

광 반사방식을 이용한 감염 씨감자 비파괴 선별 기술 개발

김대용¹ · 조병관^{1*} · 이윤수²

¹충남대학교 바이오시스템기계공학과, ²강원대학교 식물자원응용공학과

Development of non-destructive measurement method for discriminating disease-infected seed potato using visible / near-Infrared reflectance technique

Dae-Yong Kim¹, Byoung-Kwan Cho^{1*}, Youn-Su Lee²

¹Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Department of Applied Plant Sciences, Kangwon National University, Choncheon 200-701, Korea

Received on 2 March 2012, revised on 15 March 2012, accepted on 23 March 2012

Abstract : Pathogenic fungi and bacteria such as *Pectobacterium atrosepticum*, *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Verticillium albo-atrum*, and *Rhizoctonia solani* were the major microorganism which causes diseases in seed potato during postharvest process. Current detection method for disease-infected seed potato relies on human inspection, which is subjective, inaccurate and labor-intensive method. In this study, a reflectance spectroscopy was used to classify sound and disease-infected seed potatoes with the spectral range from 400 to 1100 nm. Partial least square discriminant analysis (PLS-DA) with various preprocessing methods was used to investigate the feasibility of classification between sound and disease-infected seed potatoes. The classification accuracy was above 97 % for discriminating disease seed potatoes from sound ones. The results show that Vis / NIR reflectance method has good potential for non-destructive sorting for disease-infected seed potatoes.

Key words : Reflectance, Seed Potato, PLS-DA, Disease-infection

I. 서론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 벼, 밀, 옥수수과 함께 세계 4대 식량작물에 속하며, 단위면적당 생산량이 높고 환경의 영향을 적게 받아 재배하기가 용이하다(Jang 등, 2011). 감자재배 시 각종 병원균 감염에 의한 생산 수량 저하와 상품의 질적 저하를 막기 위해 무병 종서 씨감자를 이용한다(Kim 등, 2011). 최근 기술의 발전으로 수경재배를 통해 우수한 무병 씨감자를 생산하고 있으나 전체 공급량의 약 40% 정도이며 대부분이 토양에서 재배된 씨감자를 이용한다. 따라서 씨감자는 재배, 수확, 저장, 파종 과정 중 토양에서 서식하는 병원균의 침입에 쉽게 노출될 수 있다. 특히 지하부에서 뿌리나 줄기를 통해 침입하는 감염은

조기에 발견이 어렵고 재배지 토양과 전체 작물을 감염시키는 심각한 문제를 일으킬 수 있다(Kim 등, 2002). 씨감자에 침입한 각종 곰팡이, 세균 등은 저온저장 환경에서 잠복 상태를 유지하게 되며 온도와 습도가 높아진 씨감자 파종 환경에서 번식하게 된다. 병원균에 감염된 씨감자는 상품성이 없고 식용될 수 없는 감자를 생산하므로 농가의 경제적 손실을 초래하게 된다. 현재 감염된 씨감자를 선별하는 기술은 인력에 의존하여 표면을 육안으로 선별하는 방법뿐이므로 생산성에 영향을 주지 않고 비파괴적인 방법을 이용한 내부 및 외부의 감염 씨감자를 선별할 수 있는 기술이 필요한 실정이다.

분광분석 기술은 비파괴적인 방법으로 신속, 정확하게 농산물의 내·외부 품질을 측정할 수 있는 기술 중 하나이다(Kim 등, 2011). 분광분석 방법에는 조사하는 광의 이용 형태에 따라 투과 및 반사 방식으로 구분하고 있으며 측정

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-6715

E-mail address: chobk@cnu.ac.kr

Table 1. KACC number and phytopathogens of bacteria and fungi infected on sound seed potatoes.

	KACC No.	Phytopathogens
Bacteria	10532	<i>Pectobacterium atrosepticum</i>
	20123	<i>Clavibacteri michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>
Fungi	40137	<i>Rhizoctonia solani</i>
	44940	<i>Verticillium albo-atrum</i>

된 분광속성과 대상물의 성분, 조직 등의 변화를 분석하므로 대상물의 내·외부 정보를 분석하는데 많이 이용되고 있다(Lee 등, 2004; Alexanderakis 등, 2008; Kim 등, 2010).

