

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของปาล์ม

ทลายปาล์มที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นปาล์มพันธุ์เทนเอร่าที่มีระยะความแก่ 60 80 100 และมากกว่า 100 โดยการประเมินจากเกษตรกรผู้ชำนาญ (ภาพที่ 4) จากลานเทปาล์มของสหกรณ์ชมรมผู้ปลูกปาล์ม ในเขตตำบลหนองเสือ จังหวัดปทุมธานี ขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรบุรี ภายในเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการคัดแยกผลที่มีตำหนิ โรคและแมลงทิ้ง จึงปรับอุณหภูมิของทลายปาล์มในห้องปรับอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสจนกระทั่งทลายปาล์มมีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ทำการสุ่มผลปาล์มจำนวน 300 ผลต่อ 1 ทลาย ในแต่ละระยะความแก่ใช้ปาล์มจำนวน 10 ทลาย ซึ่งน้ำหนัก วัดค่าสี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7



ทลายปาล์มที่ความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ (stage 1)



ทลายปาล์มที่ความแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ (stage 1)



ทลายปาล์มที่ความแก่ 100 เปอร์เซ็นต์ (stage 3)



ทลายปาล์มที่ความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ (stage 4)

ภาพที่ 4 ลักษณะของทลายปาล์มที่ระยะความแก่ 60 80 100 และมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 7 น้ำหนักโดยเฉลี่ย และสีเปลือกของผลปาล์มที่ระยะความแก่ 60 80 100 และมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

ระยะความแก่	น้ำหนัก กรัม/ผล	ค่า สี เปลือก		
		L*	a*	b*
ระยะความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์	8.45	31.28	12.72	-3.50
ระยะความแก่ 80 เปอร์เซ็นต์	12.97	35.73	12.73	3.67
ระยะความแก่ 100 เปอร์เซ็นต์	13.38	37.74	12.75	5.78
ระยะความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์	14.47	37.99	15.21	6.58

จากผลการศึกษา พบว่า ผลปาล์มมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะความแก่ผล จากที่มีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 8.45 กรัม/ผล เพิ่มขึ้นเป็น 12.97 13.38 และ 14.47 เมื่อผลมีความแก่ 60 80 100 และมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Afshin และ คณะ (2011) ที่พบว่า ผลปาล์มจะมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 2.56 เป็น 6.74 8.83 และ 16.53 กรัม เมื่อผลมีอายุ 8 12 16 และ 20 สัปดาห์หลังดอกบาน

จากการศึกษาพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของผลปาล์ม ทุก ๆ ระยะความแก่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากที่ระยะความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างเท่ากับ 8.45 เพิ่มขึ้นเป็น 14.47 เมื่อผลปาล์มมีความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -3.50 ที่ระยะความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 6.58 ที่ระยะความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับค่าความเป็นสีเขียว (a*) ที่มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 12.72 ที่ระยะความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 15.21 ที่ระยะความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

Meftah และ คณะ (2008) พบว่าผลปาล์มดิบ จะมีสีเข้มมากที่สุด หรือมีความสว่างน้อยที่สุด และผลปาล์มที่มีอายุสุกพอดี และผลปาล์มที่สุกเกินไป มีความเข้มของสีลดลงหรือความสว่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากการพัฒนาของผลในระยะแรก คือสัปดาห์ที่ 1-7 จะมีการเพิ่มคลอโรฟิลล์ในชั้นเปลือกสูงมาก และคลอโรฟิลล์จะค่อยๆ สลายไป เมื่อสัปดาห์ที่ 14-15 เปลี่ยนเป็นการสะสมของแคโรทีน จึงทำให้ผลปาล์มมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และมีความสว่างมากกว่าผลดิบ (สุรกิตติ และคณะ , 2539) สุรกิตติ และ คณะ (2539) พบว่าผลปาล์มที่มีอายุ 14-15 สัปดาห์หลังจากติดผล คลอโรฟิลล์ในผลปาล์มจะค่อยๆ สลายไป และมีปริมาณแคโรทีนเพิ่มขึ้น ทำให้ผลปาล์มที่มีสีเขียวแกมเหลืองเปลี่ยนไปเป็นสีส้มแดง สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ คือ ผลปาล์มที่มีระยะความแก่ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*) น้อยที่สุด ส่วนผลปาล์มที่ความแก่ 80 100

และมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น คือ 3.67 5.78 และ 6.58 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) สอดคล้องกับการศึกษาของ Meftah และ คณะ (2008) พบว่า ค่าสีแดง (R) ของผลปาล์มเพิ่มขึ้นตามระยะความแก่

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันและคลอโรฟิลล์ของผลปาล์ม

ปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 26.78 – 20.32 โดยจะมีค่าลดลงเมื่อผลมีความแก่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าสูงสุด เท่ากับ 3,266.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อผลมีความแก่ 80 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าลดลงต่ำสุดเท่ากับ 33.14 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อผลมีความแก่มากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 8) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าสีเปลือกของผลปาล์มที่ พบว่า ปาล์มที่มีระยะความแก่มากขึ้นจะมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 7) และจากลักษณะปรากฏจะสังเกตเห็นว่าผลปาล์มมีเปลือกสีเหลืองส้ม (ภาพที่ 4)

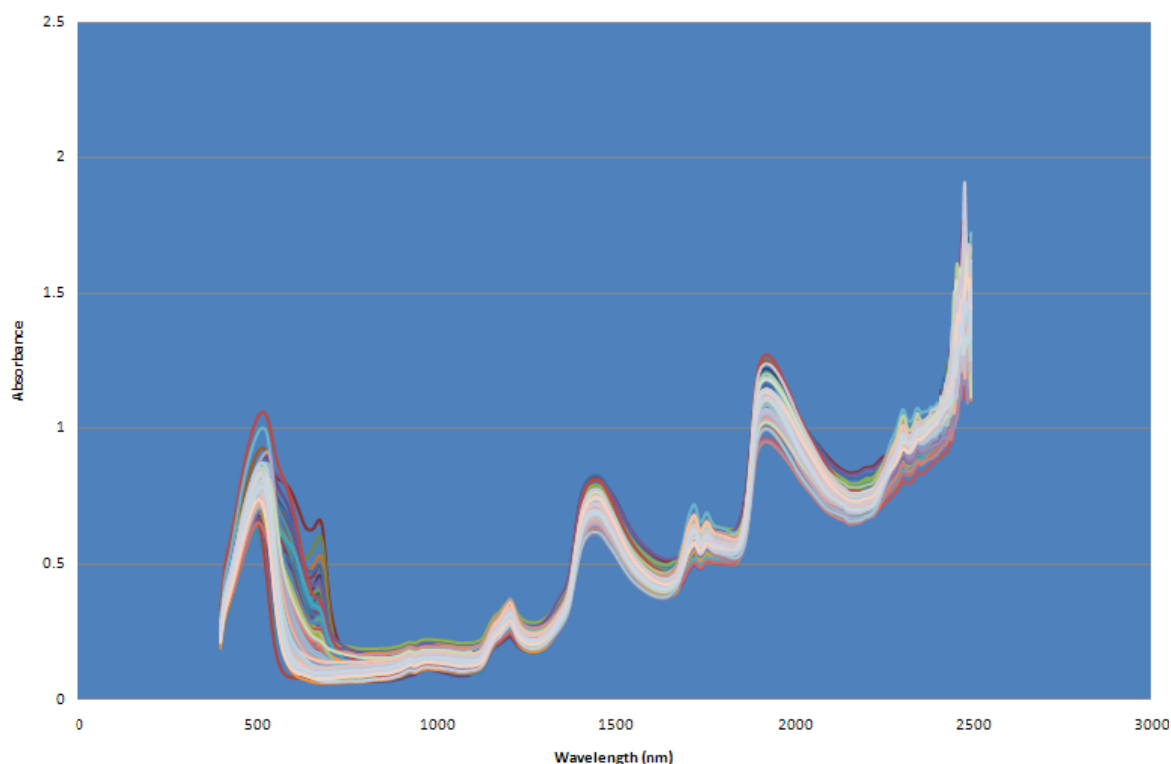
ตารางที่ 8 แสดงร้อยละของกรดไขมันอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ของผลปาล์มที่ระยะความแก่ 60 80 100 และมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

