

NIRS를 이용한 작물 품질분석

김용호

순천향대학교

I. 서 언

NIRS(Near InfraRed Spectroscopy : 근적외선 분광분석법기)는 작물의 품질 특성을 파괴 없이 단 시간 내에 신속·정확하게 분석할 뿐만 아니라 다량의 시료라 하더라도 동시에 여러 성분을 분석할 수 있으므로 최근 각 분야에서 다양하게 쓰이고 있는 분석방법이다. 이밖에 NIRS는 분석된 기지의 시료 성분 함량을 자료화하여 library를 구축한 후, 새로운 제품의 스펙트럼과 대조·평가를 함으로써 제품의 품질 평가를 할 수 있는 까닭에 NIRS의 control chart를 이용하여 시료의 일정한 품질을 항상 관리할 수 있는 기술도 개발되고 있다. 특히 NIRS는 전처리가 필요 없는 비파괴분석이 큰 장점이므로 작물의 육종 및 재배에 있어 추후 필수적인 분석방법이 될 것이라 생각되며, 최근에는 국내에서도 NIRS를 이용한 성분 함량 분석에 관한 보고가 계속해서 발표되고 있다.

II. NIRS의 개요 및 원리

근적외선 분광분석법(NIRS)은 분자의 근적외선 광 에너지 흡수를 이용하여 분자의 구조 해

TYPICAL ABSORPTIONS

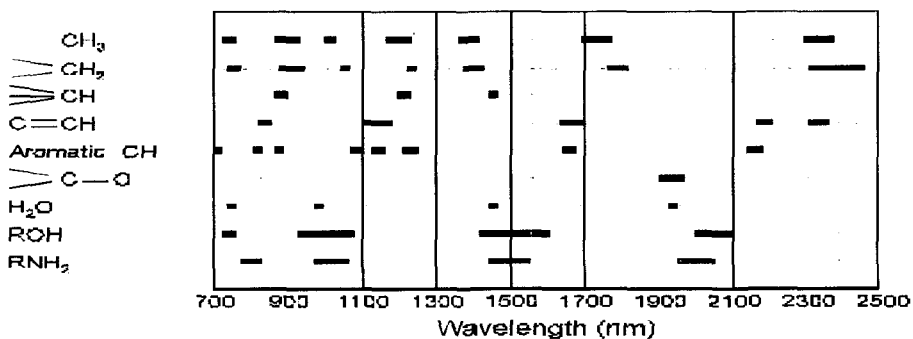


그림 1. 근적외선 대역의 대표적 흡수.