분광분석 기술로 획득한 투과 및 반사스펙트럼으로 농산물의 품질을 분석하는 방법에는 principal component analysis(PCA)와 partial least square discriminant analysis(PLS-DA) 등의 다변량 판별 분석 기법을 가장 많이 사용한다. Lim 등(2011)의 연구에서 콩과 이물질 판별에 SIMCA, PLS-DA 기법을 이용하여 콩과 이물질의 판별 성능을 확인하는 연구가 있었으며, Alexandrakis 등(2008)은 FT-NIR 분광분석 장치를 이용하여 *Pseudomonas*속과 *Listeria innocua* PH, *Lactococcus lactis* 등 5종의 박테리아를 PLS-DA, SIMCA 기법으로 판별분석을 실시하여 높은 판별 성능을 확인하였다. Xie 등(2007)은 반사 방식을 적용하여 유전 형질 전환 토마토를 PCA, SIMCA 분석으로 구별할 수 있음을 보고하였다.

본 연구에서는 토양에서 서식하여 심각한 문제를 야기하는 세균 및 곰팡이 균들 중 감자둘레썩음병, 감자무름병을 유발시키는 병원성 세균인 *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Pectobacterium atrosepticum*과 검은무늬썩음병과 반쪽시들음병을 유발하는 곰팡이 균인 *Rhizoctonia solani*, *Verticillium albo-atrum*을 정상 씨감자에 접종한 후 씨감자에 발생된 부패 및 썩음 등의 현상을 반사 방식의 분광분석 기법을 이용하여 감염 씨감자의 비파괴 검사 가능성을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료 및 균주

본 연구에서 사용된 씨감자는 강원도 감자종자진흥원으로부터 포장 재배되어 바이러스나 다른 병원체 감염이 없는 씨감자를 구입하였다. 실험실에 이송된 후 표면의 상처가 없고 씨눈이 자라지 않은 신선한 상태의 씨감자를 선별

하였다. 씨감자 접종에 사용된 병원균은 토양에서 서식하는 세균 및 곰팡이로 씨감자 재배 및 저장 동안 종서에 발생하기 쉬운 병원체이다. 자연적으로 씨감자에 발생하는 세균 및 곰팡이 균은 병징의 진행 정도를 확인하기 어려우며 대부분이 여러 종의 세균 및 곰팡이가 씨감자에 서식하게 되어 병원체의 종류를 확인하기 어렵다. 따라서 단일 균을 배양하여 직접 씨감자에 접종하는 방법을 선택하였다. 접종에 이용한 세균으로는 무름병을 유발하는 *P. atrosepticum*과 둘레썩음병을 유발하는 *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus*이며, 곰팡이로는 반쪽시들음병을 괴경에 발생시키는 *V. albo-atrum*과 검은무늬썩음병을 괴경에 발생시키는 *R. solani*를 배양한 후 정상씨감자에 접종하였다. Table 1은 Korea Agricultural Culture Collection(KACC)에서 분양받은 균주를 나타내었다. 세균 및 곰팡이 종류별로 제작된 시료 개수는 총 220 개이며 *P. atrosepticum*에 감염시킨 씨감자 50개, *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus*에 감염시킨 씨감자 50개, *R. solani*에 감염시킨 씨감자 50개, *V. albo-atrum*에 감염시킨 씨감자 40개를 제작하였다. 비교를 위해 정상 씨감자 30개를 준비하였다.

2. 세균 및 곰팡이 병원균 접종 방법

선별된 씨감자는 씨눈 주변에 흠이 묻어 있어 곰팡이, 세균 등의 서식지가 되기 쉬워 세척 및 살균 과정을 수행하여 교차 오염을 방지하고자 하였다. 접종 전 살균 과정은 NaClO 200배 희석액에 20분간 침지시킨 후 멸균수로 2회 세척하였다. 그 후 무균실에서 건조시켜 시료의 표면에 존재하는 수분을 제거하고 UV 램프 하에서 2시간 동안 표면 살균하였다(Cho 등, 2007).

감염 씨감자의 시료제작은 소독된 칼을 이용하여 씨감자를 절반으로 절단한 다음 각각의 균을 100 µl씩 내부에 접종한 후 원래의 씨감자 형태로 접합하였다. 전체의 시료는 멸균된 용기에 거름종이를 깔고 수분을 유지하기 위하여 증류수를 넣어 각각의 균주별로 최적의 온도를 설정한 후

인큐베이터에 보관하였다. 각각의 시료는 저장동안 반사스펙트럼을 3~4회 측정하였다. 세균은 빠르게 감염이 진행되어 10일 동안 3회를 측정하였고, 곰팡이의 경우 15일 동안 4회를 측정하였다.