ระยะความแก่	น้ำหนัก (กรัม/ผล)	กรดไขมันอิสระ (%)	คลอโรฟิลล์ (µg/kg)
60 (stage 1)	8.45	26.78	207.02
80 (stage 2)	12.97	25.78	3266.04
100 (stage 3)	13.38	24.90	35.63
มากกว่า100 (stage 4)	14.47	20.32	33.14

4.3 สเปกตรัมของผลปาล์มน้ำมัน

จากการวัดผลปาล์มที่ความยาวคลื่น 400-2400 นาโนเมตร จะได้สเปกตรัม จำนวน 2,250 สเปกตรัม เมื่อนำสเปกตรัมแต่ละระยะการเก็บเกี่ยวมาทำการเฉลี่ยเพื่อหาค่า FFA และ คลอโรฟิลล์ จะได้สเปกตรัม original ดังภาพที่ 5

สเปกตรัมของผลปาล์มน้ำมันที่วัดด้วยเครื่อง NIR spectrometer แบบพกพา เกิดการยกตัวสูงขึ้น ในขณะที่สเปกตรัมของผลปาล์มที่วัดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer เกิดปรากฏการณ์กระเจิงของแสง เนื่องจากความหนาแน่นเนื้อของผลปาล์มที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งสเปกตรัมเบื้องต้นก่อนการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อลดอิทธิพลที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 5 สเปกตรัมการดูดกลืนพลังงานแสงใกล้อินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 400-2400 นาโนเมตร
ของผลปาล์มที่ระยะความแก่ทั้ง 4 ระยะ

เมื่อนำค่า ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA) ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้ โดยค่า ปริมาณกรดไขมันอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 33 ร้อยละต่อ 100 กรัม และมีปริมาณ คลอโรฟิลล์ (ในรูปของฟิโอฟิตินเอ) ที่อยู่ในผลปาล์ม ระหว่าง 1 ถึง 995 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมน้ำมัน และค่า การดูดกลืนแสงของสเปกตรัม มาทำการ pretreatment ด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ มาทำ การทดสอบสร้างสมการวิเคราะห์ในทางสถิติด้วยวิธี Partial Least Square Regression (PLSR) โดยใช้ Cross Validation Systematic 123123 โดยการเรียงตัวอย่างด้วยค่าที่ต้องการวิเคราะห์จากน้อยไปมาก และเปรียบเทียบสมการทดสอบ (Calibration) และสมการทำนาย (Prediction) ของสเปกตรัม ได้ค่าดัง ตารางที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงค่าความสัมพันธ์ของสมการที่ได้กับปริมาณ FFA ที่วัดได้

