคัญต่อคุณภาพและมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทยมาก เนื่องจากข้าวหอมมะลิเป็นข้าวที่มีกลิ่นหอม เมล็ดเรียวยาว ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ จึงส่งผลให้ข้าวหอมมะลิมีราคาสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่น ๆ (Cheapun, Wongpiyachon & Kongseree, 2005) อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างข้าวหอมมะลิกับข้าวกลุ่มข้าวหอมและกลุ่มข้าวที่ไม่ใช่ข้าวหอมไม่ได้มีเพียงแต่กลิ่นหอม (Aroma) เท่านั้น แต่คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวยังมีความแตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้น การแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ จะพิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวเป็นสำคัญ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณแอมิโลส ค่าความคงตัวของเจล ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง และคุณสมบัติด้านความเหนียวของข้าวโดยใช้เทคนิคทางสถิติวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก หรือ PCA และการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด หรือ PLS-DA สมการทำนายแบ่งกลุ่มข้าวตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดที่ถูกรวบรวมขึ้นจะถูกนำมาตรวจสอบความแม่นยำของสมการด้วยวิธี Full cross validation

4.1 การสร้างสมการสำหรับการทำนายแบ่งกลุ่มข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

จากคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องหอมมะลิที่แตกต่างจากข้าวกล้องกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกล้องกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกล้องกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาแบ่งกลุ่มข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ตัวอย่างข้าวทั้งหมด 60 ตัวอย่าง สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ได้ 4 กลุ่ม ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ (Principal Components; PCs) แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าความแปรปรวน (Variance) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ที่แต่ละแฟกเตอร์สามารถอธิบายความผันแปรได้ ค่า Eigenvalue หมายถึง ค่าความผันแปรหรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้โดยแฟกเตอร์ หรือกล่าวได้ว่า Eigenvalue คือ ผลบวกค่าของ Factor loading ยกกำลังสองของแต่ละตัวแปรในแฟกเตอร์หนึ่ง ๆ และค่า Cumulative หมายถึง ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ค่าความแปรปรวน (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, หน้า 4-19)

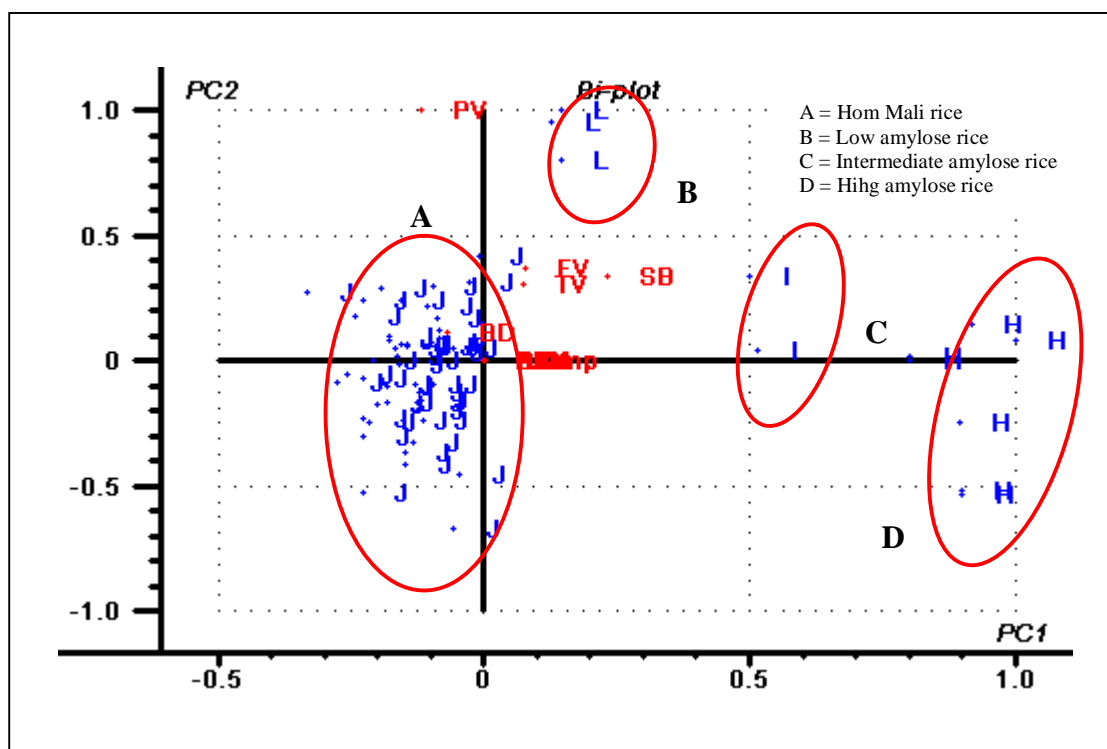
**ตารางที่ 4.5** ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้องเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำแนกองค์ประกอบหลัก

ตัวแปร	องค์ประกอบหลัก	
	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>
ปริมาณโปรตีน		<b>0.96</b>
ปริมาณแอมิโลส	<b>0.93</b>	
ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง	<b>-0.97</b>	
ค่าความคงตัวของเจล	<b>-0.87</b>	
คุณสมบัติด้านความหนืด		
ค่าความหนืดสูงสุด	<b>-0.86</b>	
ค่าการแตกตัวของแป้งสุก	<b>-0.93</b>	
ค่าความคงตัวของแป้งสุก	<b>0.96</b>	
ค่าความหนืดสุดท้าย	<b>0.80</b>	
ค่าความหนืดหลังการทำเย็น	<b>0.94</b>	
<b>Eigenvalue</b>	<b>7.42</b>	<b>1.08</b>
<b>Variance (%)</b>	<b>67.46</b>	<b>9.83</b>
<b>Cumulative (%)</b>	<b>67.46</b>	<b>77.29</b>

เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.5 จะพบว่าองค์ประกอบ 1 (PC<sub>1</sub>) และองค์ประกอบ 2 (PC<sub>2</sub>) สามารถอธิบายค่าความแปรปรวนของตัวแปรทั้ง 9 ตัวแปรได้ 67.46% และ 9.83% ตามลำดับ โดยทั้งสององค์ประกอบสามารถอธิบายค่าแปรปรวนรวมของตัวแปรทั้ง 9 ตัวแปรได้ 77.29% นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบ 1 ประกอบด้วยตัวแปร 8 ตัวแปร คือ ปริมาณแอมิโลส ค่าการสลายเมล็ดข้าวในสารละลายต่าง ค่าความคงตัวของเจล ค่าความหนืดสูงสุด ค่าการแตกตัวของแป้งสุก ค่าความคงตัวของแป้งสุก ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าความหนืดหลังการทำเย็น ในขณะที่องค์ประกอบที่ 2 มีเพียง 1 ตัวแปรเท่านั้น คือ ปริมาณโปรตีน

ภาพที่ 4.17 แสดงค่าคะแนนปัจจัย (PCA score) ของ 2 องค์ประกอบ โดยพบว่าค่าคะแนนปัจจัยของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวกล้องออกเป็น 4 กลุ่มตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวกล้อง คือ ข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง และยังพบว่า

วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักสามารถจำแนกข้าวพันธุ์กข 15 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มข้าวหอมมะลิ ออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ ซึ่งเป็นข้าวที่อยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ และเป็นข้าวที่ นิยมนำมาผสมกับข้าวหอมมะลิ ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแตกต่างจากผลการทดลองของ Theanjumpol, Ripon, Karaboon, Suwapanit, Thanapornpoonpong & Vearasilp (2005) ที่ ทำการจำแนกข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวพันธุ์อื่น ๆ ด้วยเทคนิคสเปคโตร ปิอินฟราเรดย่านใกล้และแบ่งกลุ่มข้าวด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าข้าวพันธุ์กข 15 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จะมีคุณภาพที่คล้ายกันและจากการแบ่งกลุ่ม ข้าวด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะพบว่าไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในด้าน คุณภาพของข้าวพันธุ์กข 15 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้



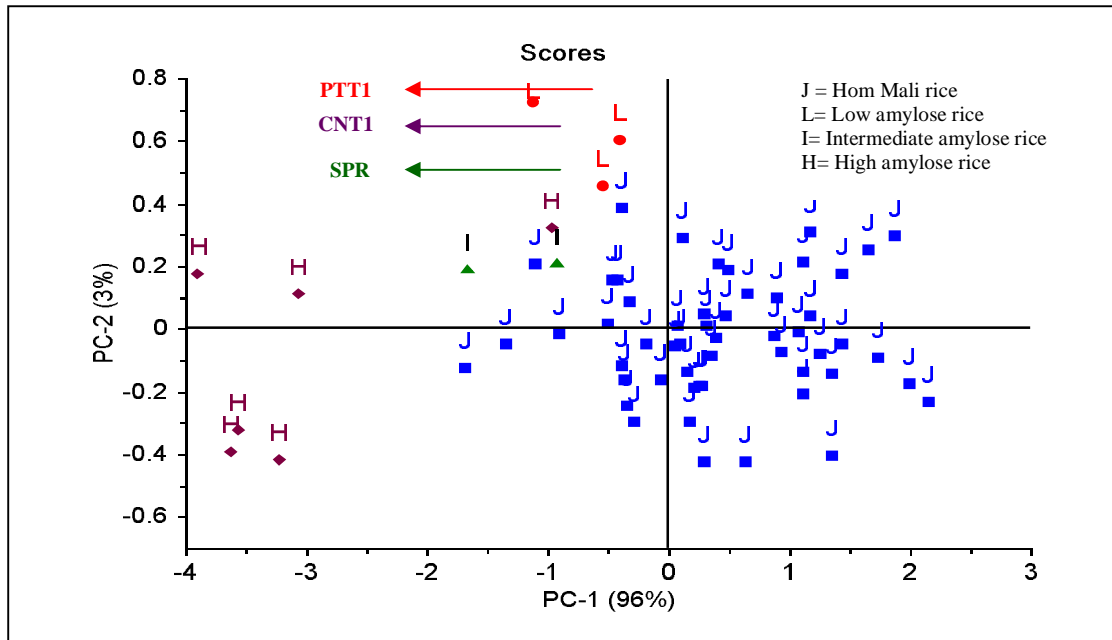
ภาพที่ 4.17 ค่าคะแนนปัจจัยองค์ประกอบ 1 (PC<sub>1</sub>) และองค์ประกอบ 2 (PC<sub>2</sub>) คุณสมบัติทางเคมี ภายนอกของข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ด

**4.2** การสร้างสมการสำหรับการทำนายแบ่งกลุ่มข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดตามคุณลักษณะสเปคตรัมเมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