Corresponding author: (Phone) +82-41-530-1281 (E-mail) yohokim@sch.ac.kr

표 1. 근적외선 파장 대역의 정보

Wavelength	Bond vibration (nm)	Structure			
713	C-H str. fourth overtone	benzene			
738	O-H str. third overtone	ROH	1510	N-H str. first overtone	protein
740	C-H str. fourth overtone	CH ₂	1520	O-H str. first overtone	CONH ₂
746	C-H str. fourth overtone	CH ₂	1520	N-H str. first overtone	ROH
747	O-H str. third overtone	ArOH		(intramol H-bond)	
760	O-H str. third overtone	H ₂ O	1528	O-H str. first overtone	strach
762	C-H str. fourth overtone	CH ₂		(intramol H-bond)	
779	N-H str. third overtone	RHN ₂	1530	N-H str. first overtone	RNH ₂
790	N-H str. third overtone	ArNH ₂	1533	C-H str. first overtone	C-H
806	N-H str. third overtone	RNH ₂	1540	O-H str. first overtone	starch
808	2xN-H str. + 2xN-H def. + 2xC-N str	RNHR		(intramol H-bond)	
815	N-H str. third overtone	RNHR	1570	N-H str. first overtone	-CONH-
832	2xN-H str. + 2xN-H def. + 2xC-N str	RNHE	1580	O-H str. first overtone	starch, glucose
849	3xC-H str. + 2xC-C str	benzene		(intramol H-bond)	
874	C-H str. third overtone	benzene	1620	C-H str. first overtone	-CH ₂
880	C-H str. third overtone	CHCl ₃	1645	C-H str. first overtone	R-CH-CH
900	C-H str. third overtone	CH ₂	1660	C-H str. first overtone	cis-RCH=CHR ¹
910	C-H str. third overtone	protein	1685	C-H str. first overtone	aromatic
913	C-H str. third overtone	CH ₂	1695	C-H str. first overtone	CH ₂
928	C-H str. third overtone	Oil	1705	C-H str. first overtone	CH ₂
938	C-H str. third overtone	CH ₂	1725	C-H str. first overtone	CH ₂
970	O-H str. second overtone	ROH, H ₂ O	1740	S-H str. first overtone	-SH
990	O-H str. second overtone	strach	1765	C-H str. first overtone	CH ₂
1000	O-H str. second overtone	ArOH	1780	C-H str. first overtone	cellulose
1015	2 x C-H str. + 3xC-H def.	CH ₂	1820	O-H str. + 2xC-H str	cellulose
1020	2 x C-H str. + 3xC-H def.	protein	1900	O-H str. + 2xC-H str.	starch
1020	N-H str. second overtone	ArNH ₂	1900	C-H str. second overtone	-CO ₂ H
1030	N-H str. second overtone	RNH ₂	1905	O-H str. first overtone	POH
1037	2xC-H str. + 2xC-H def. + (CH ₂)m	oil	1920	C=O str. second overtone	CONH
1053	2xC-H str. + 2xC-H def. + (CH ₂)m	CH ₂	1940	O-H str. + O-H def.	H ₂ O
1060	N-H str. second overtone	RNH ₂	1950	C=O str. second overtone	-CO ₂ R
1080	2 x C-H str. + 2xC-C str.	benzene	1960	N-H asym. str. + amide II	CONH ₂
1097	2 x C-H str. + 2xC-C str.	cyclopropane	1980	N-H asym. str. + amide II	protein
1143	C-H str. second overtone	aromatic	2000	2 x O-H def. + C-H def.	starch
1152	C-H str. second overtone	CH ₂	2000	N-H sym. str. + amide II	CONH ₂ , CONHR
1179	C-H str. second overtone	HC=CH	2030	C=O str. second overtone	CONH ₂
1195	C-H str. second overtone	CH ₂	2050	N-H sym. str. + amide II	protein
1215	C-H str. second overtone	CH ₂	2050	N-H asym. str. + amide II	CONH ₂
1225	C-H str. second overtone	CH	2080	O-H str. + O-H def.	FOH, sucrose, starch
1360	2xC-H str. + 2xC-H def.	CH ₂	2100	2 x O-H def. + C-H def.	starch
1395	2xC-H str. + 2xC-H def.	CH ₂	2110	N-H sym. str. + amide II	CONH ₂ , CONHR
1410	O-H str. first overtone	ROH	2132	N-H str. + C=O str.	amino acid
1415	2xC-H str. + C-H def.	CH ₂	2140	=C-H str. + C=C str.	HC=CH
1417	2xC-H str. + C-H def.	aromatic	2150	2 x amide I + amide III	CONH ₂
1420	O-H str. first overtone	ArOH	2160	2 x amide I + amide III	CONHR
1430	N-H str. first overtone	CONH ₂	2180	2 x amide I + amide III	protein
1440	O-H str. first overtone	strach	2190	CH ₂ asym. str. + C-str.	HC=CH
1440	2xC-H str. + C-H def.	CH	2200	C-H str. + C=O str.	-CHO
1446	2xC-H str. + C-H def.	aromatic	2242	O-H str. + O-H def.	amino acid
1450	O-H str. first overtone	strach, H ₂ O	2252	O-H str. + O-H def.	starch
1460	N-H str. first overtone	CONH ₂	2276	O-H str. + C-C str.	starch
1471	N-H str. first overtone	CONHR	2290	C-H str. + C-H def.	CH ₂
1480	O-H str. first overtone	glucose	2294	N-H str. + C=O str.	amino acid
	(intramol H-bond)		2310	C-H str. + C-H def.	CH ₂
1483	N-H str. first overtone	CONH ₂	2323	C-H str. + C-H def.	CH ₂
1490	N-H str. first overtone	CONHR	2336	C-H str. + C-H def.	cellulose
1490	N-H str. first overtone	CONH ₂	2347	CH ₂ sym. str. + CH ₂ def.	HC=CHCH ₂
	(intramol H-bond)		2352	C-H def. second overtone	cellulose
1490	O-H str. first overtone	cellulose	2380	C-H def. second overtone	ROH
	(intramol H-bond)		2461	C-H str. + C-H str.	starch
1492	N-H str. first overtone	ArNH ₂	2488	C-H str. + C-C str.	starch
1500	N-H str. first overtone	NH	2500	C-H str. + C-C str.	starch

석 및 분석을 수행하는 방법으로 전자기 복사선 중의 780 nm에서 2,500 nm가 그 파장 대역이 된다.