Pretreatment	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	แบบจำลอง	R	RMSEC/RMSEP	SEC/ESP	Bias	F
Original	400-1100	Calibration	0.704	3.097	3.112	-2.898×10^{-6}	14
		Prediction	0.645	3.969	3.987	-0.077	14
	400-1700	Calibration	0.561	3.772	3.79	-3.333×10^{-7}	7
		Prediction	0.508	4.289	4.31	0.024	7
	400-2500	Calibration	0.523	3.934	3.935	1.018×10^{-7}	5
		Prediction	0.468	4.343	4.364	0.0485	5
MSC	400-1100	Calibration	0.814	2.457	2.469	-3.816×10^{-5}	20
		Prediction	0.72	3.653	3.67	-0.858	20
	400-1700	Calibration	0.775	2.697	2.711	-9.259×10^{-9}	16
		Prediction	0.692	3.842	3.86	-0.056	16
	400-2500	Calibration	0.453	4.212	4.233	-5.555×10^{-7}	5
		Prediction	0.358	4.909	4.933	0.023	5
1 st Derivative	400-1100	Calibration	0.653	3.356	3.372	-9.259×10^{-9}	9
		Prediction	0.574	4.051	4.063	-0.259	9
	400-1700	Calibration	0.7	3.116	3.131	3.981	11
		Prediction	0.611	4.099	4.118	-0.105	11
	400-2500	Calibration	0.323	4.688	4.711	-1.111×10^{-7}	3
		Prediction	0.197	5.593	5.618	-0.174	3
2 nd Derivative	400-1100	Calibration	0.932	1.439	1.439	-3.305×10^{-7}	16
		Prediction	0.657	4.165	4.180	-2.226	16
	400-1700	Calibration	0.965	1.028	1.033	-3.21×10^{-7}	17
		Prediction	0.654	4.064	0.084	0.028	17
	400-2500	Calibration	0.181	5.001	5.026	-2.927×10^{-7}	1
		Prediction	0.042	5.730	5.758	0.000	1

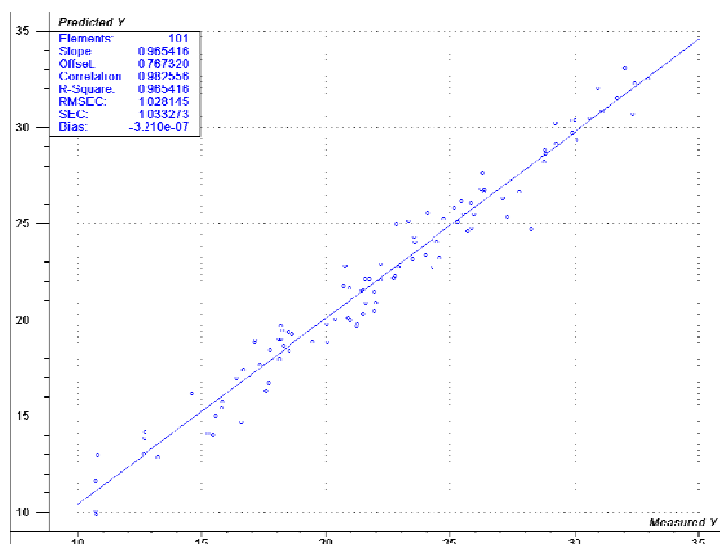
ตารางที่ 10 แสดงค่าความสัมพันธ์ของสมการที่ได้กับ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้

Pretreatment	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	แบบจำลอง	R	RMSEC/RMSEP	SEC/ESP	Bias	F
Original	400-1100	Calibration	0.447	161.555	162.345	-1.147×10^{-6}	6
		Prediction	0.402	176.109	176.969	0.596	6
	400-1700	Calibration	0.877	75.975	76.347	2.67×10^{-4}	20
		Prediction	0.791	127.812	128.13	8.829	20
	400-2500	Calibration	0.882	74.433	74.797	3.930×10^{-5}	20
		Prediction	0.793	141.203	141.882	1.808	20
MSC	400-1100	Calibration	0.822	91.635	92.083	-7.477×10^{-5}	14
		Prediction	0.67	149.344	150.069	1.288	14
	400-1700	Calibration	0.883	74.298	74.661	-4.95×10^{-4}	19
		Prediction	0.808	120.937	121.298	7.449	19
	400-2500	Calibration	0.822	91.635	92.083	-7.477×10^{-5}	14
		Prediction	0.67	149.344	150.069	1.288	14
1 st Derivative	400-1100	Calibration	0.818	92.648	93.101	9.967×10^{-6}	13
		Prediction	0.702	141.349	141.889	6.529	13
	400-1700	Calibration	0.895	70.322	70.666	-1.078×10^{-5}	15
		Prediction	0.798	109.993	110.295	7.184	15
	400-2500	Calibration	0.119	203.928	204.925	-5.544×10^{-7}	1
		Prediction	0.039	221.165	222.234	2.354	1
2 nd Derivative	400-1100	Calibration	0.913	63.777	64.091	3.919×10^{-6}	19
		Prediction	0.700	129.749	130.389	-0.588	19
	400-1700	Calibration	0.944	51.111	51.364	2.273	13
		Prediction	0.728	122.467	123.064	1.379	13
	400-2500	Calibration	0.259	187.072	187.987	-9.988×10^{-7}	2
		Prediction	0.161	211.183	212.158	4.946	2

