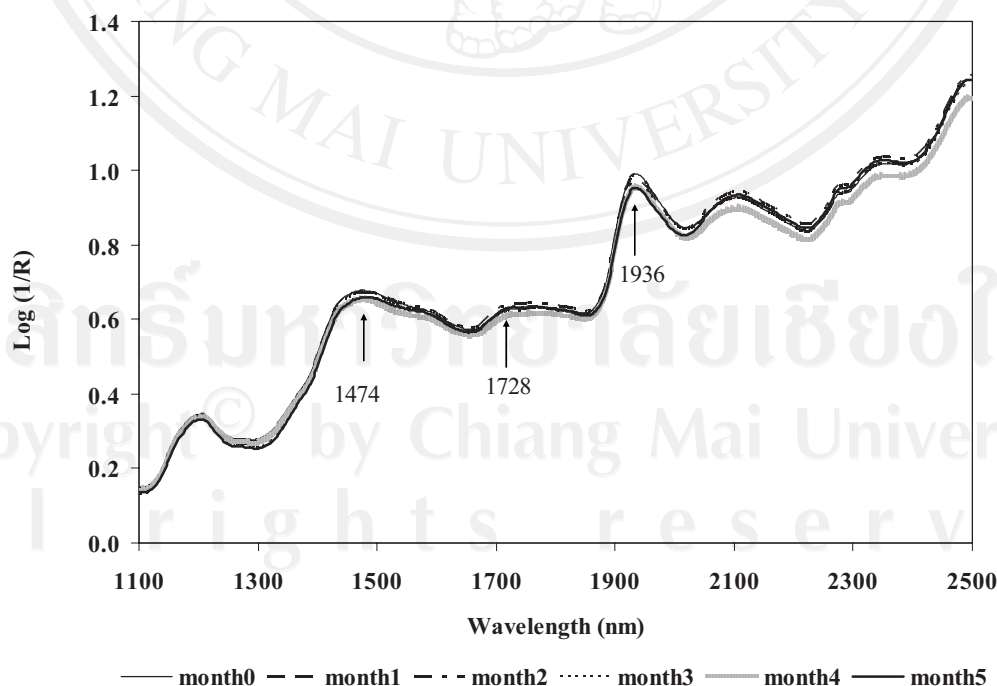


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

จากการวัดสเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาในสภาพอุณหภูมิห้อง ด้วยเครื่อง NIRSystem 6500 ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร พบพีก (peak) ชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1474 และ 1936 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.1) ซึ่งคือพีกของน้ำ เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของเมล็ดพันธุ์ และโมเลกุลของน้ำสามารถดูดกลืนแสง NIR ได้ดี (Iwamoto *et al.*, 1995) สอดคล้องกับรายงานของ ศิราพร (2551) พบพีกน้ำที่ความยาวคลื่น 1456 และ 1946 นอกจากนี้ ยังพบพีกที่ความยาวคลื่น 1728 นาโนเมตร ซึ่งคือพีกของโปรตีน สอดคล้องกับ Rittiron *et al.* (2004, 2005) พบโปรตีนในการตรวจวัดข้าวเมล็ดเดี่ยว (single kernel) ของข้าวกล้อง และข้าวสารญี่ปุ่น ที่ความยาวคลื่น 1735 และ 1726 นาโนเมตร ตามลำดับ สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาไว้ในแต่ละเดือน มีลักษณะของสเปกตรัมเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงระดับความสูงต่ำของสเปกตรัมในแต่ละเดือน ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง



ภาพที่ 4.1 สเปกตรัมดั้งเดิมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน

4.2 การสร้างสมการเทียบมาตรฐานองค์ประกอบทางเคมีในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

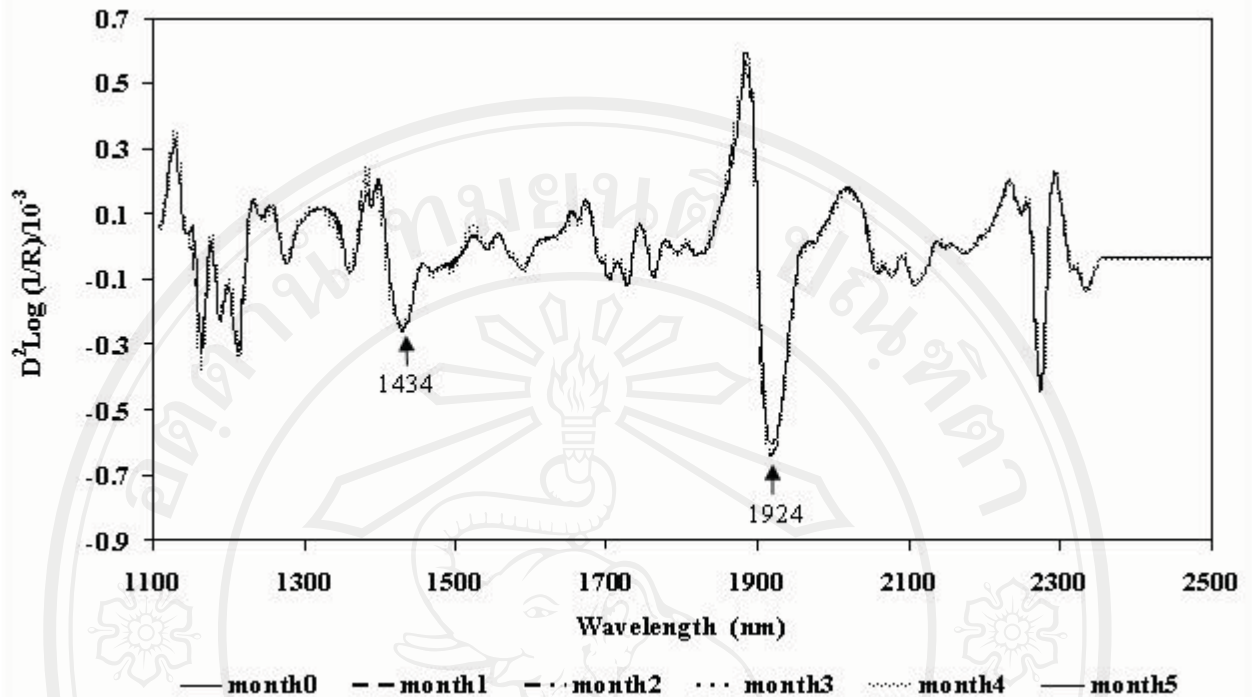
4.2.1 สมการเทียบมาตรฐานความชื้น

ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณองค์ประกอบทางเคมี จำนวน 96 ตัวอย่าง และ กลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 84 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมการด้วยวิธี test set ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีปริมาณความชื้นในช่วง 10.06–13.21 %

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้น และ กลุ่มทดสอบสมการของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

Variable	Calibration sample set	Validation sample set
Number of samples	96	84
Moisture content (% wet basis)	10.06 – 13.20 %	10.11 – 13.21 %
Mean	11.97 %	11.96 %
Standard deviation (SD)	0.87	0.85

แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย MSC และ อนุพันธ์อันดับที่สอง เพื่อลดอิทธิพลของการซ้อนทับกันของพีก (Osborne *et al.*, 1993) พบว่า สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทั้งหมดเลื่อนมาชิดกันช่วยลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสง และพบพีกหัวกลับที่ความยาวคลื่น 1434 และ 1924 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iwamoto *et al.* (1995) ที่รายงานว่าน้ำในสภาวะปกติจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1440 และ 1930 นาโนเมตร ส่วน Williams and Norris (2001) พบพีกน้ำชัดเจนที่ความยาวคลื่น 1450 และ 1940 นาโนเมตร นอกจากนี้พีกน้ำ อาจเลื่อนไปเล็กน้อยจากการแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่แปลงข้อมูลด้วย MSC-2nd derivative ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้น

จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ด้วยเทคนิค PLSR (ตารางที่ 4.2) และเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ พบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 4 วิธี คือ smoothing, 2nd derivative, smoothing – 2nd derivative และ MSC – 2nd derivative สมการเทียบมาตรฐานมีค่า R เท่ากับ 0.91, 0.92, 0.94 และ 0.91 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ MSC - 2nd derivative จะให้ค่า R เท่ากับ 0.91 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1250 - 2350 นาโนเมตร มีค่าน้อยกว่าการแปลงรูปด้วย smoothing – 2nd derivative แต่เลือกใช้จำนวนแฟกเตอร์น้อยกว่า (เท่ากับ 5) เนื่องจาก ถ้ามีจำนวนแฟกเตอร์มากเกินไปอาจทำให้เกิด over fitting ของสมการได้ ส่วนค่าอื่นๆคือ SEC เท่ากับ 0.37% SEP เท่ากับ 0.40% และ RPD เท่ากับ 2.13

ตารางที่ 4.2 ผลของสมการเทียบมาตรฐานของปริมาณความชื้น ด้วยเทคนิค PLSR

Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)	RPD
smoothing	1100-1950	10	0.91	0.36	0.48 ^{ns}	0.04	1.77
2 nd derivative	1100-1950	9	0.92	0.35	0.40 ^{ns}	0.02	2.13
smoothing-2 nd derivative	1260-2360	9	0.94	0.30	0.36 ^{ns}	0.01	2.36
MSC-2 nd derivative	1250-2350	5	0.91	0.37	0.40 ^{ns}	0.02	2.13

F: number of factors used in the calibration equation.

R: multiple correlation coefficients

SEC: standard error of calibration.