근적외 대역의 스펙트럼은 유기분자의 광 에너지 흡수에 의해 얻어진다. NIR대역에서 생기는 빛의 흡수의 대부분은 주로 IR에서 유래되는 -CH, -NH, -OH 등의 분자 진동 에너지의 결합대(combination band)와 1차에서 4차의 배음대(overtone band)에 의한 것이다. 근적외 분광분석법은 정량 및 정량 분석에 모두 사용할 수 있는데, 정량 분석의 경우 분석 시료의 투과도 및 반사도를 이용하여 회귀분석을 통한 검량식을 구하고 이를 검증 후에 적용을 하면 된다. 따라서 NIRS는 절대적인 정량 분석법이 아니고 상대적인 정량 분석법이라고 하겠다.

NIR 분석법의 최대 특징은 전처리가 필요 없다는 것이다. 즉 근적외선은 적외선 보다 흡광도가 낮고 pathlength가 넓기 때문에 시료를 비파괴로 전처리 없이 시약을 사용하지 않고 여러 성분을 동시에 분석할 수 있다. IR 대역에서는 흡광도가 매우 크므로 직접적인 분석은 불가능하며, 측정 전에 박편이나 또는 미량의 시료만 취하여 시료의 현탁, 용해 등의 전처리가 필요하다. 그러나 NIR 대역에서는 적외선에 비해 그 흡광도의 크기가 10-1,000배 정도로 아주 작기 때문에 전처리가 없이 분석이 가능하며 이러한 전처리 과정의 생략은 정량의 재현성 및 정확도의 증가, 분석 시간의 절감 등 여러 가지 장점이 된다.

III. NIRS 분석법

1. 측정 방법 및 시료 형태

NIRS 분광분석기는 빛을 내는 광원(source), 광을 필요한 파장으로 분리시키는 단색화 장치(monochromator)와 시료에서 나오는 광량을 측정하기 위한 검출기(detector)의 3 부분으로 구성되어 있으며, 측정 방법으로는 빛을 시료에 조사시키는 방법에 따라 크게 확산 반사(diffuse reflectance)과 투과(transmission)의 2가지 방법이 이용된다.

NIR 분석에서는 시료를 있는 그대로 분석하기 때문에 시료의 형태가 매우 중요하다. 동일 시료의 스펙트럼은 반복 측정하더라도 변이가 크지 않고 재현성이 있어야 하며 따라서 측정 시료의 형태에 따라 각각 알맞은 측정 방법 및 측정 대역 등이 선정되어야 한다. 일반적으로 확산반사는 고체(분말) 또는 빛이 투과하기 어려운 액체 등에 이용되며, 투과법은 대부분 액체 또는 고압·고농도의 기체 분석시에 이용한다.

2. NIRS의 정량 분석

근적외 분광분석법은 1980년대 이후 chemometrics라고 불리는 검량기법이 발달함으로써 분석에 따르는 복잡한 문제를 통계적 방법으로 해결할 수 있게 됨에 따라 새로운 분석 방법으로 부상되었다.

NIRS를 이용한 정량분석 방법은 먼저 수집된 유전자원들의 NIR(근적외선) spectrum을 얻은 후, 검량식을 유도한다. 검량식은 다양한 수처리 방법(1차에서 4차 미분, 회귀분석: MLR, PLS 등)을 통하여 산출하는데, 잘 유도된 검량식은 안정된 결과로서 재현성 및 정확도가 좋

고, 그렇지 않은 경우는 불안정하며 따라서 보정이 필요하다. 검량식이 얻어지면 퍼센트 예측 프로그램을 통하여 이 검량식의 적용 여부를 검증하고 일상분석에서 이를 확인한 후 유도된 검량식을 실제 분석에 사용한다. 즉 NIR spectrum 획득 → spectrum의 수처리 → 검량선 유도 → 검량선 검증 → 정량분석의 단계를 거쳐 미지의 성분 함량을 신속 편이하게 분석할 수 있게 된다.