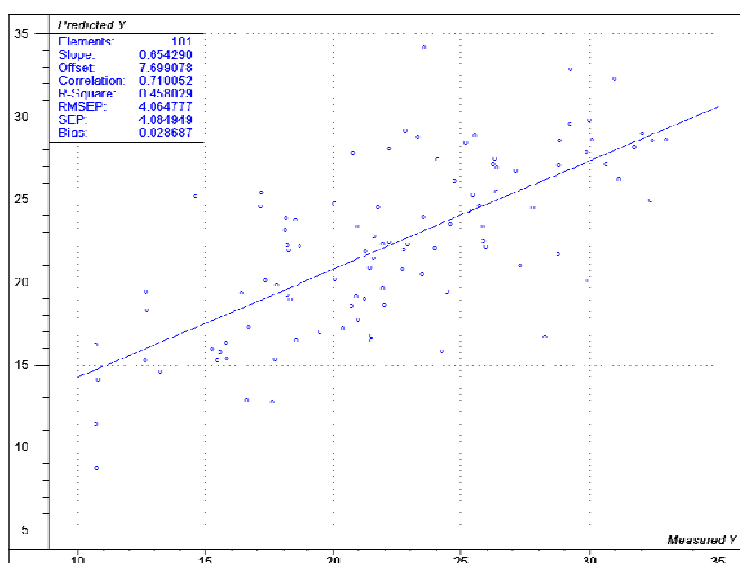
จากพบว่า สมการการทดสอบของสเปกตรัม 2^{nd} Derivative ในช่วงความยาวคลื่น 400-1700 นาโนเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของสมการทดสอบสูงที่สุดคือมีค่า 0.965 มีค่า RMSEC ต่ำ

เมื่อนำมาเขียนความสัมพันธ์ของ FFA ระหว่าง NIRS กับ Prediction ของพาล์ม สเปกตรัมแบบ 2^{nd} Derivative ซึ่งมีทิศทางเป็นเส้นตรงไปในแนวเดียวกันและบ่งบอกถึงความแม่นยำสูงในการทำนาย ดังภาพที่ 6(a) สมการทดสอบ และ 6(b)

a.