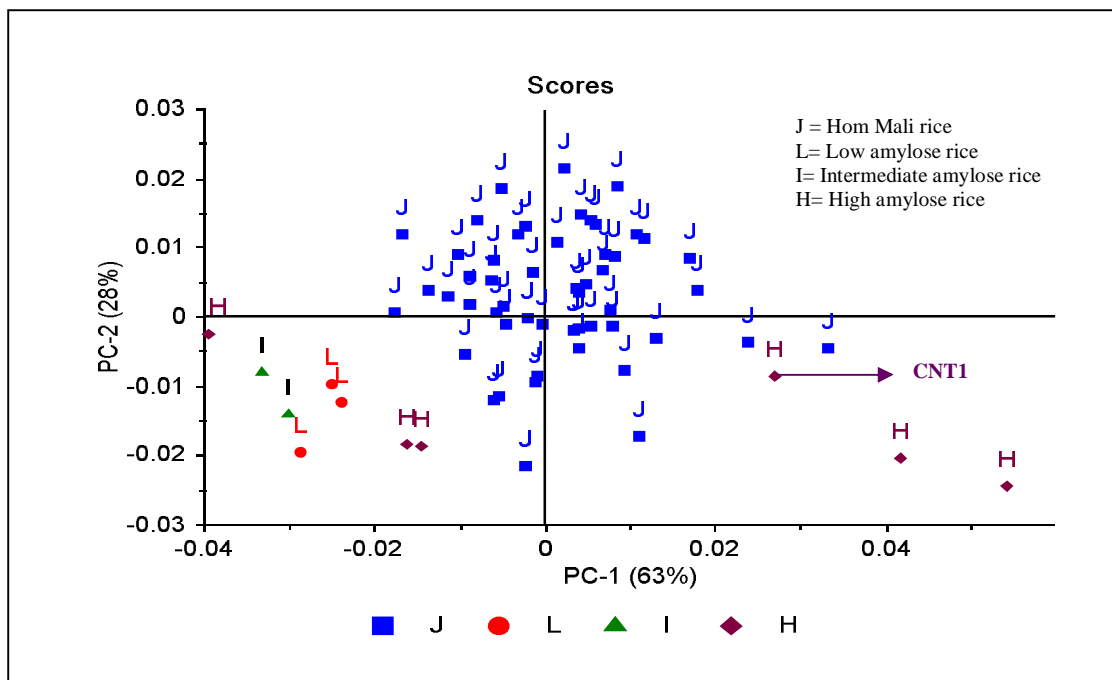
การสร้างสมการสำหรับการทำนายแบ่งกลุ่มข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดตามคุณลักษณะสเปคตรัมเมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถทำได้โดยนำสเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ช่วงความยาวคลื่น  $10,000-4,000 \text{ cm}^{-1}$  มาวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.19-4.23 โดยภาพที่ 4.19 แสดงการกระจายตัวของสเปคตรัมตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัมในแผนภาพค่าคะแนนปัจจัย (Score plot) ซึ่งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบโดยสามารถอธิบายค่าความแปรปรวนรวมได้ 99% และยังพบว่าสามารถจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงได้ แต่ข้าวหอมมะลิไม่สามารถจำแนกออกจากข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ได้อย่างชัดเจน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวพันธุ์ดังกล่าวมีลักษณะคล้ายคลึงกับข้าวหอมมะลิ (แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2) โดยข้าวหอมมะลิจัดอยู่ในกลุ่มข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์ปทุมธานี ส่วนข้าวพันธุ์สุพรรณบุรีและข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีค่าความคงตัวของเจลและคุณสมบัติด้านความหนืดบางคุณสมบัติใกล้เคียงกับข้าวหอมมะลิ จึงส่งผลให้ไม่สามารถจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวพันธุ์ดังกล่าวได้อย่างชัดเจน

สำหรับสเปคตรัมตัวอย่างข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ วิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน วิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองสามารถจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูงได้ แต่ไม่สามารถจำแนกข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ออกจากข้าวหอมมะลิ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 นอกจากนี้เมื่อนำสเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง และสเปคตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สองมาจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าสามารถจำแนกข้าวออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าวหอมมะลิ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

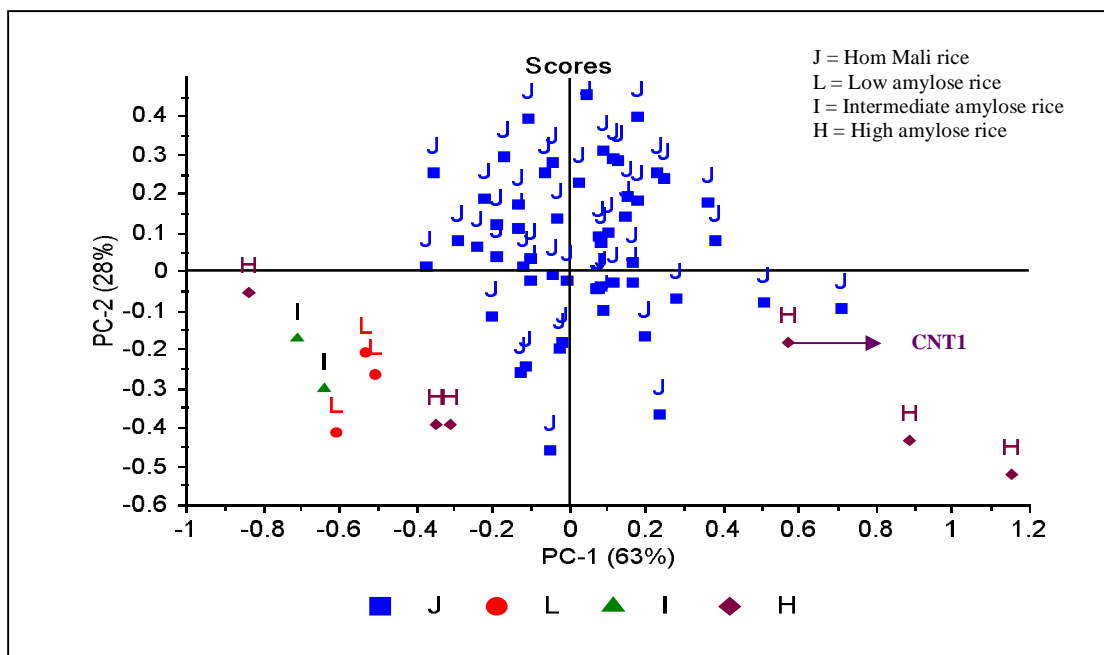
มิโลสปานกลาง และข้าวกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง แต่ไม่สามารถจำแนกข้าวหอมมะลิออกจากข้าวกลุ่มอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจน แสดงดังภาพที่ 4.22 และ 4.23