1) 수처리(Math treatment)

이미 언급한 바와 같이 NIRS 분광기는 다른 기기에 비해 스펙트럼의 재현성이 우수하지만 동일 시료에서 항상 같은 스펙트럼을 얻기는 매우 힘들다. 따라서 산란 효과를 보정(scatter correction)하거나 기준선(baseline)의 변위를 최소화하고 스펙트럼의 심한 중첩으로부터의 분리가 필요하다.

여기에서는 미분법(derivative)을 소개하고자 한다. 스펙트럼 전처리(spectra preprocessing)에는 미분법 이외에도 Standard Normal Variate(SNV), Multiplicative Scattering Correction(MSC), Detrending 등 여러 가지 기법이 있다.

미분법은 가장 많이 쓰이는 수처리 방법 중의 하나인데 스펙트럼을 미분함으로써 흡수대의 변화를 크게 나타내게 하는 것이다. 즉 미분을 함으로써 스펙트럼의 변화를 증폭시키는 동시에 바탕선의 변화를 제거하는 효과를 가지게 한다. 그림 2와 3은 이런 변화를 확연하게 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 원래의 스펙트럼은 바탕선의 변화가 매우 심하였지만 2차미분을 통하여 바탕선의 변화가 제거되는 한편 스펙트럼의 변화는 증폭되었음을 알 수 있다.

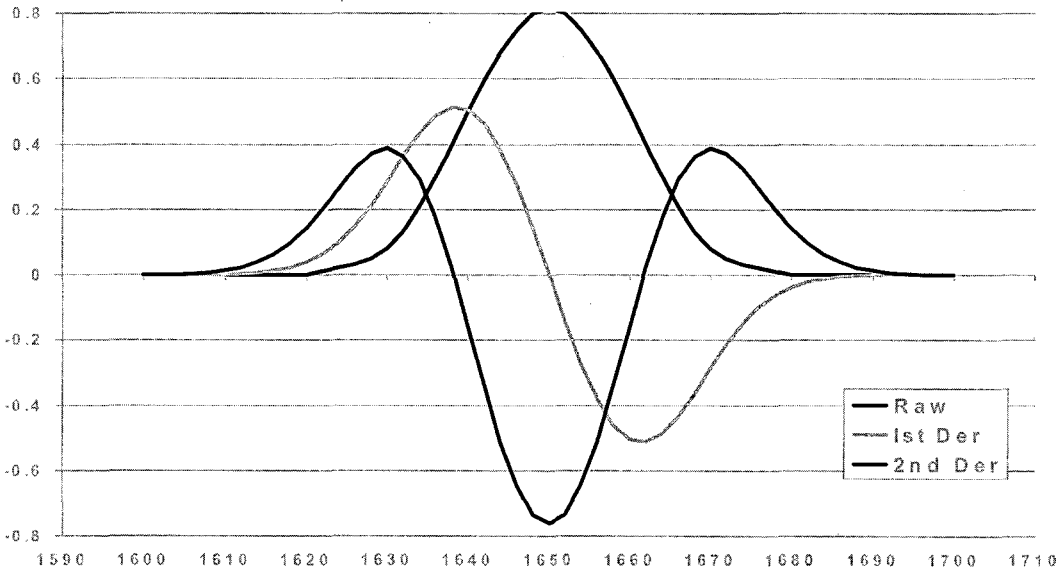


그림 2. 스펙트럼 전처리(1차 및 2차 미분법)에 따른 스펙트럼의 변화.