3. 반사 스펙트럼 측정 장치

반사스펙트럼의 측정에는 Fig. 1과 같이 스펙트로미터(S-3100, sinco, Korea)와 적분구를 이용하여 400~1100 nm 영역의 반사스펙트럼을 획득하였다. 반사스펙트럼은 1 nm의 해상도이며 실시간 8회 스캔된 평균값을 이용하였다. 반사스펙트럼의 반사율은 White reference와 Dark reference를 측정하였고 식 1을 이용하여 반사율로 계산하여 구하였다. White reference는 Teflon board를 이용하였으며 Dark reference는 광을 완전히 차단하고 측정하였다.

$$R = \frac{R_i - D}{W - D} \times 100(\%) \quad (1)$$

Where, R : calculated relative reflectance values

R_i : raw intensity values of seed potato

D : intensity values of dark reference

W : intensity values of white reference

4. 감염 씨감자 판별을 위한 예측모델 개발

획득한 스펙트럼은 시료의 불규칙한 형상과 시료 자체의 구성 성분에 따라 광 산란, 광 경로의 변화가 발생하므로 수학적인 전처리 기법을 적용하여 스펙트럼을 보정하고 안정적인 예측모델을 개발하는데 이용한다(Ryu et al., 2000). 본 연구에서는 평균(mean), 최대값(maximum), 일정 범위 값(range)의 정규화(normalization) 전처리 방법과 스펙트럼의 측정 당시 환경 변화에 기인한 스펙트럼 기준선의

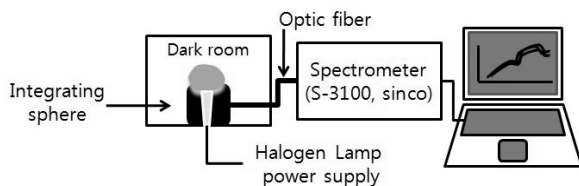


Fig. 1. Apparatus of a reflectance spectrometer used for the experiment.

이동을 보정하기 위하여 1차 미분과 2차 미분 전처리 기법을 적용하였다.

전처리 기법을 적용한 후 정상 씨감자와 감염된 씨감자를 판별하기 위하여 PLS-DA로 분석하였다. PLS-DA와 PLS는 동일한 방법으로서 PLS의 경우 스펙트럼과 종속변수(independent variables)인 실제 측정된 값과의 관계를 회귀 모델로 개발하고 예측하는 방법이지만 PLS-DA의 경우 종속변수를 임의의 변수(dummy variables)로 지정하여 회귀 모델을 개발하고 예측하게 된다(Woo 등, 1999; Min과 Kang, 2008; Lim 등, 2011; Alexandrakis 등, 2008). 본 연구에서는 정상 씨감자로부터 감염 씨감자를 판별하기 위하여 정상 씨감자의 종속변수를 임의의 값 "0"으로 지정하였고 감염된 씨감자의 종속변수는 "1"의 값으로 지정하였다. 개발된 예측 모델로 정상과 감염 씨감자의 판별 정확도를 나타낼 수 있게 된다. 데이터는 60%:40% 비율로 training set과 testing set으로 나누는 후 training set에 의해 모델을 개발한 후 testing set에 적용하여 정확도를 판정하였다. PLS-DA는 다변량 분석 소프트웨어(unsrambler v9.7, Camo Co., Norway)를 이용하였다.

PLS-DA는 일반적으로 상관계수(coefficient of correlation; r), 결정계수(coefficient of determination; R^2), SEC(standard error of calibration), SEP(standard error of prediction), bias 등을 고려하여 예측모델의 성능을 평가하게 된다. 본 연구에서는 우수한 예측모델을 결정하기 위하여 결정계수가 높고 SEC, SEP가 낮은 모델을 선정하였다(Kim 등, 2011).