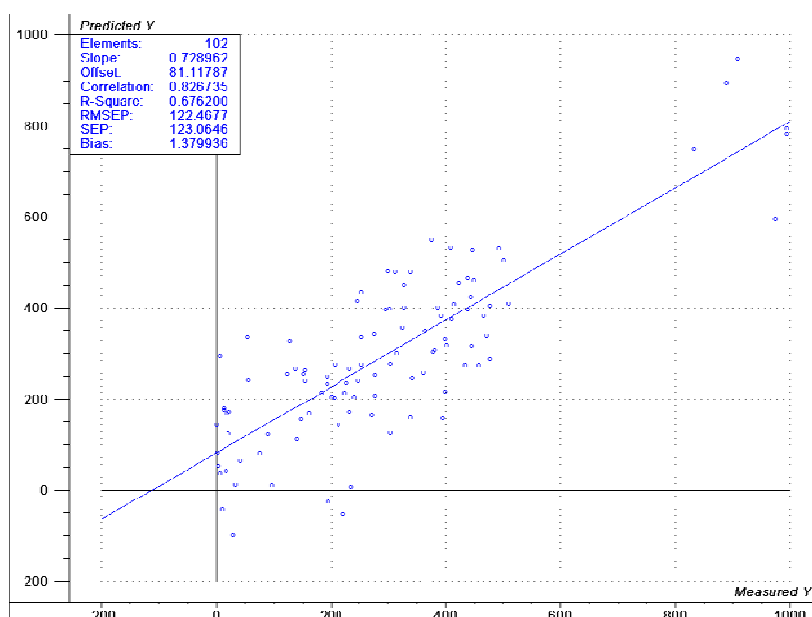
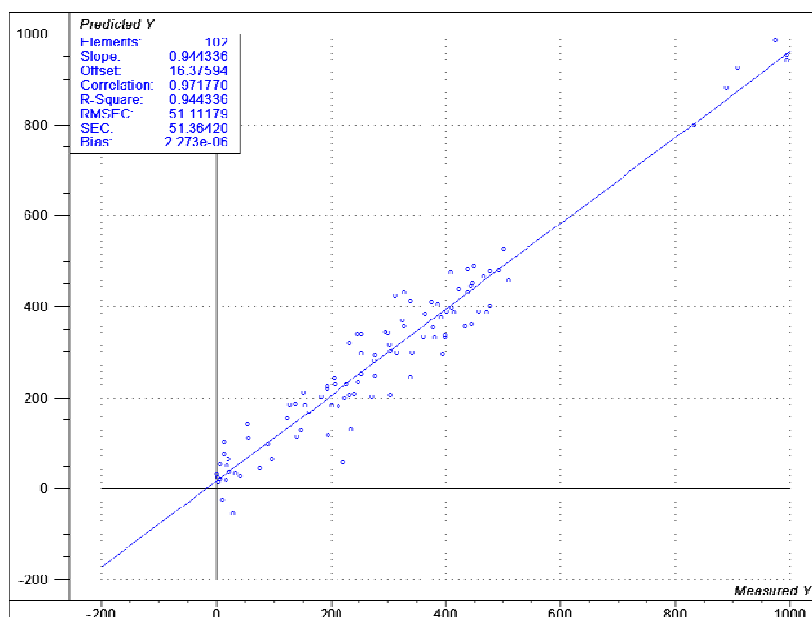
b.



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของ FFA ระหว่าง NIRS กับ Prediction ของพาล์ม สเปกตรัมแบบ 2^{nd} Derivative

- (a) ความสัมพันธ์ของ FFA ระหว่าง NIRS กับ สมการทดสอบของพาล์ม สเปกตรัมแบบ 2^{nd} Derivative ของ FFA
- (b) ความสัมพันธ์ของ FFA ระหว่าง NIRS กับ สมการทำนายของพาล์ม สเปกตรัมแบบ 2^{nd} Derivative ของ FFA

และเมื่อนำมาเขียนความสัมพันธ์ของ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ระหว่าง NIRS กับ Prediction ของ
 ปาล์ม สเปกตรัมแบบ 2nd Derivative ได้ความสัมพันธ์เช่นเดียวกับ FFA ดังภาพที่ 7(a) สมการทดสอบ และ
 7 (b)