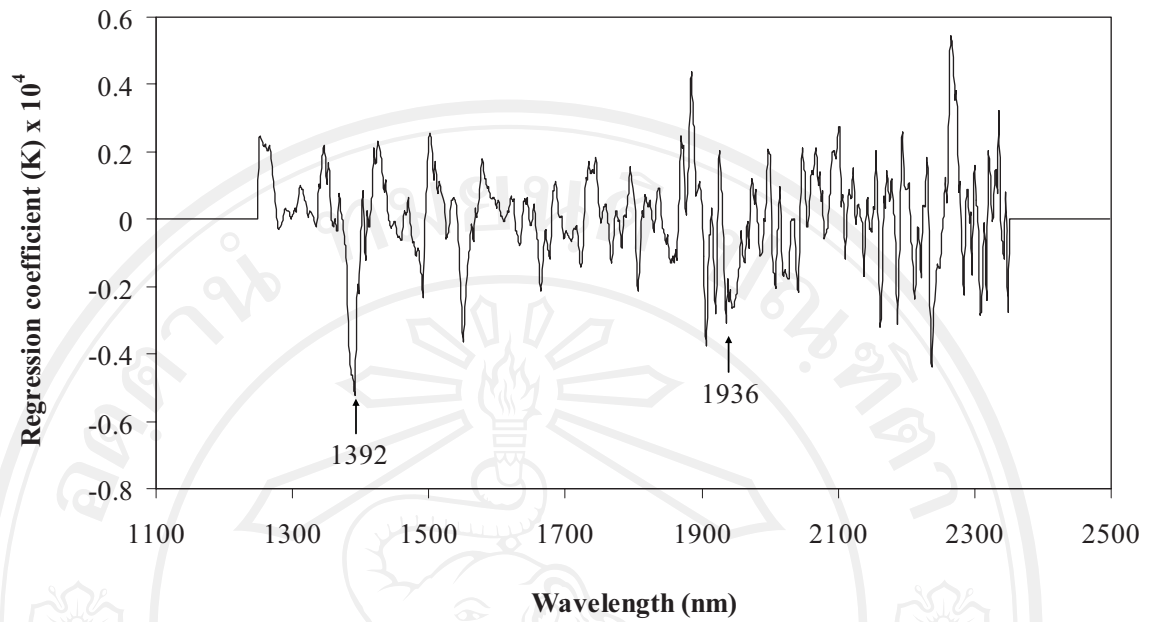
SEP: standard error of prediction, tested by the method of Fearn (1996)

Bias: average of difference between actual value and NIR value.

RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP.

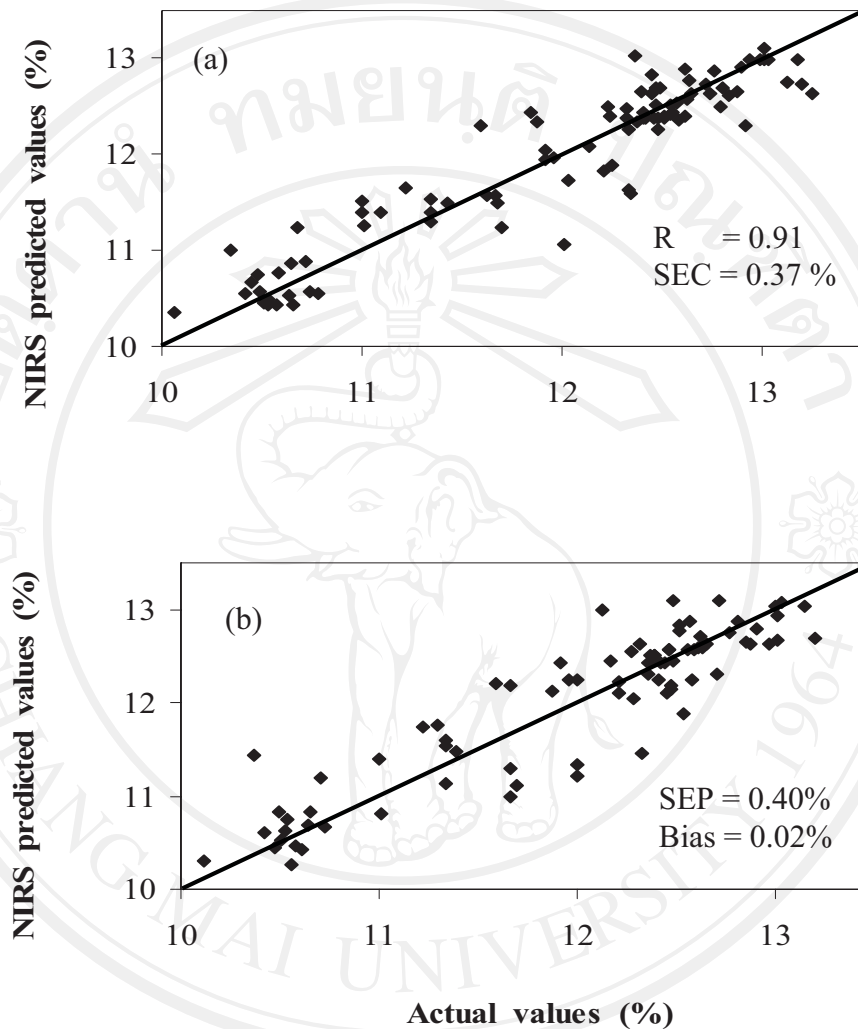
^{ns}: means no significant difference at 95% confidence.

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นที่แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย MSC และ 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1250 – 2350 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่น 1392 และ 1936 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.3) สอดคล้องกับ คีราพร (2551) ที่พบพิกน้ำชัดเจนที่สุดที่ความยาวคลื่น 1400, 1452 และ 1936 นาโนเมตร



ภาพที่ 4.3 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการทำนายปริมาณความชื้นในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 โดยใช้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ (ภาพที่ 4.4)



ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ (a) ตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ (b) ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ (ภาพที่ 4.4) พบว่ามีการกระจายตัวในลักษณะเดียวกันของข้อมูลทั้งในกลุ่มสร้างสมการ และกลุ่มทดสอบสมการ ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา

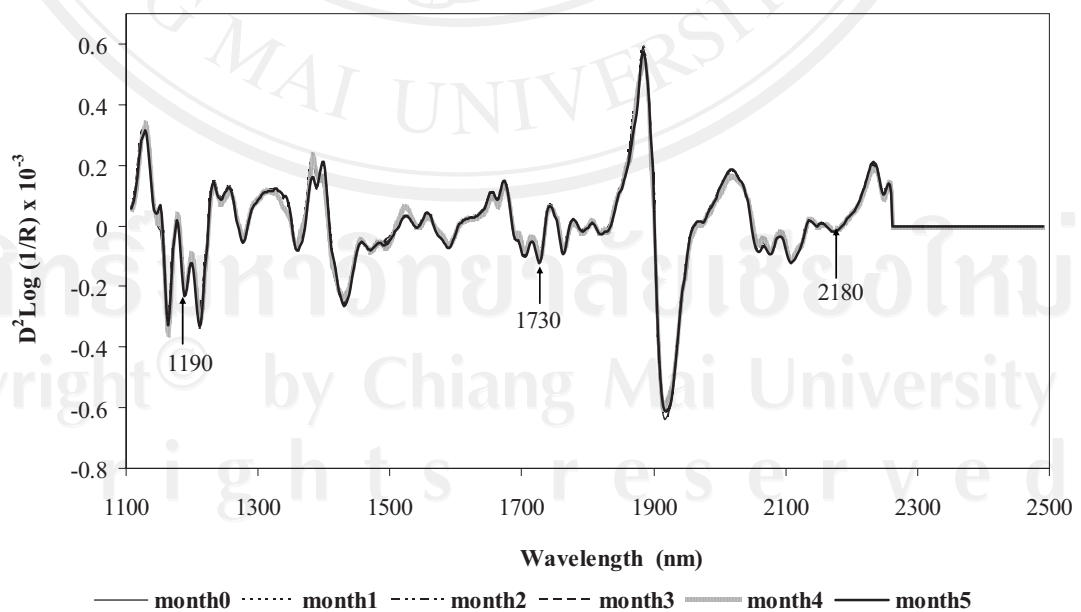
4.2.2 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีน

ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสร้างสมการ จำนวน 96 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 84 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมการด้วยวิธี test set ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มแสดงในตารางที่ 4.3 โดยมีปริมาณโปรตีนในช่วง 32.92 – 46.53%

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีน และกลุ่มทดสอบสมการของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Variable	Calibration sample set	Validation sample set
Number of samples	96	84
Protein content (%)	32.92 – 46.53	34.40 – 46.16
Mean	40.10	39.78
Standard deviation (SD)	3.72	3.67

แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง (2^{nd} derivative) เพื่อลดอิทธิพลการซ้อนทับของพีค (overlapping) (Williams and Norris, 2001) พบพีคหัวกลับที่ความยาวคลื่น 1190, 1730 และ 2180 (ภาพที่ 4.5) ซึ่งคือ พีคของโปรตีน (Hong *et al.*, 1994; Osborne *et al.*, 1993)



ภาพที่ 4.5 สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่แปลงข้อมูลด้วย 2^{nd} derivative ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีน

จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ด้วยเทคนิค PLSR (ตารางที่ 4.4) และสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมที่เปรียบเทียบการแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ พบว่าการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี ให้ความแม่นยำค่อนข้างสูง โดยมีค่า R เท่ากับ 0.93, 0.94 และ 0.94 ตามลำดับ แต่สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วย MSC - 2nd derivative และที่แปลงรูปด้วย 2nd derivative จะให้ค่า R สูงสุดเท่ากับ 0.94 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1108-2260 นาโนเมตร โดยใช้จำนวนแพกเตอร์เท่ากันคือ 5 และมีค่า SEC เท่ากับ 1.34% SEP เท่ากับ 1.36% และ RPD เท่ากับ 2.70 แต่ควรเลือกวิธีที่แปลงข้อมูลให้น้อยที่สุด คือ สมการที่แปลงรูปด้วย 2nd derivative เพียงอย่างเดียว เพราะการปรับแต่งสมการมากเกินไป จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากความเป็นจริงได้

ตารางที่ 4.4 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมแปลงข้อมูลด้วย MSC, 2nd derivative และ MSC - 2nd derivative

Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC (%)	SEP (%)	Bias (%)	RPD
MSC	1120 – 2480	9	0.93	1.36	1.32 ^{ns}	-0.01	2.78
2 nd derivative	1108 – 2260	5	0.94	1.34	1.36 ^{ns}	0.03	2.70
MSC - 2 nd derivative	1108 – 2260	5	0.94	1.34	1.36 ^{ns}	0.03	2.70

F: number of factors used in the calibration equation.