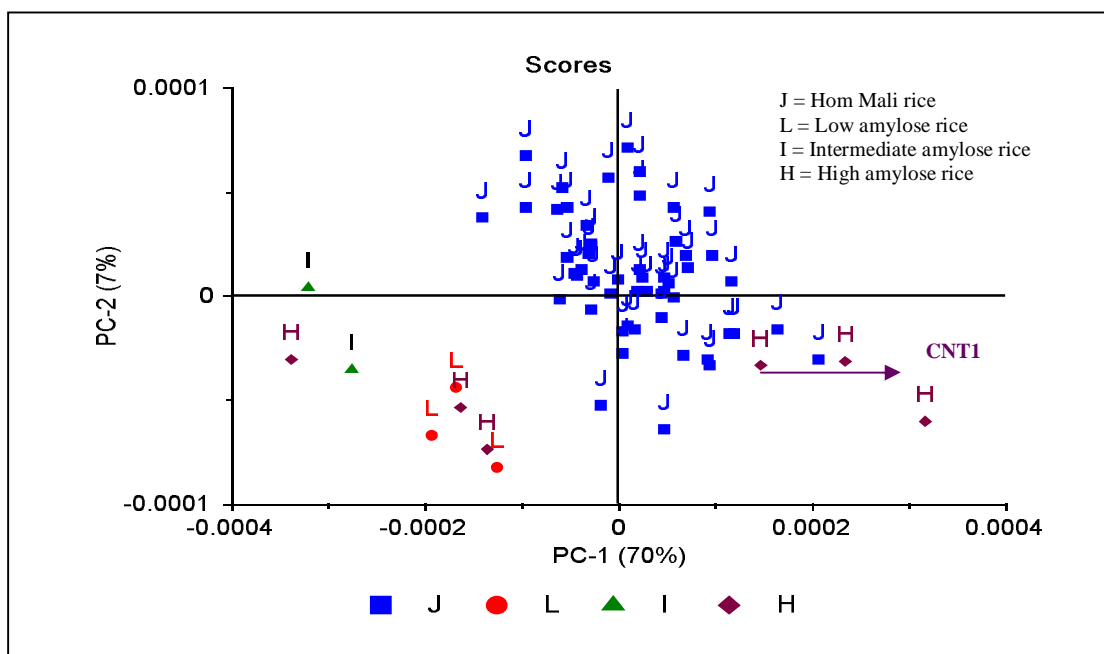
ภาพที่ 4.18 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปคตรัมข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปคตรัม



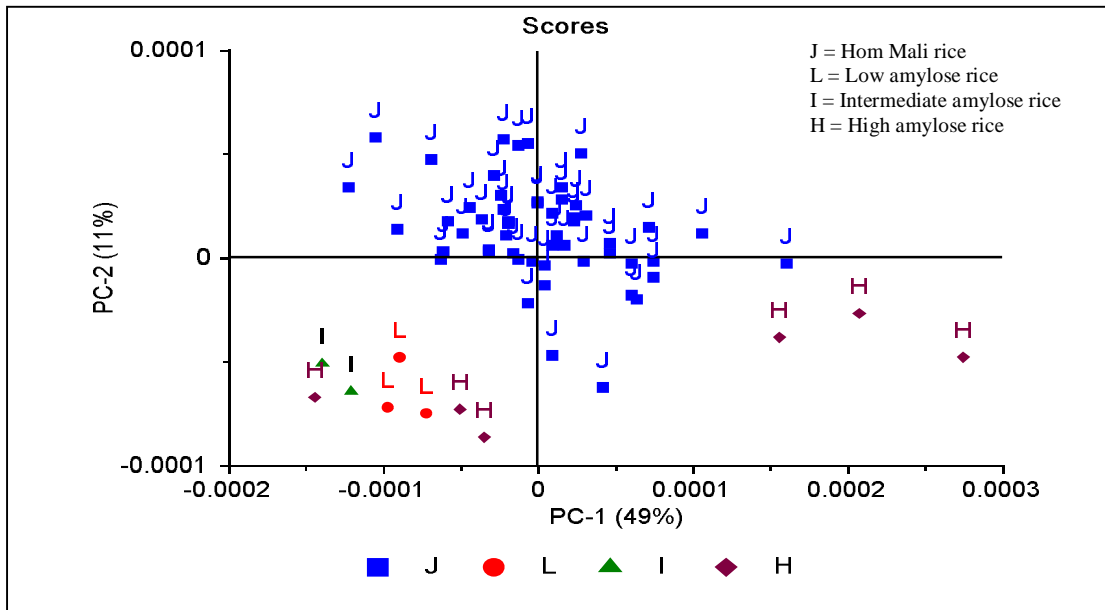
ภาพที่ 4.19 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปคตรัมข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ



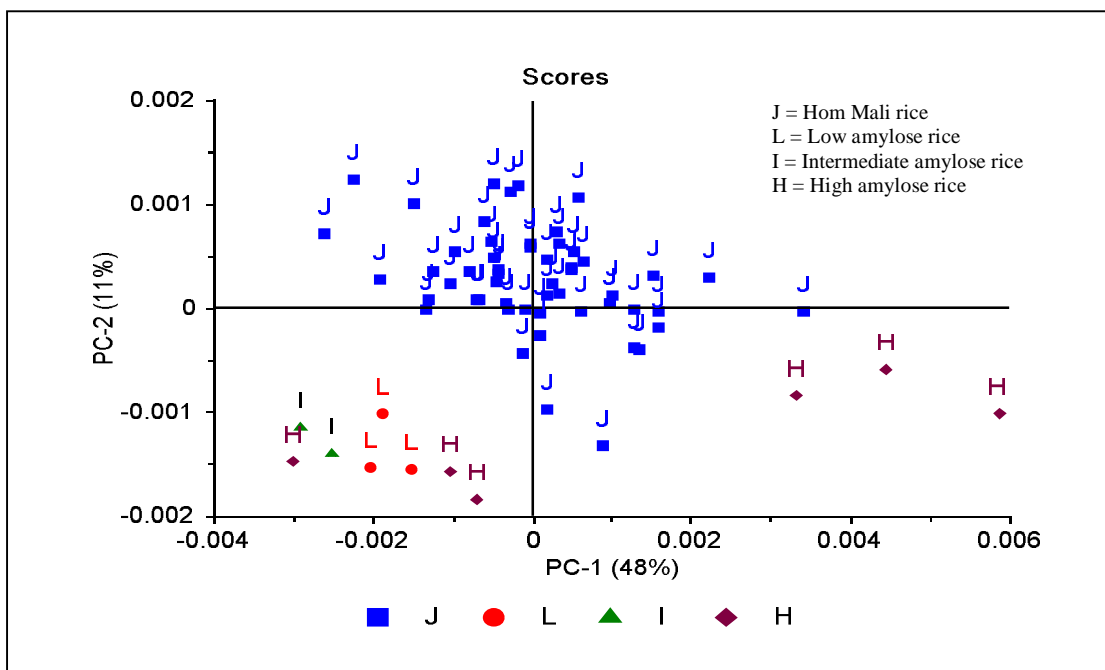
ภาพที่ 4.20 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน



ภาพที่ 4.21 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



ภาพที่ 4.22 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีการอนุพันธ์อันดับที่สอง



ภาพที่ 4.23 ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปกตรัมข้าวกล้องที่ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีการอนุพันธ์อันดับที่สอง

**4.3** การสร้างสมการสำหรับการทำนายแบ่งกลุ่มข้าวกล้องขนาดเต็มเมล็ดตามคุณลักษณะสเปคตรัมเมื่อวัดด้วยเทคนิคสเปคโตรสโคปีอินฟราเรดย่านใกล้ด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

การสร้างสมการทำนายสำหรับแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิด้วยเทคนิควิธีการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด หรือ **PLS-DA** ตามคุณสมบัติทางเคมีกายภาพนั้นจะกำหนดสเปคตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ของตัวอย่างข้าวกล้องหอมมะลิโดยจัดให้อยู่ในกลุ่มที่มีค่าเท่ากับ **1** และสเปคตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ของตัวอย่างข้าวกล้องที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิจะจัดให้อยู่ในกลุ่มที่มีค่าเท่ากับ **0** สเปคตรัมอินฟราเรดย่านใกล้ที่ผ่านการหาค่าเฉลี่ย การปรับแต่งสเปคตรัม และการตรวจสอบสเปคตรัมที่ผิดปกติแล้ว จะถูกนำมาสร้างสมการ **PLS-DA** เพื่อทำนายการแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ การพิจารณาความถูกต้องของการแบ่งกลุ่มจะพิจารณาจากค่าอ้างอิงที่กำหนดขึ้น กล่าวคือการแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิจะถูกจัดเมื่อมีค่าอ้างอิงอยู่ในช่วง **0.5** ถึง **1.5** และในทางตรงกันข้ามถ้าค่าอ้างอิงอยู่ในช่วง **-0.5** ถึง **0.5** แสดงว่าตัวอย่างข้าวกล้องกลุ่มนั้นเป็นข้าวกล้องของข้าวพันธุ์อื่นที่ไม่ใช่ข้าวหอมมะลิ

สมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายการแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่น ๆ ด้วยวิธีทางสถิติ **PLS-DA** แสดงดังตารางที่ **4.6** โดยพบว่าสมการที่เหมาะสมสำหรับทำนายการแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่น ๆ คือ สมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานช่วงจำนวนคลื่น **10,000-4,000 cm<sup>-1</sup>** โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ **5** แพกเตอร์ โดยมีค่า  $R^2_{cal}$ ,  $RMSE_{cal}$ ,  $R^2_{val}$ ,  $RMSE_{val}$  และค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม (**Correctly classified**) เท่ากับ **0.79, 0.17, 0.69, 0.21** และ **66.46%** ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าสมการที่สร้างขึ้นจากการปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณช่วงจำนวนคลื่น **10,000-4,000 cm<sup>-1</sup>** ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่น ๆ ได้เช่นเดียวกัน โดยสมการที่สร้างขึ้นมีการจัดกลุ่มตัวแปรเดิมเป็นตัวแปรใหม่ได้ **5** แพกเตอร์ โดยมีค่า  $R^2_{cal}$ ,  $RMSE_{cal}$ ,  $R^2_{val}$ ,  $RMSE_{val}$  และค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่ม (**Correctly classified**) เท่ากับ **0.78, 0.17, 0.66, 0.22** และ **65.61%** ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.6** ค่าสถิติการจำแนกข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธีการ  
วิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