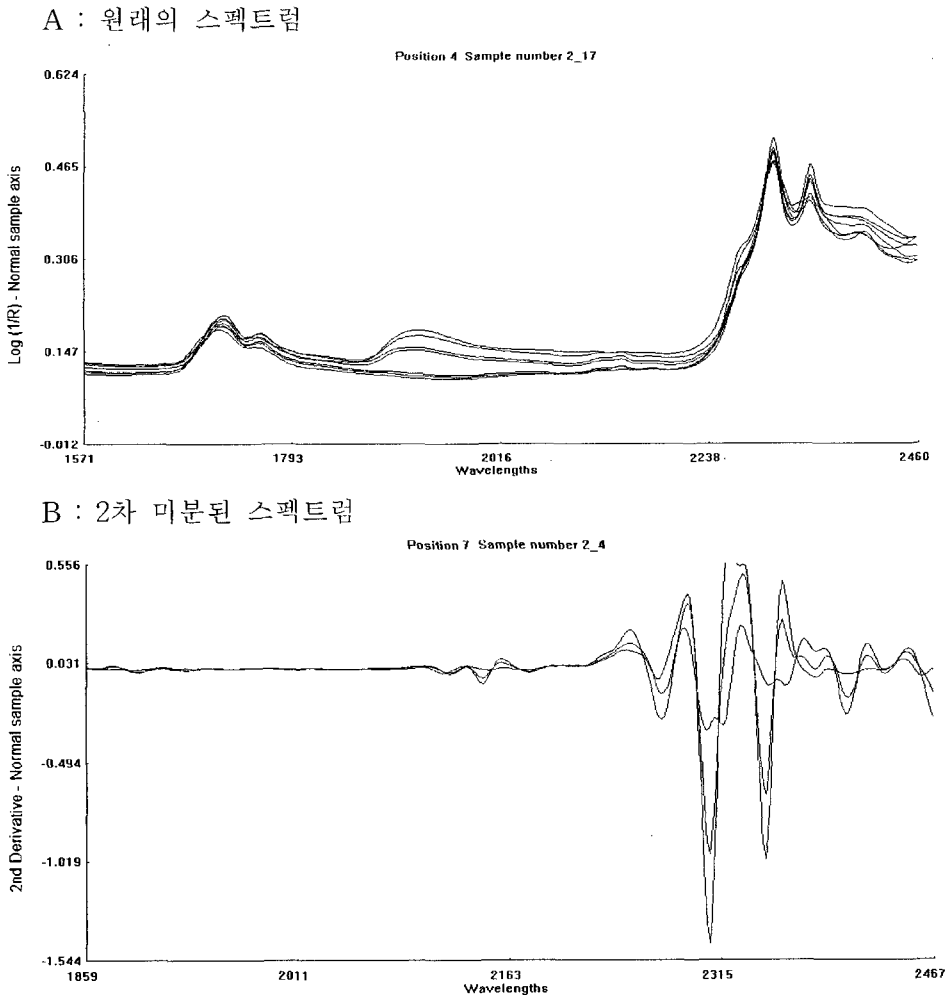


그림 3. 수처리에 따른 NIRS 스펙트럼의 변화(시료 : 미강유).

2) 검량선 작성 및 검증

NIR 대역에서의 흡수는 주로 결합대와 배음대가 어우러져 있기 때문에 떠나비가 증가될 뿐만 아니라 심한 중첩이 일어나며, 또한 흡광도의 변위가 시료의 화학적·물리적 성질의 변위에 비해 매우 미약하다. 이런 까닭에 단순한 회귀분석으로는 적합한 선형방정식을 도출시킬 수가 없어 검량이 어려우며, 따라서 검량선 작성을 위하여 다양한 방법의 다변량(multivariate)회귀분석법이 사용된다.

일반적으로 다중선형 회귀법(Multiple Linear Regression; MLR), 주성분분석법(Principle Component Analysis; PCA), 부분최소제곱법(Partial Least Squares; PLS) 등이 이용된다. 최근에는 컴퓨터의 발달이 NIRS에 접목됨으로써 이들 통계적 처리를 손쉽게 할 수 있는 software가 NIRS 분광기 관련 회사들에서 개발되어 있어 통계적 지식이 부족하더라도 NIRS 분광기를 부담없이 다룰 수 있게 되었다.

한편, 이러한 방법으로 도출된 검량식은 독립적이면서도 검량 스펙트럼 세트와 유사한 별도의 스펙트럼을 통하여 개발된 검량식의 예측 능력이 검증(validation)되어야 한다. 일반적으로는 검량식을 만들 때 Cross Validation(CV)을 사용하여 검량 세트 내에서 내부 검증을 한다. 즉 검량 세트 내 시료 중 일부를 이용하여 검량식을 만들고, 검량식에서 제외된 나머지 시료를 이용하여 검량식을 검증하게 된다. 회귀식에서 계산되어진 SECV(Standard Error of CV) 등을 통하여 적합한 검량식이 확인되고, 이렇게 작성되어진 검량식은 별도의 예측 세트에서 SEP(Standard Error of Prediction) 등을 통하여 검증하기도 한다.