III. 결과 및 고찰

1. 정상 씨감자와 감염 씨감자의 반사스펙트럼 비교

획득한 반사스펙트럼은 처음과 끝부분의 노이즈와 관련된 부분을 제외하고 500~1000 nm를 분석에 이용하였다. 정상 및 감염 씨감자의 반사스펙트럼은 주성분 분석(principal component analysis; PCA)을 이용하여 outlier를 제거한 후 나머지를 분석하였다. Fig. 2는 정상 및 감염 씨감자의 저장기간에 따른 스펙트럼의 변화를 분석하기 위하여 측정 1일차와 세균의 경우 10일차 반사스펙트럼의 평균값이며, 곰팡이 균의 경우 15일차의 반사스펙트럼을 평균하여 나타

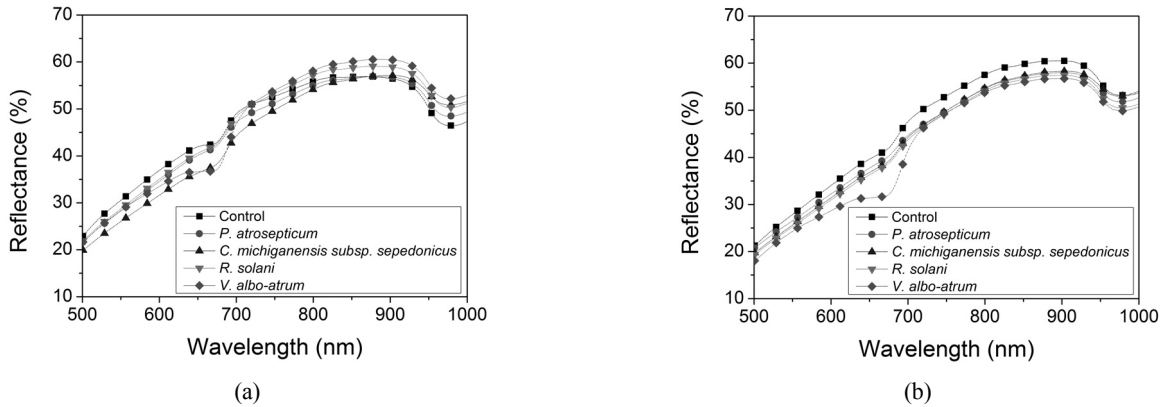


Fig. 2. Reflectance spectra of seed potato samples (a: first day, b: last day).

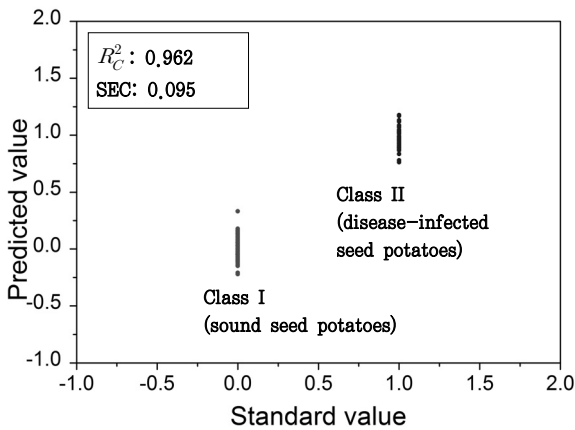


Fig. 3. PLS-DA calibration for sound seed potatoes and disease-infected seed potatoes with *P. atrosepticum*.

내었다. 측정된 반사스펙트럼에는 클로로필의 영역으로 알려진 680 nm 영역의 흡수가 확인되었으며 960 nm 수분 흡수 영역이 관찰되었다(EIMary 등, 2008). 특히 *V. albo-atrum*을 접종한 감염 씨감자를 제외한 저장 기간의 경과에 따라 스펙트럼의 변화가 관찰되는데 클로로필의 영역이 약해지면서 기울기가 가파른 형태의 반사스펙트럼이 확인되었다. 이러한 변화는 감염 부위를 중심으로 갈변 현상과 함몰 현상의 영향으로 스펙트럼의 흡수율이 변했기 때문이라 판단되었다.