การปรับแต่ง สเปคตรัม	จำนวน ตัวอย่าง	จำนวน แพกเตอร์	$R^2_{cal}$	$R^2_{val}$	$RMSE_{cal}$	$RMSE_{val}$	Correctly classified (%)
No pre-processing <sup>1)</sup>	126	3	0.70	0.64	0.20	0.22	58.88
MSC <sup>2)</sup>	126	5	0.78	0.66	0.17	0.22	65.61
SNV <sup>3)</sup>	126	5	0.79	0.69	0.17	0.21	66.46
Sav.Gol_2nd deriv <sup>4)</sup>	126	3	0.67	0.56	0.21	0.25	56.36
MSC + Sav.Gol_2nd deriv <sup>5)</sup>	126	3	0.68	0.59	0.21	0.24	57.20
MSC + Sav.Gol_2nd deriv <sup>6)</sup>	126	3	0.69	0.60	0.20	0.24	58.04

หมายเหตุ <sup>1)</sup> ไม่มีการปรับแต่งสเปคตรัม

<sup>2)</sup> การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

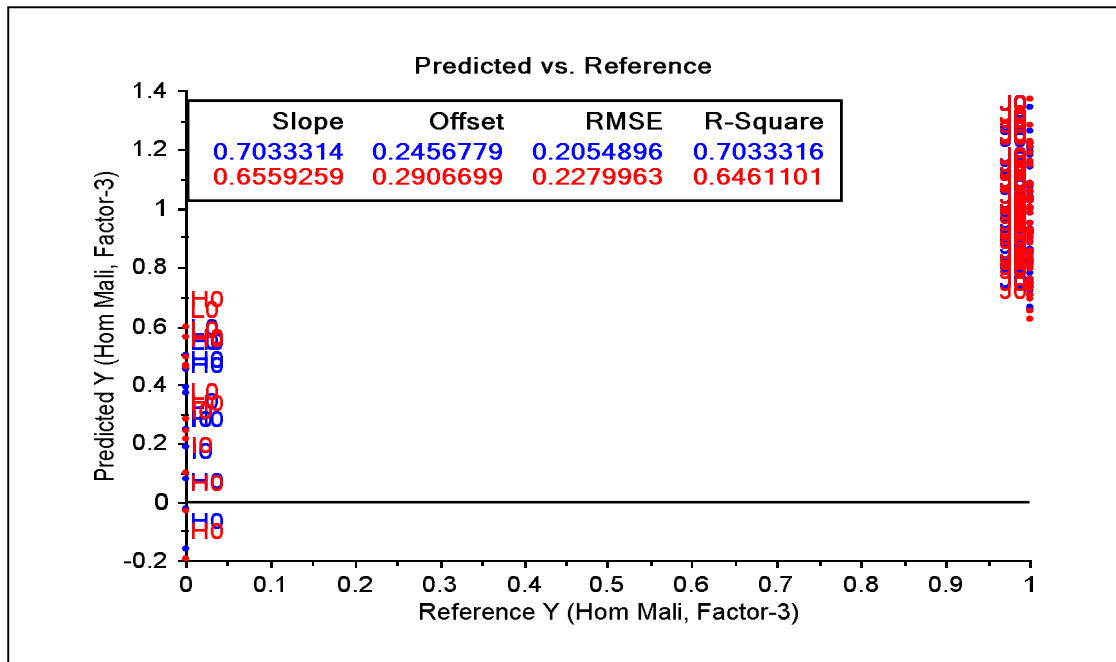
<sup>3)</sup> การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

<sup>4)</sup> การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

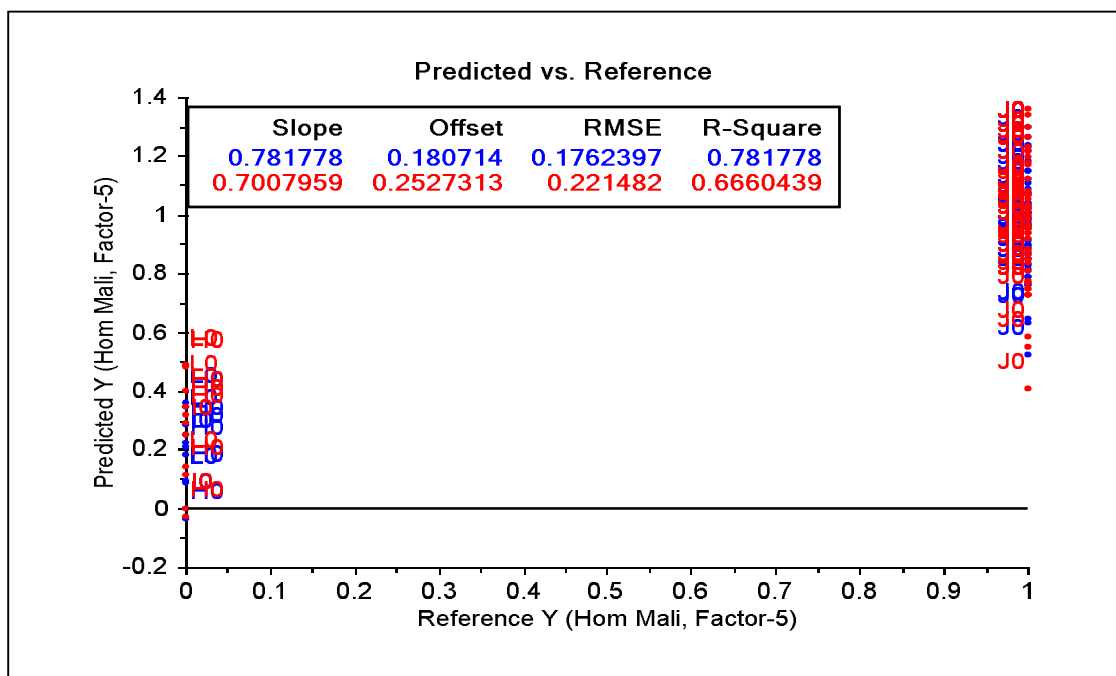
<sup>5)</sup> การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