R: multiple correlation coefficients

SEC: standard error of calibration.

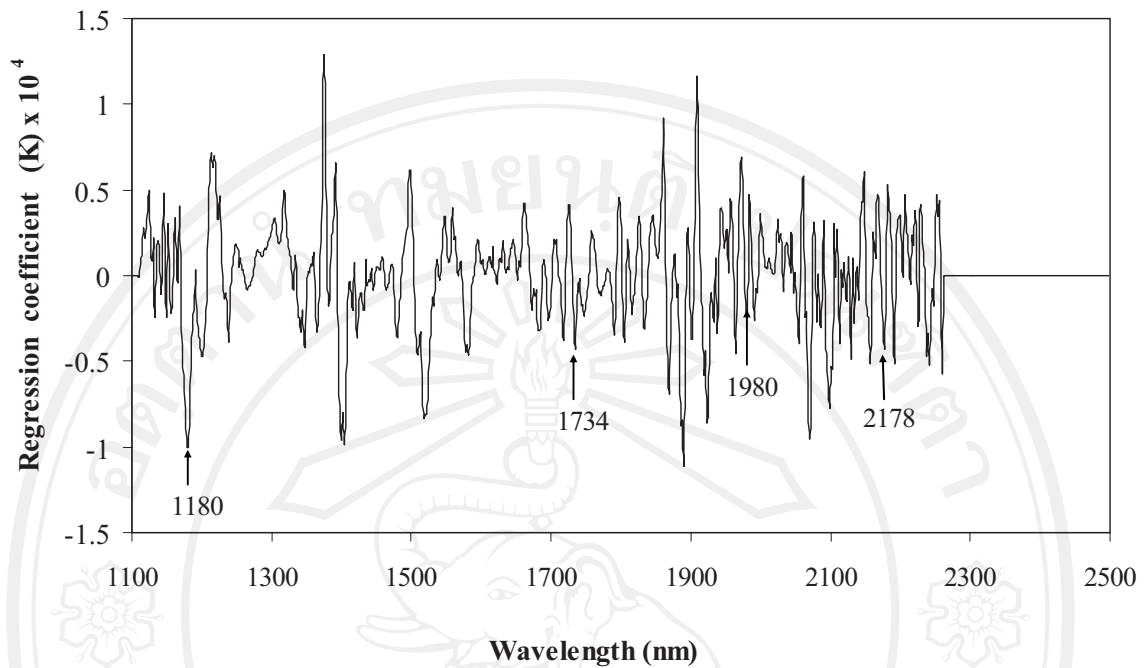
SEP: standard error of prediction, tested by the method of Fearn (1996)

Bias: average of difference between actual value and NIR value.

RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP.

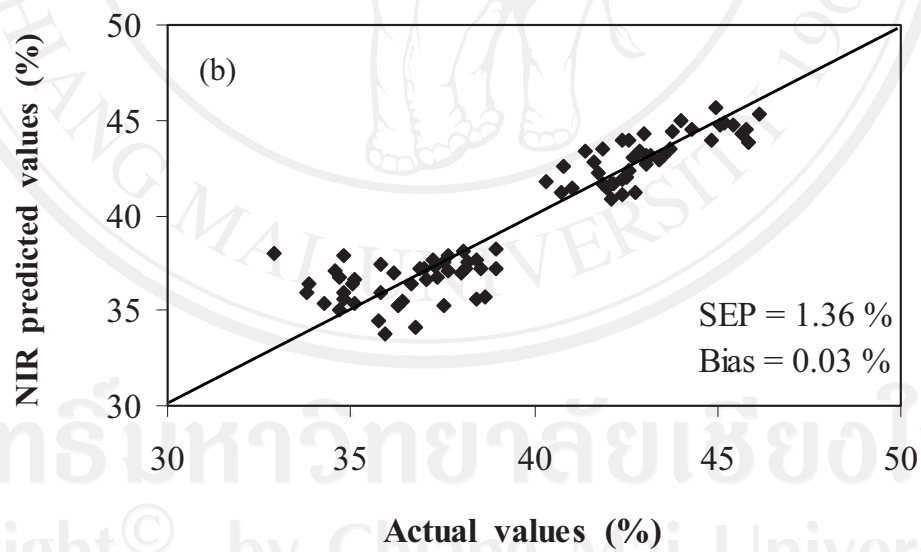
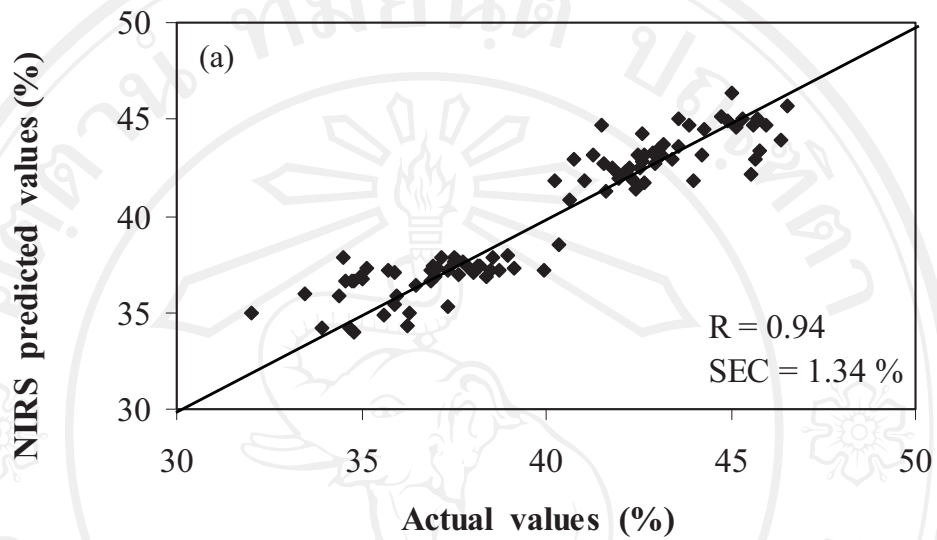
^{ns}: means no significant difference at 95% confidence.

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณโปรตีนที่แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่น 1180, 1734, 1980 และ 2178 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.6) ซึ่งคือ พีกของโปรตีน สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่า โปรตีนจะดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 1186, 1724, 1734, 1978, 2180 และ 2274 นาโนเมตร (Shenk *et al.*, 2001; William, 2007)



ภาพที่ 4.6 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณ โปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการทำนายปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 โดยใช้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ มีการกระจายตัวไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ค่า R มีค่าสูง ค่า SEC และค่า SEP ใกล้เคียงกัน และมีค่า Bias ที่ต่ำ ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ (a) ตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ (b) ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ

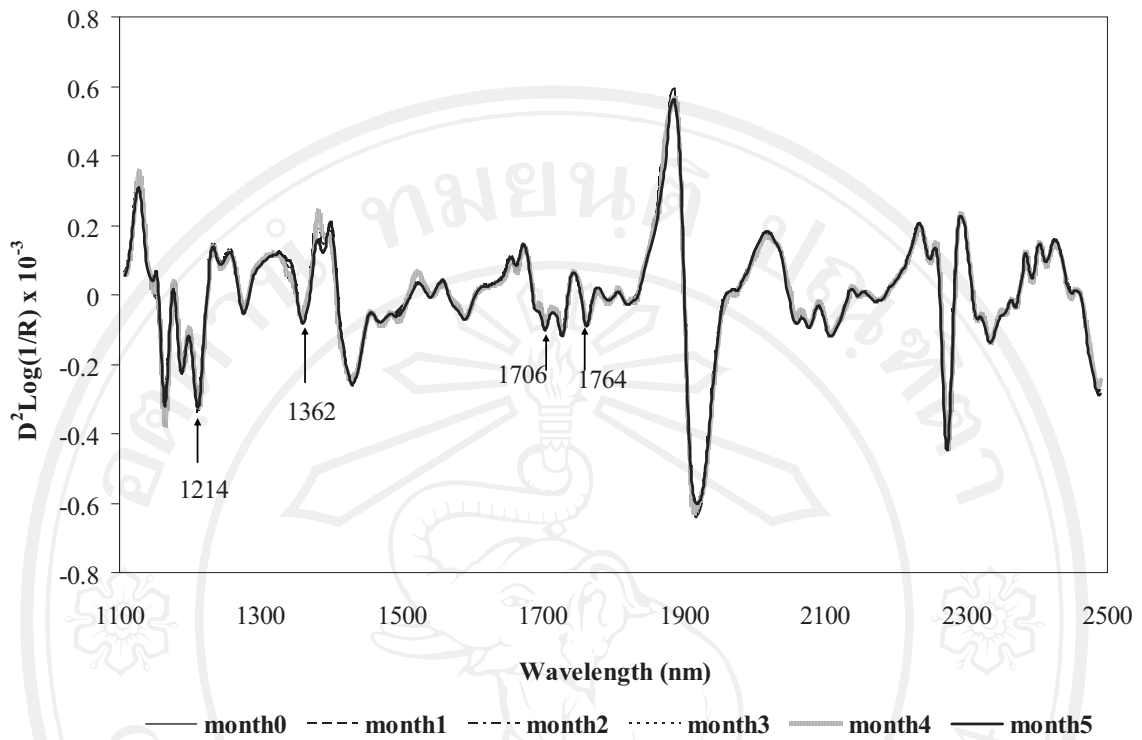
4.2.3 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมัน

ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสร้างสมการ จำนวน 96 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 84 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมการด้วยวิธี test set เช่นเดียวกับการหาปริมาณความชื้น และโปรตีน ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มแสดงในตารางที่ 4.5 โดยมีปริมาณไขมันในช่วง 18.35 – 24.14%

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมัน และกลุ่มทดสอบสมการของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Variable	Calibration sample set	Validation sample set
Number of samples	96	84
Crude lipid content (%)	18.39 – 24.14	18.35 – 23.22
Mean	21.28	21.27
Standard deviation (SD)	1.40	1.39

แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่สอง (2^{nd} derivative) เพื่อลดอิทธิพลการซ้อนทับของพีก (overlapping) ในสเปกตรัม และการเลื่อนขึ้นของสเปกตรัมทั้งแบบเบสไลน์ออฟเซต และเบสไลน์ชิฟต์เชิงเส้น เมื่อแปลงสเปกตรัมเป็นค่า 2^{nd} derivative จะทำให้พีกที่ได้ เป็นพีกหัวกลับ (อนุพันธ์, 2552) พบพีกหัวกลับที่ความยาวคลื่น 1214, 1362, 1706 และ 1764 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.8) ซึ่งคือ พีกของไขมัน (Osborne *et al.*, 1993; Seung *et al.*, 1998)



ภาพที่ 4.8 สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่แปลงข้อมูลด้วย 2^{nd} derivative ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมัน

จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมันโดยรวมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ด้วยเทคนิค PLSR (ตารางที่ 4.6) เมื่อเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ พบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 3 วิธี ให้ผลใกล้เคียงกันโดยมีค่า R เท่ากับ 0.88, 0.90 และ 0.90 ตามลำดับ แต่สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วย 2^{nd} derivative จะให้ค่า R สูงสุดเท่ากับ 0.90 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1140-2490 นาโนเมตร ให้ค่า RPD สูงกว่าการแปลงด้วย MSC - 2^{nd} derivative SEC เท่ากับ 0.60% SEP เท่ากับ 0.61% และ RPD เท่ากับ 2.28

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 สมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมันของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมแปลงข้อมูลด้วย MSC, 2nd derivative และ MSC - 2nd derivative

Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC	SEP	Bias	RPD
MSC	1100 – 2500	9	0.88	0.65	0.60 ^{ns}	0.06	2.32
2 nd derivative	1140 – 2490	4	0.90	0.60	0.61 ^{ns}	0.04	2.28
MSC -2 nd derivative	1220 - 2490	4	0.90	0.60	0.64 ^{ns}	0.03	2.17

F: number of factors used in the calibration equation.

R: multiple correlation coefficients

SEC: standard error of calibration.

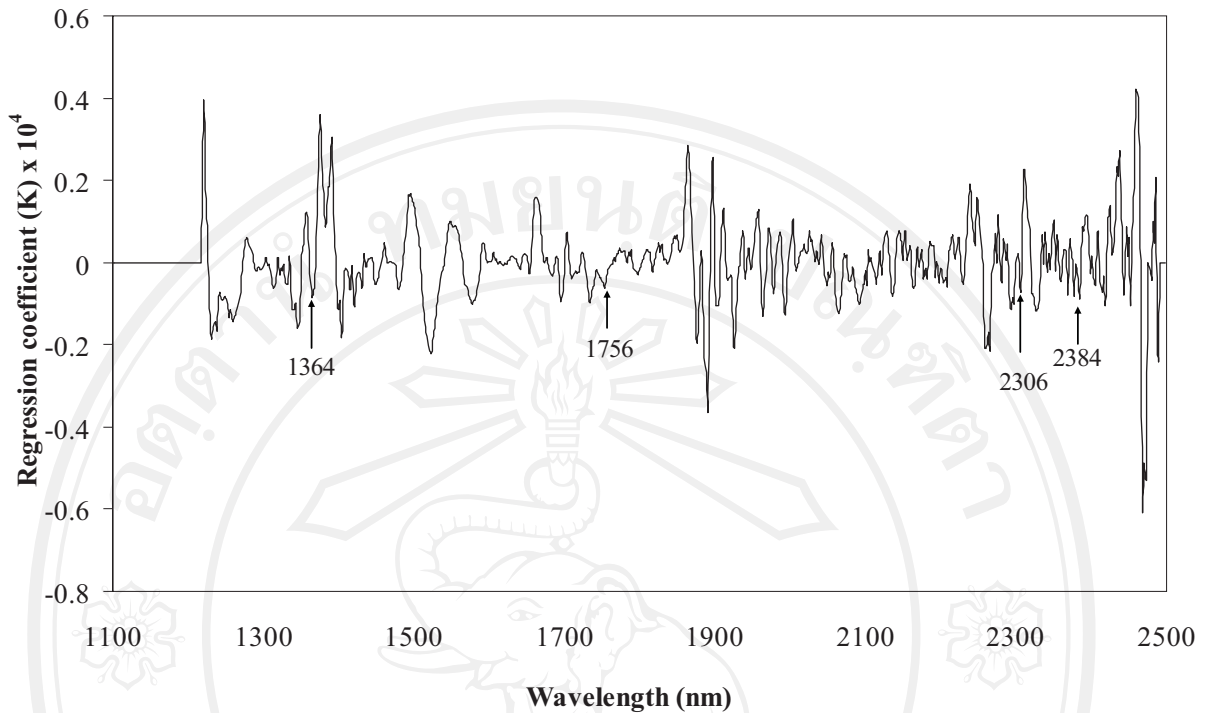
SEP: standard error of prediction, tested by the method of Fearn (1996)

Bias: average of difference between actual value and NIR value.

RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP.

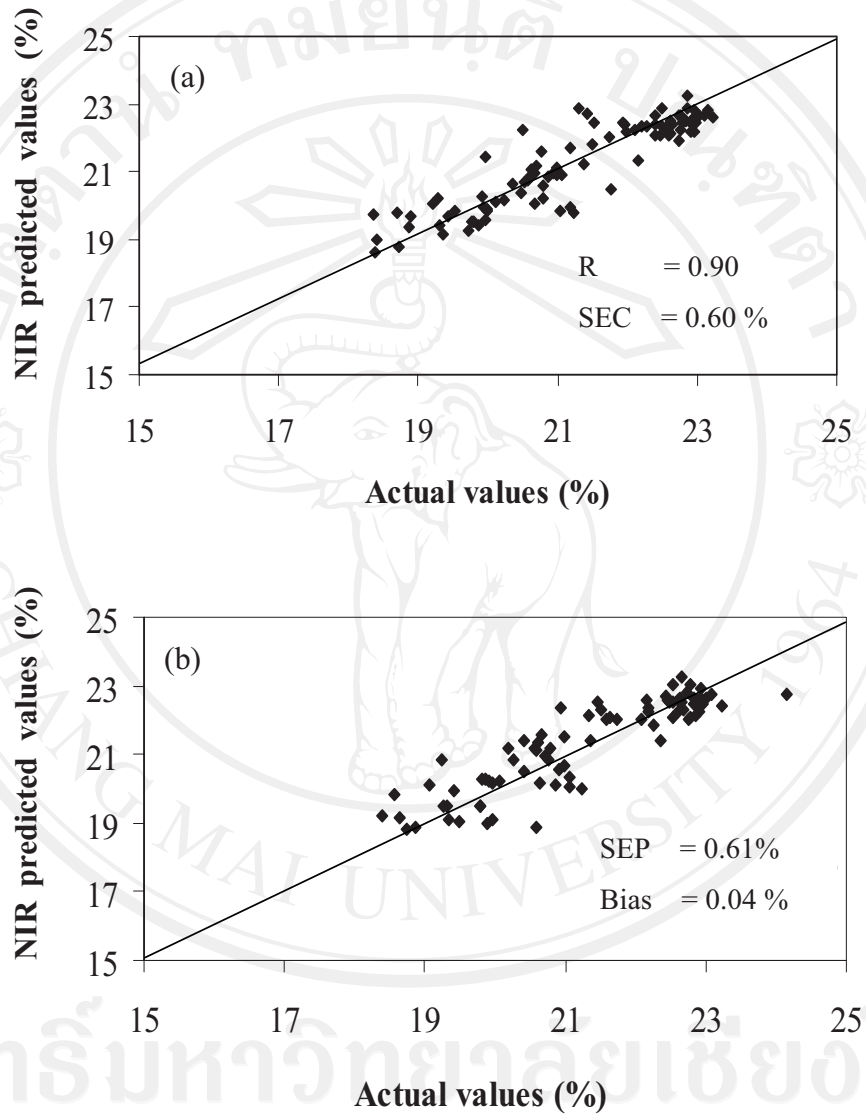
^{ns}: means no significant difference at 95% confidence.