IV. NIRS의 적용 예

: 미강 및 현미에 함유되어 있는 토코페롤 및 토코트리에놀 함량 분석

1. 재료 및 방법

미강과 현미에 함유된 비타민 E(tocotrienol, tocopherol)의 함량을 분석하였다. 벼 유전자원 100여 계통 및 품종을 중량비 8.5%가 되도록 도정한 것을 공시재료로 사용하였으며 비타민 E(tocotrienol, tocopherol) 함량은 HPLC를 이용하여 분석하였다.

NIRS spectrum 은 가시광선 및 근적외선 대역(400-2,500 nm)에서 현미와 미강 상태로 스캐닝하였으며, HPLC를 통하여 분석되어진 토코페롤 및 토코트리에놀 함량치와 비교 분석하여 검량식을 작성하였다. 분석에 이용된 기기는 NIRSystem model 6500(Foss NIRSystems)이었다. 검량식은 우선 spectrum을 4가지 수처리 방법을 통하여 1차적으로 noise와 bias를 줄였다. 수처리(math treatment)는 1차미분법을 이용한 1, 4, 4(1st derivative, 4 nm gap, 4 points smooth)조건, 1, 10, 10 조건과 2차미분을 이용한 2, 4, 4 조건 및 2, 10, 10 조건을 사용하였다. 수처리된 spectrum은 회귀분석을 통하여 검량식을 작성하였는데 회귀분석은 Step up, Step wise, 그리고 MPLS(Modified Partial Least Squares)법을 사용하여 검량식을 산출하였으며, 작성된 검량식을 상호 비교 분석한 후 적정의 검량식을 도출하였다.

2. 결과 및 고찰

1) 미강 함유 성분의 NIRS 검량식 작성

미강 함유 성분 함량을 HPLC를 이용하여 분석(토코페롤, 토코트리에놀)한 결과는 표 2와 같다. 다양한 유전자원을 분석 재료로 이용한 까닭에 성분함량들의 변이가 크게 나타났으며, 이런 결과는 NIRS를 이용하여 미강의 성분 분석을 함에 있어 유리하게 작용할 수 있다.

표 2. 벼 유전자원의 미강 함유 토코페롤 및 토코트리에놀 함량.

	시료 수	범위	평균	표준편차
토코페롤 (mg/kg)	80	3.43-27.2	18.3	6.66
토코트리에놀 (mg/kg)	80	2.29-32.8	26.3	7.88

표 3은 미강의 비타민 E(토코페롤 및 토코트리에놀) 함량을 NIRS를 이용하여 검량식을 작성한 결과이다. 회귀분석법은 step-wise, step-up 및 MPLS 방법을 이용하였으며 수처리 1차미분 및 2차미분을 이용하는 4가지 방법을 사용하였다.

표에서 보는 바와 같이 R² 및 SEC 값으로 판단할 때 MPLS 방법이 기타 방법보다 우수한 것으로 나타났다. MPLS의 4가지 수처리 방법에 따른 비타민 E 함량의 검량식은 2차 미분한 방법이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 NIRS 이용시 유용한 검량식을 얻기 위해서는 validation file을 작성한 후 calibration file에서 얻어진 검량식을 적용하여 봄으로써 그 유효성을 판단하여야 한다. 토코페롤은 2,4,4의 수처리 방법을 통한 검량식이 우수한 것으로 판단되었으며, 토코트리에놀은 검량식 작성에서는 2,4,4 및 2,10,10의 검량식이 비슷한 경향이었으나 validation file 에서는 2,10,10의 상관계수가 0.956을 나타낸 반면 2,4,4은 0.869에 그쳐 2,10,10의 수처리가 우수한 것으로 판단되었다.

표 3. 미강 함유 비타민 E 함량 분석을 위한 NIRS 검량식의 여러 Parameters.