<sup>6)</sup> การปรับแต่งสเปคตรัมด้วยวิธีการปรับแก้ความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง

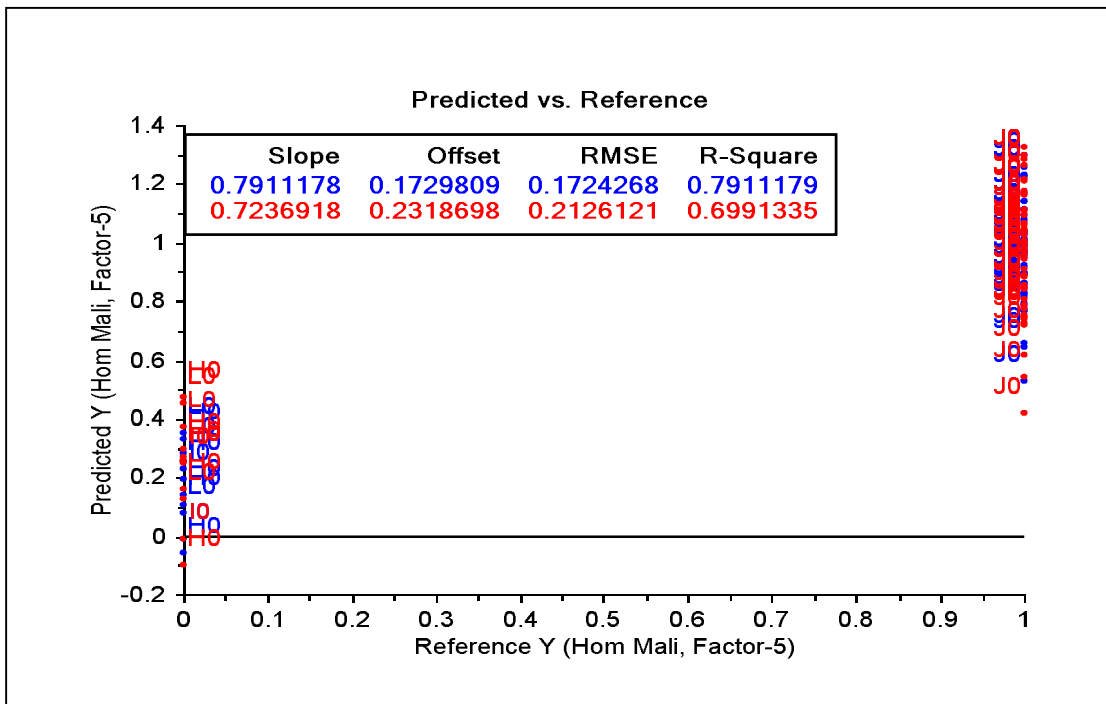
ลักษณะภาพค่าคะแนนปัจจัยของสเปคตรัมการจำแนกกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่น ๆ ด้วยวิธีการปรับแต่งสเปคตรัมที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.24-4.29



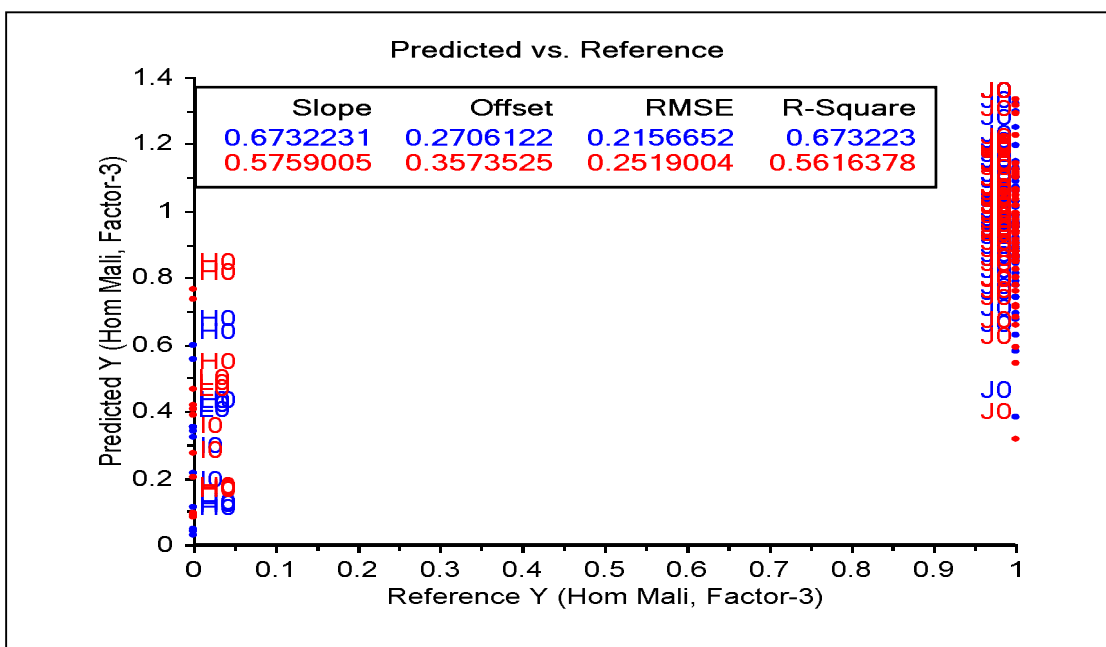
ภาพที่ 4.24 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปคตรัมที่ไม่มีการปรับแต่งสเปคตรัม