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมันที่แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่น 1364, 1756, 2306 และ 2384 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.9) ซึ่งคือ พีคของไขมัน สอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่า ไขมันจะดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 1209, 1215, 1360, 1705, 1764, 2306 และ 2378 นาโนเมตร (Shenk *et al.*, 2001; Yukihiro, 2001)



ภาพที่ 4.9 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไขมันของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการทำนายปริมาณไขมันในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 โดยใช้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ มีการกระจายตัวไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ค่า R มีค่าสูง ค่า SEC และค่า SEP ใกล้เคียงกัน และมีค่า Bias ที่ต่ำ ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ (a) ตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ (b) ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ

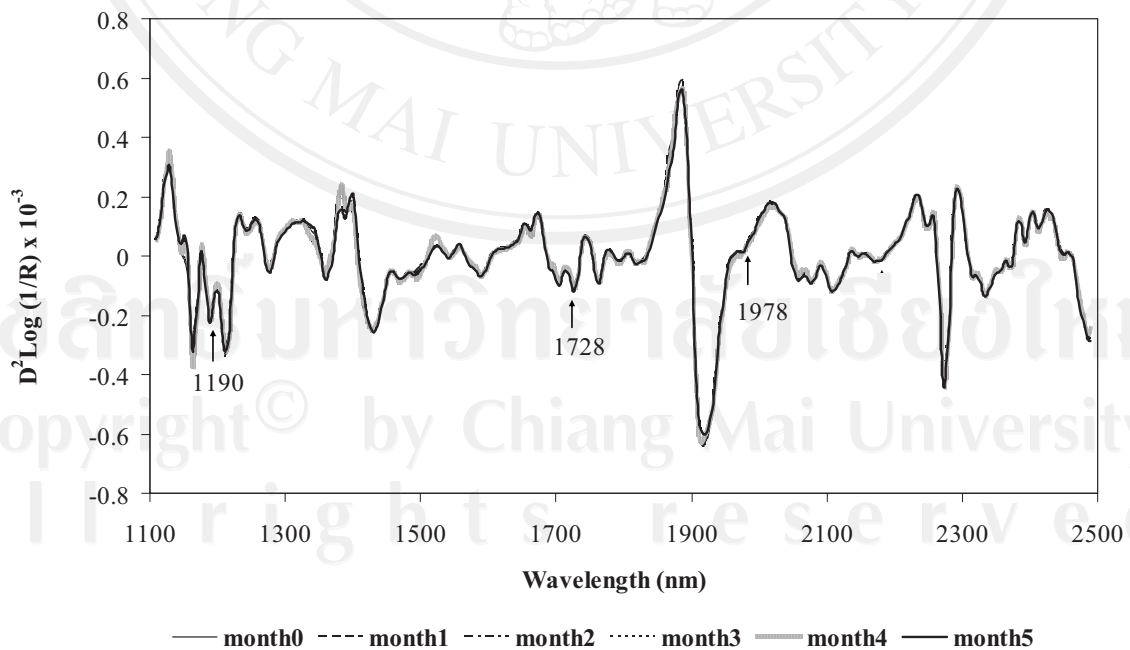
4.2.4 สมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอก

ตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสร้างสมการ จำนวน 96 ตัวอย่าง และกลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 84 ตัวอย่าง ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างทั้งสองกลุ่มแสดงในตารางที่ 4.7 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความงอกในช่วง 18 – 100 %

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลทางสถิติของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอก และ กลุ่มทดสอบสมการของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

Variable	Calibration sample set	Validation sample set
Number of samples	96	84
Crude lipid content (%)	18.00 – 100.00	20.00 – 100.00
Mean	68.65	68.10
Standard deviation (SD)	22.29	22.03

จากการทดลองพบว่า ปริมาณ โปรตีนกับเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เชียงใหม่ 60 มีความสัมพันธ์กัน จึงใช้ฟังก์ชันของโปรตีนหาสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอก แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย MSC และ 2nd derivative พบพิกัดหวักลับที่ความยาวคลื่น 1190, 1728 และ 1978 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.11 สเปกตรัมของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่แปลงข้อมูลด้วย MSC- 2nd derivative ของสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอก

จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (ตารางที่ 4.8) เมื่อเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ พบว่าการแปลงข้อมูลสเปกตรัมทั้ง 3 วิธี ให้ความแม่นยำสูงโดยมีค่า R เท่ากับ 0.94, 0.95 และ 0.94 ตามลำดับ แต่สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างด้วยข้อมูลสเปกตรัมที่แปลงด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ MSC - 2nd derivative จะให้ค่า R สูงสุดเท่ากับ 0.94 ที่ช่วงความยาวคลื่น 1108-2260 นาโนเมตร และให้ค่า RPD สูงกว่าการแปลงข้อมูลด้วย 2nd derivative ซึ่งมีค่า SEC เท่ากับ 7.72% SEP เท่ากับ 7.87% และ RPD เท่ากับ 2.80

ตารางที่ 4.8 สมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง สร้างจากข้อมูลสเปกตรัมแปลงข้อมูลด้วย MSC, 2nd derivative และ MSC - 2nd derivative

Pre-treatment	Wavelength region (nm)	F	R	SEC	SEP	Bias	RPD
MSC	1500 - 2240	9	0.94	7.78	7.50 ^{ns}	0.05	2.80
2 nd derivative	1108 - 2420	5	0.95	7.07	8.60 ^{ns}	0.04	2.56
MSC - 2 nd derivative	1108 - 2260	5	0.94	7.72	7.87 ^{ns}	0.04	2.80

F: number of factors used in the calibration equation.

R: multiple correlation coefficients

SEC: standard error of calibration.

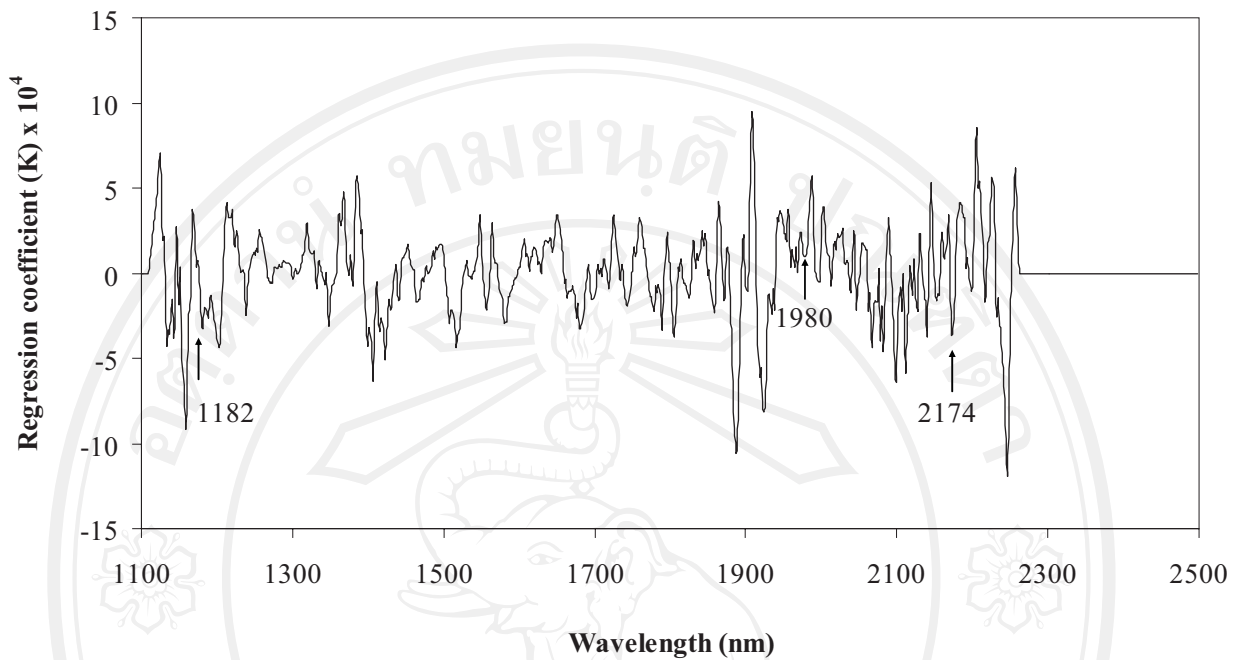
SEP: standard error of prediction, tested by the method of Fearn (1996)

Bias: average of difference between actual value and NIR value.

RPD: ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP.