회귀분석법	수처리	검량식 set					
		토코페롤 (mg/kg)			토코트리에놀 (mg/kg)		
		R ²	평균	SEC	R ²	평균	SEC
Step-wise	1, 4, 4	0.504	20.7	3.37	0.510	26.9	5.22
	1, 10, 10	0.583	21.3	2.64	0.735	28.1	2.93
	2, 4, 4	0.549	20.6	3.22	0.847	28.6	2.13
	2, 10, 10	0.645	19.0	3.59	0.871	28.6	2.12
Step-up	1, 4, 4	0.547	18.7	4.34	0.511	26.3	5.52
	1, 10, 10	0.538	18.9	4.30	0.341	27.4	5.28
	2, 4, 4	0.528	18.5	4.48	0.541	27.4	4.41
	2, 10, 10	0.532	18.5	4.54	0.583	26.6	4.81
Modified partial Least Squares (MPLS)	1, 4, 4	0.889	20.0	1.97	0.946	28.8	1.17
	1, 10, 10	0.923	21.1	1.241	0.963	29.5	0.700
	2, 4, 4	0.975	19.8	0.889	0.988	28.4	0.603
	2, 10, 10	0.950	20.2	1.23	0.984	28.5	0.688

* 수처리 a, b, c: a = 미분방식 ; b = gap; c =smooth

**R² = squared coefficient of multiple determination in calibration

***SEC = standard error of calibration

표 4는 표 3의 결과에 따른 토코트리에놀 검량식 작성의 적합모델을 나타내었다.

표 4. 미강 함유 토코트리에놀 함량 분석을 위한 적정 NIRS 검량식의 Parameters.

수처리 (MPLS)	Calibration set		Validation set	
	R ²	SEC	r ²	SEP
2, 10, 10	0.984	0.688	0.956	1.149

*SEP : Standard error of prediction in validation

그림 2는 토코페롤, 토코트리에놀의 분석치와 현미상태의 NIRS 검량식에서 도출한 분석치와의 상관관계를 나타낸 것이다.

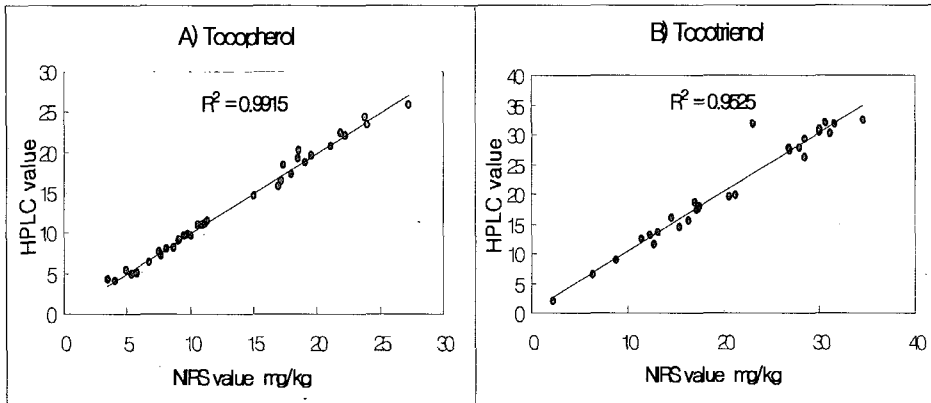


그림 4. 현미 함유 토코트리에놀 함량의 NIRS 분석치와 HPLC 분석치와의 상관도.

NIRS 분석의 장점은 시료의 전처리 없이 비파괴분석이 가능하다는 점인데 이와 같이 미강 및 현미 상태에서도 NIRS를 이용하여 토코페롤 및 토코트리에놀 함량을 분석할 수 있음을 알 수 있다. 이런 관점에서 볼 때 앞으로 NIRS를 응용하는 여러 종류의 분석법 개발이 여러 형태의 시료에서 가능하다는 것을 시사하는 것이라 생각한다.

참고문헌

1. Babu, U. S. and M. Y. Jenkins. 1992. Effect of short-term feeding of barley oil extract containing naturally occurring tocotrienols on the immune response of rats. *Ann. NY Acad. Sci.* 669: 317-319.
2. Choung, M. G., I. Y. Baek, S. T. Kang, W. Y. Han, D. C. Shin, H. P. Moon, and K. H. Kang. 2001. Non-destructive method for selection of soybean lines contained high protein and oil by near infrared reflectance spectroscopy. *Korean J. Crop Sci.* 46(5) : 401-406.
3. Daun, J. K., K. M. Clear, and P. Williams. 1994. Comparison of three whole seed near-infrared analyzers for measuring quality components of canola seed. *JAOCS.* 71(10) : 1063-1068.
4. Gould, M. N. and J. D. Haag. 1991. A comparison of tocopherol and tocotrienol for the chemoprevention of chemically induced rat mammary tumors. *Am. J. Clin. Nutr.* 53 : 1068S-1070S.
5. Jung, C. S., B. J. Kim, Y. C. Kwon, W. Y. Han, and Y. H. Kwack. 1998. Analysis of protein and moisture contents in Pea using near-infrared reflectance spectroscopy. *Korean J. Crop Sci.* 43(2) : 101-104.
6. Kamal, E. A. and L. A. Appelqvist. 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids* 31 : 671-701.
7. Kamat, J. P. and H. D. Sarma. 1997. Tocotrienols from palm oil as effective inhibitors of protein oxidation and lipid peroxidation in rat liver microsomes. *Mol. Cell Biochem.* 170 : 131-137.