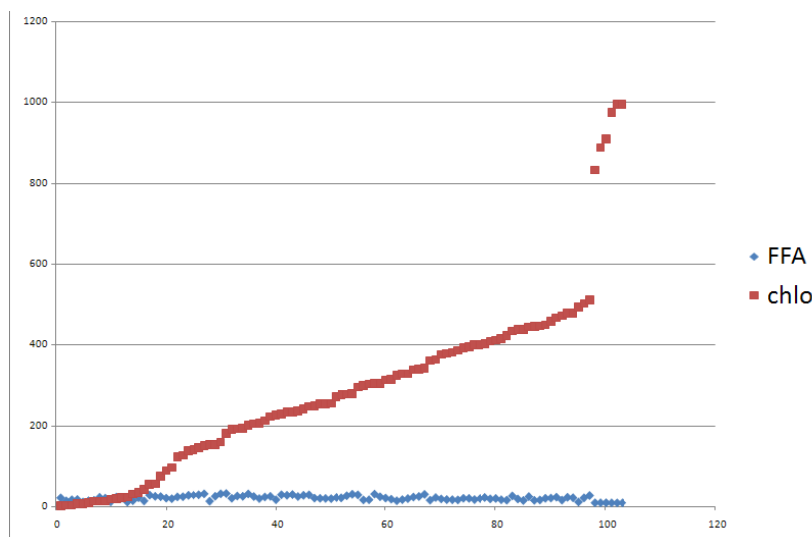


- ภาพที่ 7(a) ความสัมพันธ์ของ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ระหว่าง NIRS กับ สมการทดสอบของปาล์ม
 สเปกตรัมแบบ 2nd Derivative ของ ปริมาณคลอโรฟิลล์
- 7(b) ความสัมพันธ์ของ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ระหว่าง NIRS กับ สมการทำนายของปาล์ม
 สเปกตรัมแบบ 2nd Derivative ของ ปริมาณคลอโรฟิลล์

ตารางที่ 11 แสดงค่าความสัมพันธ์ของสมการที่ได้กับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้ร่วมกับปริมาณ FFA ที่วัดได้ โดยเรียงข้อมูลตามปริมาณ FFA ตามด้วยปริมาณคลอโรฟิลล์ที่วัดได้

Pretreatment	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	แบบจำลอง	R	RMSEC/RMSEP	SEC/ESP	Bias	F
Original	400-1100	Calibration	0.609	3.56	3.578	-3.926×10^{-6}	19
		Prediction	0.502	4.428	4.447	-0.156	
	400-1700	Calibration	0.614	3.536	3.554	-3.417×10^{-6}	20
		Prediction	0.536	4.736	4.759	0.04	20
	400-2500	Calibration	0.524	3.929	3.948	1.852×10^{-8}	16
		Prediction	0.472	4.645	4.665	0.158	16
MSC	400-1100	Calibration	0.598	3.611	3.629	-1.880×10^{-6}	17
		Prediction	0.489	4.388	4.41	-0.108	17
	400-1700	Calibration	0.621	3.505	3.522	-7.315×10^{-7}	20
		Prediction	0.531	4.564	4.587	-0.04	20
	400-2500	Calibration	0.392	4.442	4.464	-3.148×10^{-7}	13
		Prediction	0.309	5.033	5.057	0.065	13
2 nd Derivative	400-1100	Calibration	0.415	4.358	4.379	-8.333×10^{-8}	12
		Prediction	0.321	4.966	4.990	-0.003	12
	400-1700	Calibration	0.533	3.892	3.911	-1.389×10^{-7}	13
		Prediction	0.480	4.566	4.587	0.102	13
	400-2500	Calibration	0.107	5.383	5.409	-4.629×10^{-8}	2
		Prediction	0.81	5.542	5.568	-0.078	2

จากตารางที่ 11 สามารถอธิบายได้ว่าสมการ NIR ความยาวคลื่น 400-1700 ที่สร้างจากสเปกตรัมที่ผ่านการ pretreatment แบบ MSC สามารถใช้ทำนาย ปริมาณ FFA และปริมาณคลอโรฟิลล์ไปพร้อมๆ กันได้ แต่ให้ค่าความแม่นยำน้อยกว่า การสร้างสมการทำนาย FFA หรือ คลอโรฟิลล์อย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ว่า FFA และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ไม่มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงค่า FFA และปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลปาล์มแต่ละสเปกตรัม

4.4 สรุปผลการวิจัย

จึงสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการใช้คลื่นสั้นย่านใกล้อินฟราเรด สเปกตรัมแบบ 2nd Derivative ช่วงความยาวคลื่น 400-1700 นาโนเมตร แบบ Transmittance มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการทำนายค่า FFA และปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลปาล์มได้อย่างแม่นยำ