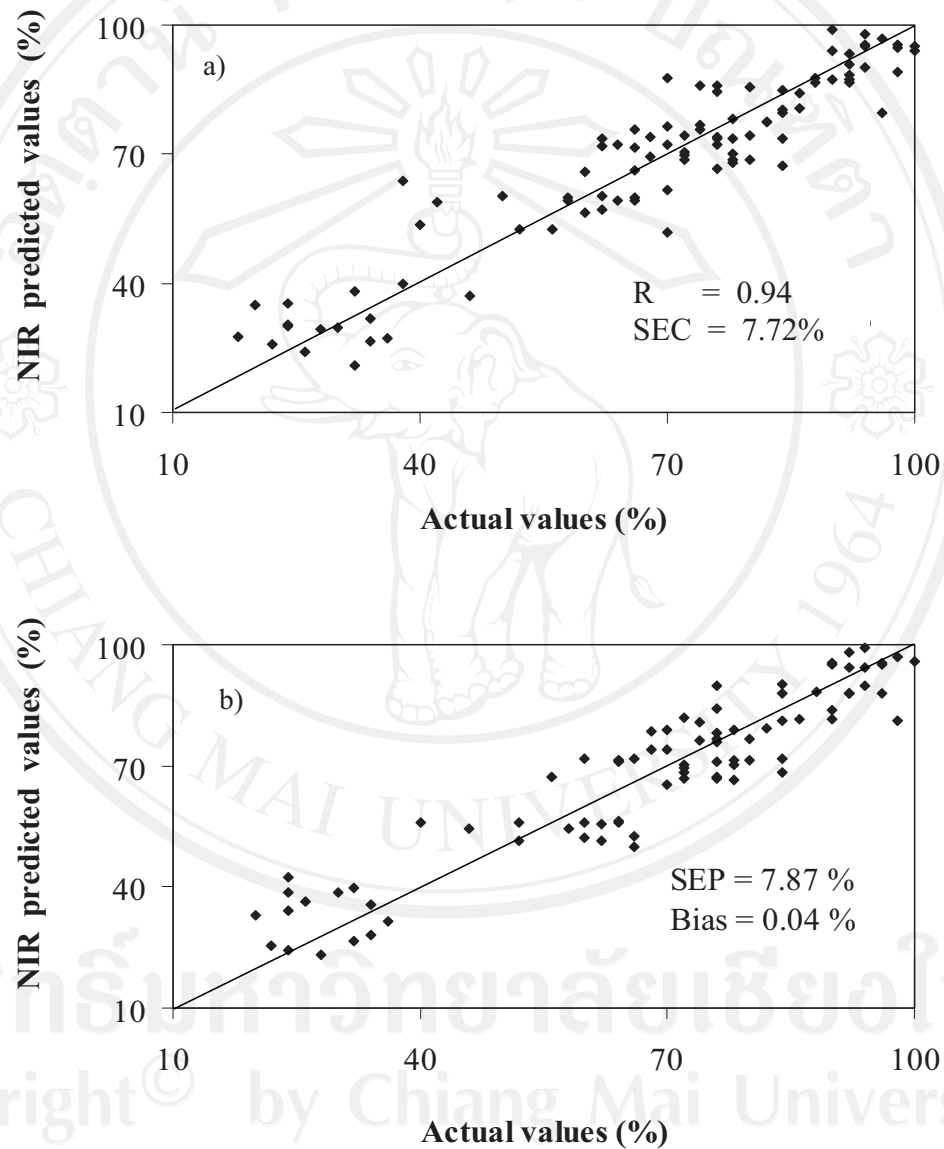
^{ns}: means no significant difference at 95% confidence.

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ของสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอกที่แปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วย MSC - 2nd derivative ในช่วงความยาวคลื่น 1100 – 2500 นาโนเมตร พบพิกัดหวักลับที่ความยาวคลื่น 1182, 1980 และ 2174 นาโนเมตร (ภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.12 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการทำนายเปอร์เซ็นต์ความงอกในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 โดยใช้สมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ มีการกระจายตัวไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้ค่า R มีค่าสูง ค่า SEC และค่า SEP ใกล้เคียงกัน และมีค่า Bias ที่ต่ำ ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ได้จากการเพาะเมล็ด และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ (a) ตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ และ (b) ตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ

4.3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

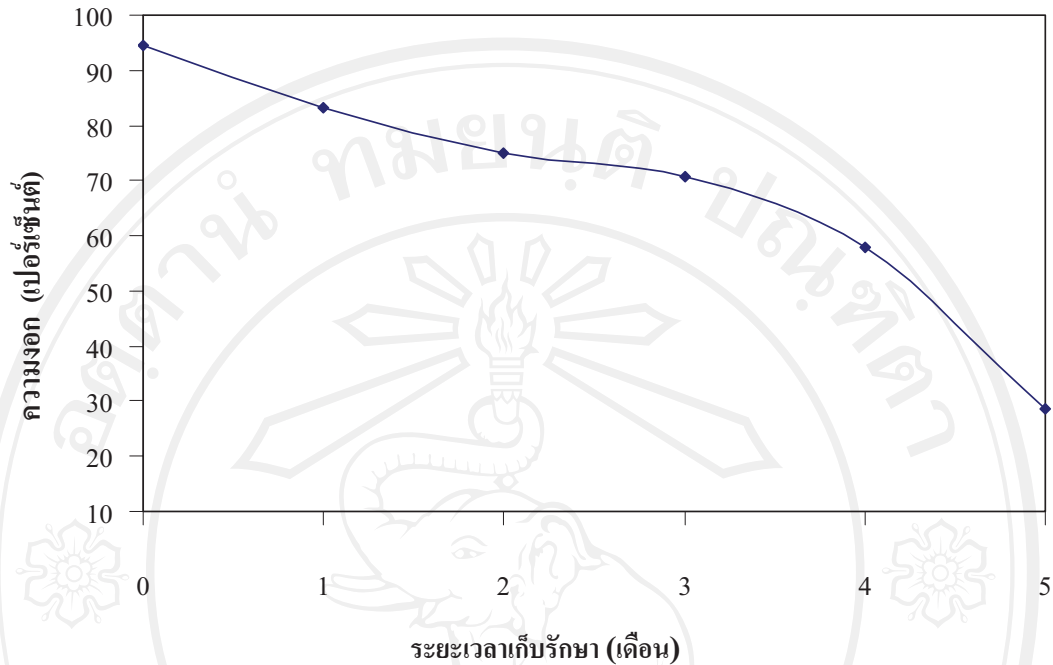
เมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างเดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2550 เป็นเวลา 5 เดือน จากนั้นทำการตรวจสอบความงอก และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้ ตรวจสอบความงอกมาตรฐาน ความชื้นภายในเมล็ด ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน โดยตรวจสอบทุก 1 เดือน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.9) และนำผลดังกล่าวมาศึกษาความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และสร้างสมการเทียบมาตรฐานอายุในการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

เก็บรักษา (เดือน)	ความชื้นเมล็ด (%wb)	ปริมาณ โปรตีน (%)	ปริมาณ ไขมัน (%)
0	12.79 ^a	44.77 ^a	23.09 ^a
1	12.42 ^b	42.76 ^b	22.38 ^b
2	10.55 ^c	42.07 ^b	22.44 ^b
3	12.46 ^b	37.67 ^c	20.13 ^d
4	12.03 ^c	35.46 ^c	19.45 ^c
5	11.44 ^d	36.45 ^d	20.74 ^c
CV (%)	3.88	3.59	5.02
LSD _{0.05}	0.24	0.73	0.55

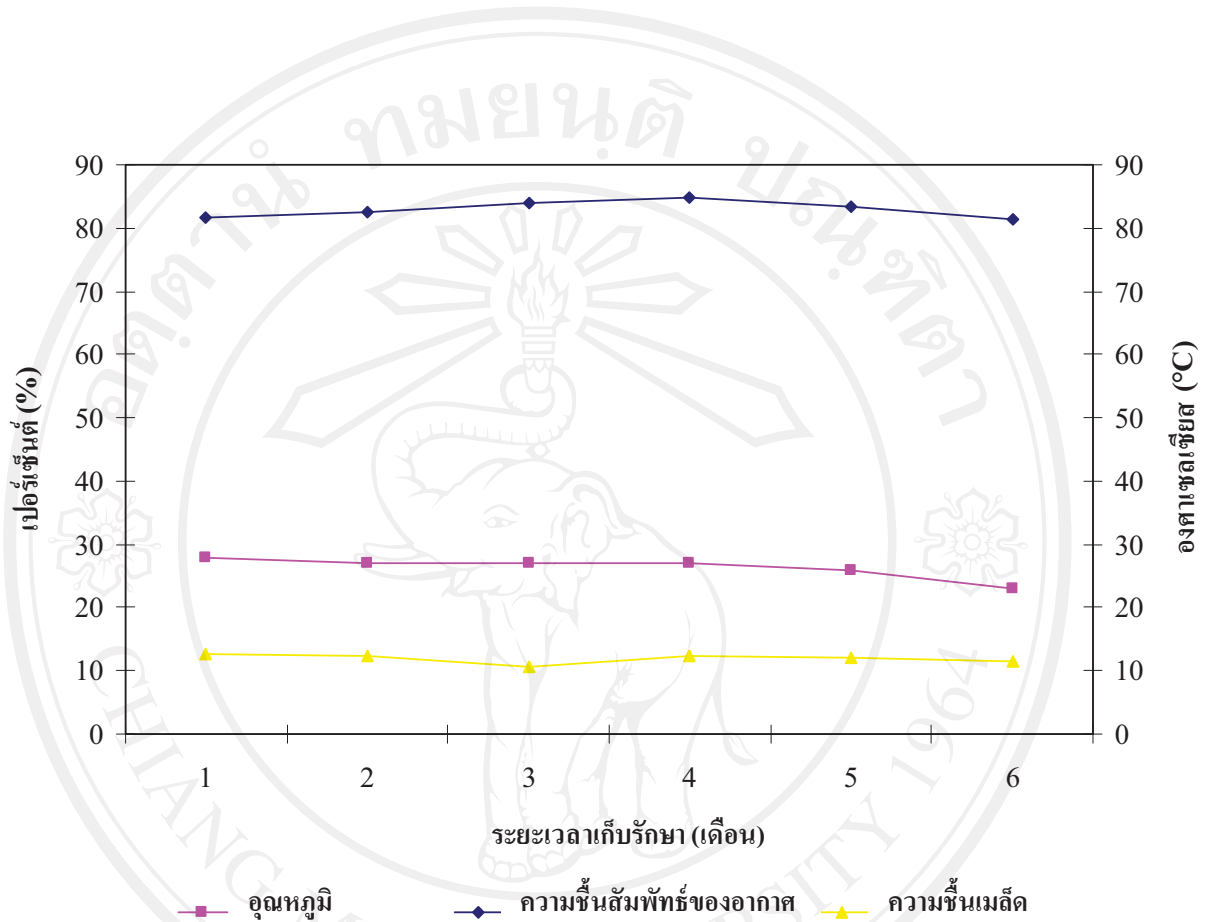
หมายเหตุ: ตัวเลขตามแนวตั้งที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการตรวจสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 พบว่า ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ก่อนเก็บรักษาเท่ากับ 94.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าลดลง และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 83.20, 75.13, 70.80, 58 และ 28.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 12.79 เปอร์เซ็นต์ (wet basis) และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาพอากาศ เนื่องจากถังเก็บเมล็ดมีการระบายอากาศเข้าและออกตลอดเวลา ซึ่ง Ohtsubu (2000) กล่าวว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นตัวแปรที่สำคัญในการเก็บรักษาเมล็ด โดยเมล็ดสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศโดยรอบอยู่ตลอดเวลา อาศัยกระบวนการดูดหรือคายความชื้นจนกระทั่งความชื้นของเมล็ด และความชื้นในอากาศสมดุลกัน (equilibrium moisture content: EMC) ดังนั้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ ความชื้นของเมล็ดก็จะต่ำ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง ความชื้นของเมล็ดก็จะสูงตามไปด้วย สอดคล้องกับ Bass and Clark (1975) กล่าวว่า ความชื้นสัมพัทธ์เป็นตัวกำหนดความชื้นของเมล็ด พบว่าความชื้นของเมล็ดในเดือนที่ 5 มีค่าเท่ากับ 11.44 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสิ้นสุดฤดูฝน โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษามีค่าเฉลี่ยในช่วง 23.12 – 27.85 องศาเซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ มีค่าเฉลี่ยในช่วง 81.4 – 84.8 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.15 ค่าของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 เดือน

ปริมาณโปรตีนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยในช่วง 35.46 – 44.77 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ อเนก และคณะ (2540) ที่วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในถั่วเหลือง 4 สายพันธุ์ พบว่า มีปริมาณโปรตีนในช่วง 40.2 – 42.2 เปอร์เซ็นต์ โดยเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนเริ่มต้นเท่ากับ 44.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณโปรตีนที่สูงสุดตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดในเดือนที่ 4 เท่ากับ 35.46 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนที่ 5 เท่ากับ 36.45 เปอร์เซ็นต์

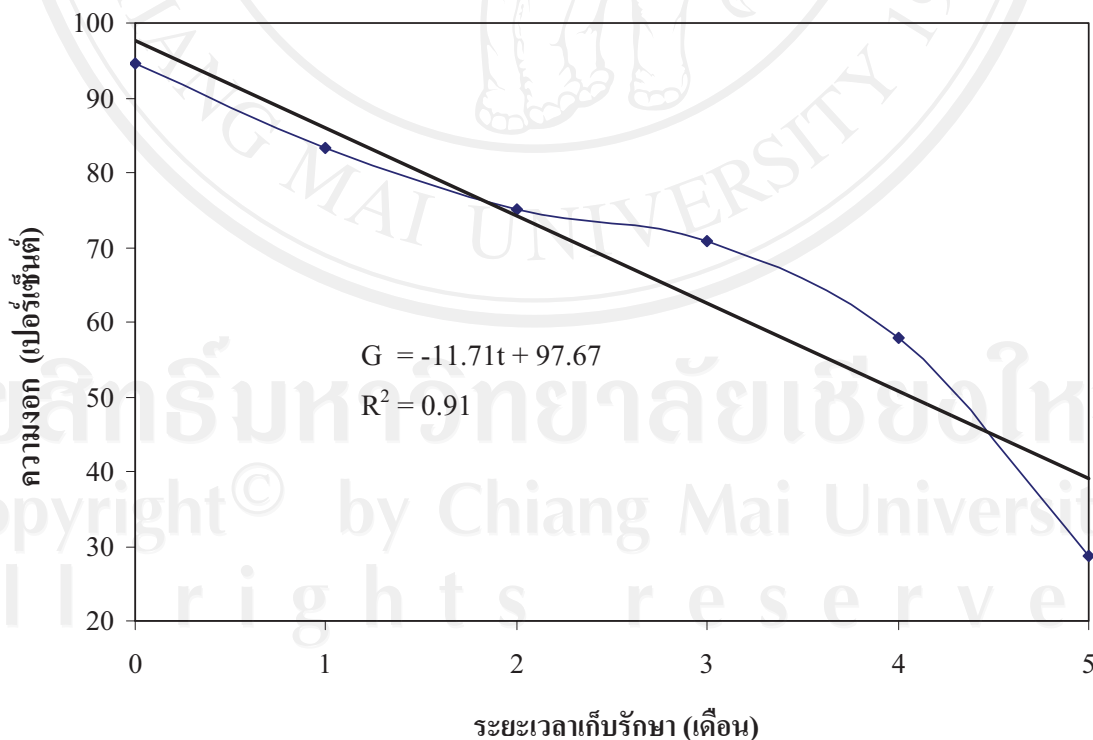
ปริมาณไขมันของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีค่าเฉลี่ยในช่วง 19.45 – 23.09 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับที่ วันชัย (2538) รายงานว่า พบปริมาณไขมันในเมล็ดถั่วเหลืองในช่วง 17 – 22

เปอร์เซ็นต์ โดยเมล็ดถั่วเหลืองมีปริมาณไขมันเริ่มต้นเท่ากับ 23.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณไขมันที่สูงสุดตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีปริมาณไขมันต่ำสุดในเดือนที่ 4 เท่ากับ 19.45 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเดือนที่ 5 เท่ากับ 20.74 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำผลจากการตรวจสอบความงอกและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 มาหาความสัมพันธ์ โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างสมการเทียบมาตรฐานอายุในการเก็บรักษา นำค่าเปอร์เซ็นต์ความงอกมาหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบสหสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) เชิงลบ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) เท่ากับ 0.91 (ภาพที่ 4.16) โดยมีสมการถดถอย คือ

$$G = -11.712t + 97.67$$

เมื่อ G คือ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
 t คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)

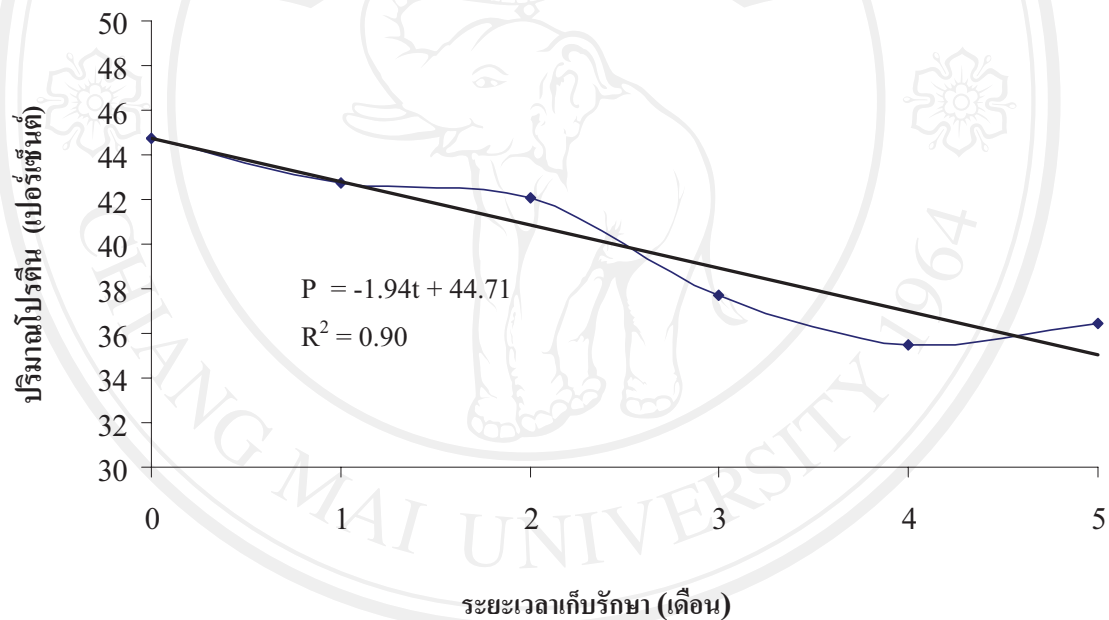


ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความงอกกับระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย ของปริมาณโปรตีนกับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น เชิงลบ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.90 (ภาพที่ 4.17) โดยมีสมการถดถอย คือ

$$P = -1.9384t + 44.708$$

เมื่อ P คือ ปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
t คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษา (เดือน)