8. Kim, Y. H., B. R. Choi, H. Y. Baek, and Y. S. Lee. 2002. Quantification of icariin contents in *Epimedium Koreanum* N. by using a Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *K. J. Medicinal Crop Sci.* 10(5) : 340-343.
9. Kim, Y. H., H. T. Yun, W. K. Chung, and S. D. Kim, 1995. Determination of seed component contents in whole soybean seeds by Near Infrared Spectroscopy analysis. *RDA J. Agricul. Sci.* 37(2) : 91-94.
10. Lee, H. B., B. R. Choi, C. S. Kang, Y. H. Kim, and Y. J. Choi. 2001. Determination of seed protein and oil concentration in Kidney Bean by near infrared spectroscopic analysis. *Korean J. Crop Sci.* 46(3) : 248-252.
11. Qureshi, A. A., B. A. Bradlow, L. Brace, J. Manganello, D. M. Peterson, B. C. Pearce, J. J. K. Wright, A. Gapor, and C. E. Elson. 1995. Response of hypercholesterolemic subjects to administration of tocotrienols. *Lipids* 30 : 1171-1177.
12. Park, K. Y., C. S. Kang, Y. C. Cho, Y. S. Lee, and Y. S. Lee. 2003. Genotypic difference in tocopherol and tocotrienol contents of rice bran. *Korean J. Crop Sci.* 48(6) : 469-472.
13. Serbinova, E. A. and L. Packer. 1994. Antioxidant properties of alpha-tocopherol and alpha-tocotrienol. *Methods Enzymol.* 234 : 354-366.
14. Shenk, J. S. and M. O. Westerhaus. 1991. Population structuring of near infrared spectra and modified partial least squares regression. *Crop Science* 31 : 1548-1555.
15. Sugano, M. and E. Tsuji. 1997. Rice bran oil and cholesterol metabolism. *J. Nutr.* 127 : 521S-524S.
16. Tomeo, A. C., M. Geller, T. R. Watkins, A. Gapor, and M. L. Bierenbaum. 1995. Antioxidant Effects of Tocotrienols in Patients with Hyperlipidemia and Carotid Stenosis. *Lipids* 30 : 1179-1183.
17. Velasco, L., J. Fernandez-Martinez, and A. D. Haro. 1996. Screening ethiopian mustard for erucic acid by near infrared reflectance spectroscopy. *Crop Sci.* 36 : 1068-1071.
18. Williams, P. C., H. M. Cordeiro, and M. F. T. Harnden. 1991. Analysis of oat bran products by Near Infrared reflectance Spectroscopy. *Cereal Foods World* 36(7) : 571-574.
19. Yu, W. and M. S. Menchaca. 1999. Induction of apoptosis in human breast cancer cells by tocopherols and tocotrienols. *Nutr. Cancer* 33 : 26-32.
20. 두리테크 기술지원부. 2000. 근적외선 분광분석법. 두리테크 세미나 자료
21. 정희일, 김효진. 2000. 근적외선 분광법의 원리. *Analytical Science & Technology* 13(1) : 1-14.
22. 조규채, 김용호. 1995. “근적외선 분광분석법을 이용한 작물 품질 분석법”. *작물 품질 관련 정밀기기 작동방법. 한국작물학회.* pp. 143-180.

Evaluation of Seed Quality by Near Infrared Spectroscopy Analysis

Yong-Ho Kim

*Dept. of Life Sciences Soonchunghang University, Asan-si Chungnam 336-745, Korea
+82-41-530-1281, yohokim@sch.ac.kr*