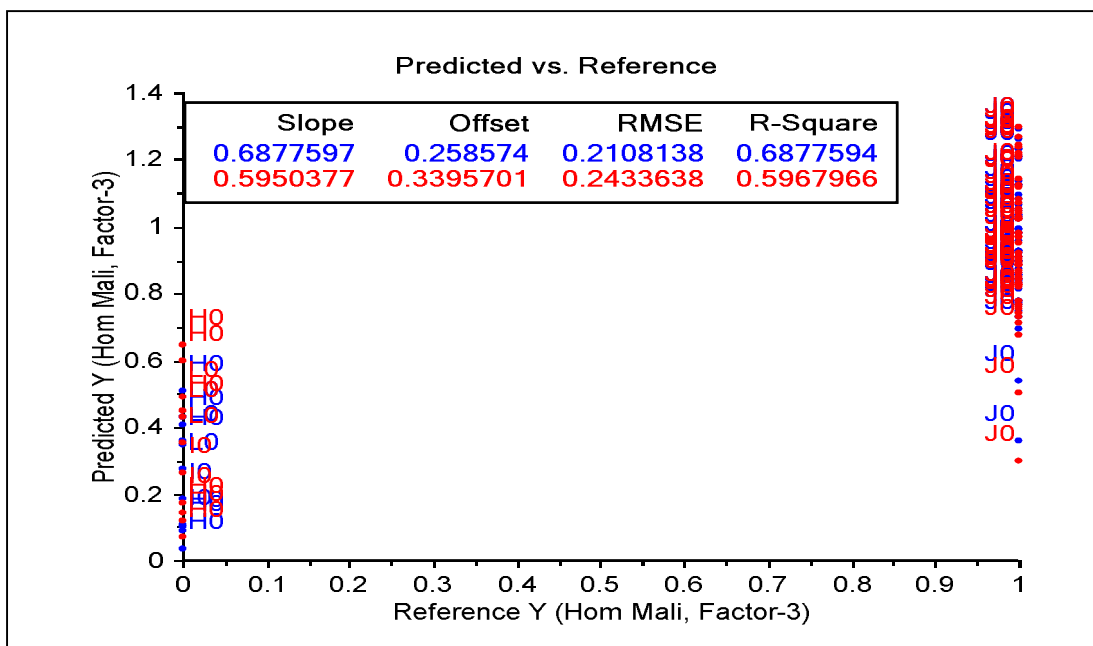
ภาพที่ 4.25 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปคตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ



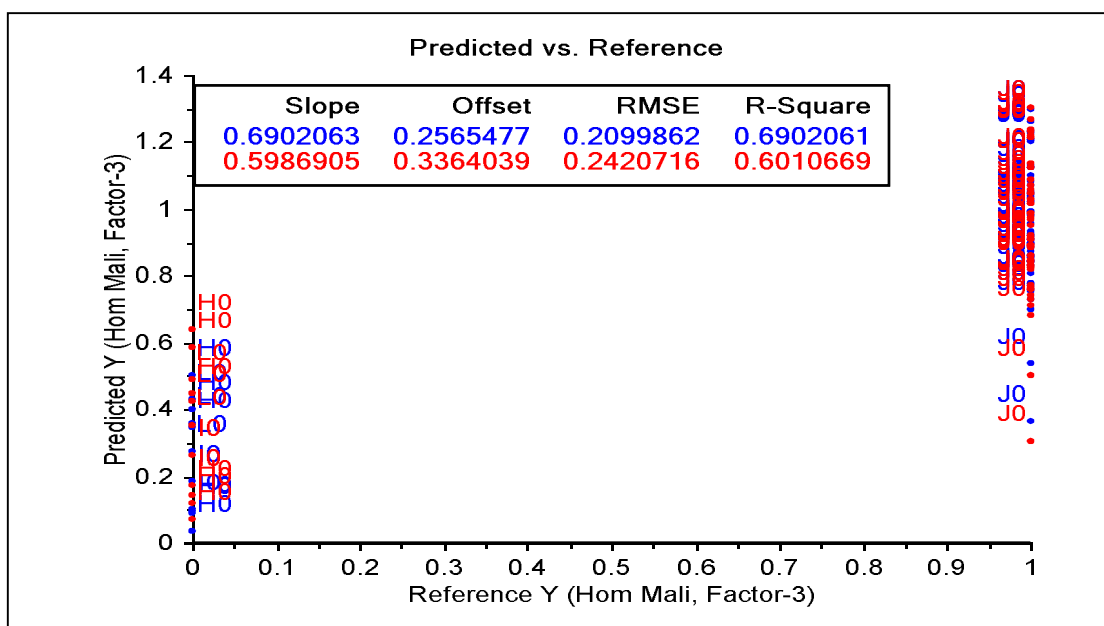
ภาพที่ 4.26 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน



ภาพที่ 4.27 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



ภาพที่ 4.28 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธีการปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



ภาพที่ 4.29 การแบ่งกลุ่มข้าวกล้องหอมมะลิออกจากข้าวกล้องกลุ่มอื่นด้วยวิธี PLS-DA จากสเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐานร่วมกับวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่สอง