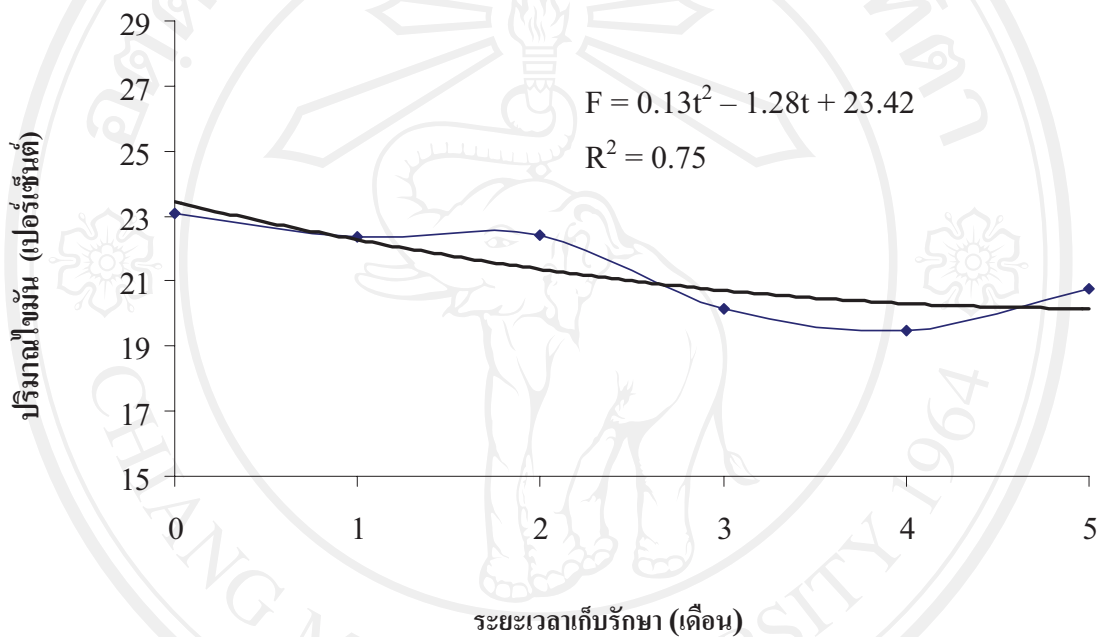
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โปรตีนกับระยะเวลาในการเก็บรักษามล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย ของปริมาณไขมันกับระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบพหุนาม (polynomial) เชิงบวก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.75 (ภาพที่ 4.18) โดยมีสมการถดถอย คือ

$$F = 0.13t^2 - 1.28t + 23.42$$

เมื่อ F คือ ปริมาณไขมันในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)

t คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เดือน)



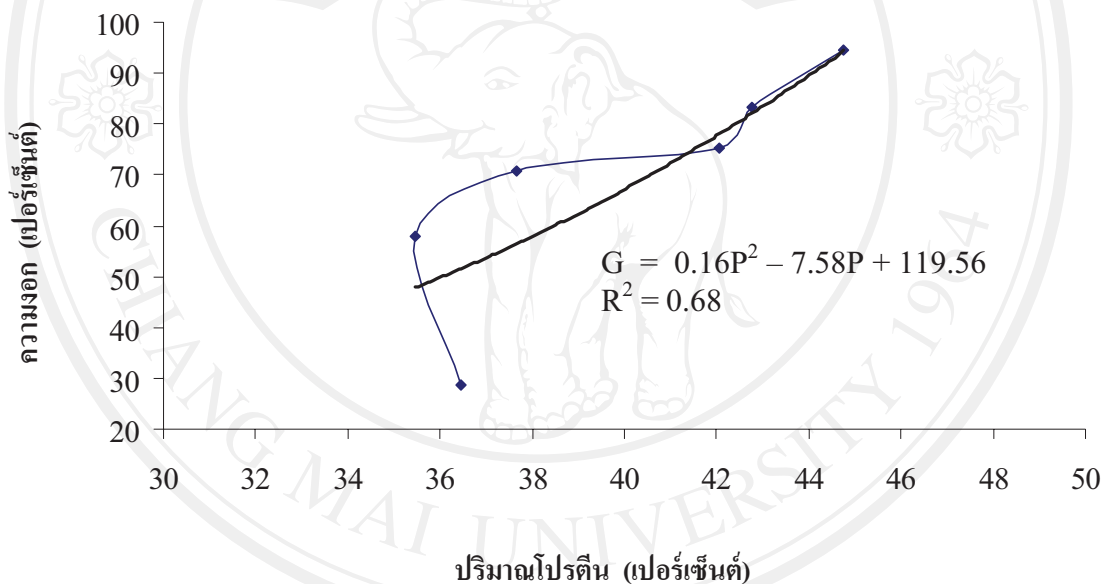
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันกับระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เชียงใหม่ 60

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน กับความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ทั้งปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน มีแนวโน้มลดลง ทำนองเดียวกับความงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ลดลง ยกเว้นปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมันของเมล็ดพันธุ์ในเดือนที่ 5 จะสูงขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 4.17 และ ภาพที่ 4.18) ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความงอกที่วัดได้จริง มาหาความสัมพันธ์กับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ทางเคมี พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบพหุนามเชิงบวก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.68 (ภาพที่ 4.19) โดยมีสมการถดถอย คือ

$$G = 0.16P^2 - 7.58P + 119.56$$

เมื่อ G คือ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
P คือ ปริมาณ โปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)

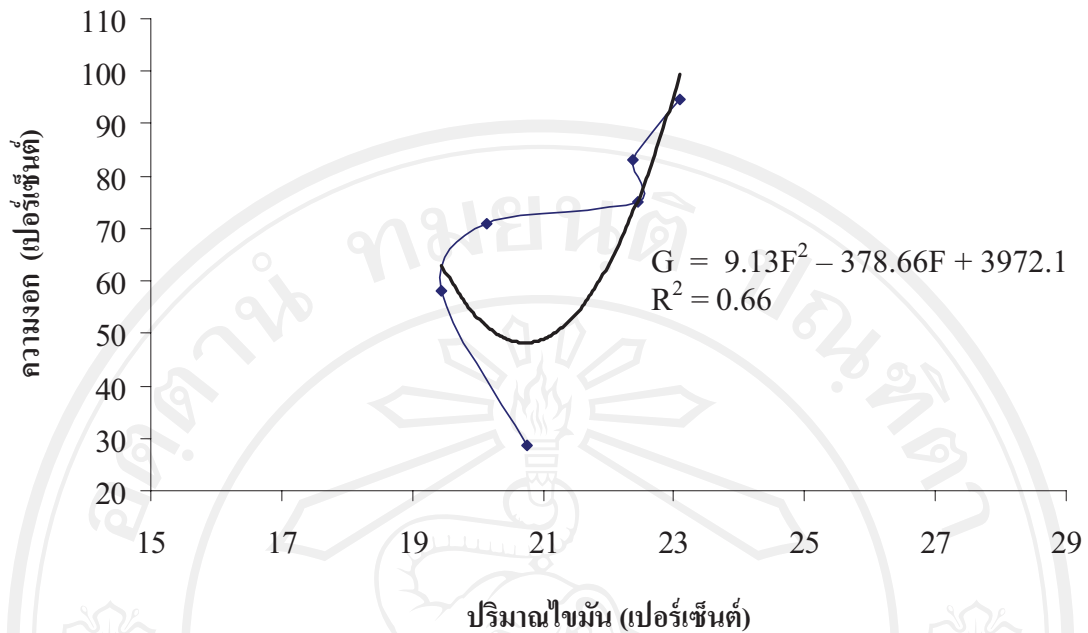


ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนกับความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

และเมื่อนำปริมาณไขมันกับเปอร์เซ็นต์ความงอกมาหาความสัมพันธ์กัน พบว่า มีความสัมพันธ์กันแบบพหุนามเชิงบวก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.66 (ภาพที่ 4.20) โดยมีสมการถดถอย คือ

$$G = 9.13F^2 - 378.66F + 3972.1$$

เมื่อ G คือ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
F คือ ปริมาณ ไขมันในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันกับความออกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60

จากภาพที่ 4.19 และ 4.20 จะเห็นว่าค่า R^2 มีค่าไม่สูงมากนัก แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน และ ปริมาณไขมัน เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 นั้น มีความสัมพันธ์กับความออกค่อนข้างต่ำ แต่จากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายเปอร์เซ็นต์ความออกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง NIR นั้น ให้ค่า R ที่สูง ดังนั้น อาจเป็นไปได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความออกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง น่าจะขึ้นอยู่กับทั้งสองตัวแปร คือ ปริมาณโปรตีน และ ปริมาณไขมัน เพราะสเปกตรัมที่วัดได้ ประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง แต่ที่ใช้ฟิสิกของโปรตีนในการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายเปอร์เซ็นต์ความออกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเนื่องจากให้ค่า R ที่สูง (ตาราง 4.8) และ เห็นฟิสิกชัดเจนกว่าฟิสิกของไขมัน

จึงนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน กับ เปอร์เซ็นต์ความออก ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน จำนวน 180 ตัวอย่าง มาหาความสัมพันธ์กัน แบบพหุตัวแปร พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบพหุเส้นตรง เชิงบวก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 โดยมีสมการถดถอย คือ

$$G = 17.26P - 33.28F + 91.52$$

- เมื่อ G คือ ความงอกของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
 P คือ ปริมาณโปรตีนในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
 F คือ ปริมาณไขมันในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)

จากสมการจะเห็นว่า R^2 มีค่าสูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน ทั้งสอง ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 นั้น มีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์ความงอกค่อนข้างสูง

ในทำนองเดียวกัน เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมัน กับ ระยะเวลาในการเก็บรักษา ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 ที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 เดือน จำนวน 180 ตัวอย่าง (เดือนละ 30 ตัวอย่าง) มาหาความสัมพันธ์กัน พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงเชิงลบ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 โดยมีสมการถดถอย คือ

$$t = -1.02P + 1.51F + 10.99$$

- เมื่อ t คือ ระยะเวลาในการเก็บรักษามะล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง(เดือน)
 P คือ ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)
 F คือ ปริมาณไขมันเฉลี่ยในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง (เปอร์เซ็นต์)

จากสมการจะเห็นว่า R^2 มีค่าสูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีน และ ปริมาณไขมัน ทั้งสอง ในเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเชียงใหม่ 60 นั้น มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษามะล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองค่อนข้างสูง