2. 부분최소 자승 판별법을 이용한 예측모델 개발

Fig. 3은 감염 씨감자를 판별하기 위해 개발된 모델의 결과 중 하나이다. Class I은 정상 씨감자의 모델 개발의 결과이며 Class II는 *P. atrosepticum*에 감염시킨 씨감자의 결과이다. Class I과 Class II의 판별 기준은 0과 1사이의 0.5를 기준으로 0.5보다 낮으면 정상 씨감자 그룹인

Class I에 속하는 것으로 판단하였고 0.5보다 높으면 감염 씨감자인 Class II의 그룹으로 판단하였다(Alexandrakis 등, 2008). 본 연구에서 개발된 모델의 분석결과에서는 예측 값이 0.5로 어느 그룹에도 속하지 않는 결과를 나타내는 uncertain value는 없었으며 정상 씨감자를 감염 씨감자 그룹으로 판별하는 false positive와 감염 씨감자를 정상 씨감자로 판별하는 false negative는 나타나지 않았다.

Table 2~5는 정상 씨감자와 감염 씨감자의 반사스펙트럼을 이용하여 PLS-DA를 적용한 결과이다. 각각의 표에는 전처리 별로 개발된 모델의 결정계수와 SEC를 나타내었으며, 모델의 검증 결과의 결정계수와 SEP를 나타내었다. 또한 각각의 정상과 감염 씨감자의 판별 정확도를 나타내었다. Table 2는 정상 씨감자와 *P. atrosepticum*에 감염된 씨감자를 분석한 결과이며, Table 3은 정상 씨감자와 *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus*에 감염된 씨감자를 분석한 결과이다. Table 4는 정상 씨감자와 *R. solani*에 감염된 씨감자를 분석한 결과이며, Table 5는 정상 씨감자와 *V. albo-atrum*에 감염된 씨감자를 분석한 결과이다.

Table 2의 *P. atrosepticum*에 감염된 씨감자를 판별하는 결과에서는 평균을 이용한 정규화 전처리에서 가장 좋은 예측 결과를 확인할 수 있었으며 이때의 결정계수는 0.919이고 SEP는 0.141이었다, Table 3의 *C. michiganensis* subsp. *sepedonicus*에 감염된 씨감자를 판별하는 PLS-DA의 결과에서도 가장 우수한 예측 결과는 평균을 이용한 정규화 전처리에서 확인되었으며, 0.922의 결정계수와 0.138의 SEP가 확인되었다. Table 4의 *R. solani*에 감염된 씨감자를 판별하는 PLS-DA의 결과는 2차 미분의 전처리에서 검증 결과가 가장 우수하였으며 이때의 결정계수는 0.867이고, 0.0.173의 SEP가 확인되었다. Table 5의 *V.*

Table 2. Calibration and prediction results of sound and *P. atrosepticum* disease-infected seed potato using PLS-DA models with several preprocessing.

processing	Calibration						Prediction			
	$*R_C^2$	SEC	$*R_V^2$	SEP	*DR (%)		$*R_P^2$	SEP	DR (%)	
					con	Pa			con	Pa
Raw data	0.962	0.095	0.881	0.170	100	100	0.918	0.142	100	100
Mean	0.957	0.101	0.876	0.174	100	100	0.919	0.141	100	100
*Nor										
Maximum	0.979	0.070	0.893	0.162	100	100	0.894	0.160	97.5	100
Range	0.957	0.101	0.874	0.175	100	100	0.900	0.157	100	100
1 st Derivative	0.980	0.068	0.884	0.168	100	100	0.902	0.155	100	100
2 nd Derivative	0.972	0.081	0.890	0.164	100	100	0.882	0.170	100	96.7

R_C^2 : determination of coefficient of calibration

R_V^2 : determination of coefficient of validation

R_P^2 : determination of coefficient of prediction

Nor : normalization

DR : discrimination rate (%)

Table 3. Calibration and prediction results of sound and *C. michiganensis* subsp. *sepedunicus* disease-infected seed potato using PLS-DA models with several preprocessing.

processing	Calibration						Prediction			
	R_C^2	SEC	R_V^2	SEP	DR (%)		R_P^2	SEP	DR (%)	
					con	Cs			con	Cs
Raw data	0.954	0.106	0.904	0.155	100	100	0.900	0.158	100	100
Mean	0.967	0.089	0.912	0.148	100	100	0.922	0.138	100	100
Nor										
Maximum	0.969	0.086	0.912	0.149	100	100	0.917	0.143	100	100
Range	0.962	0.097	0.904	0.155	100	100	0.912	0.148	100	100
1 st Derivative	0.959	0.100	0.902	0.157	100	100	0.908	0.151	100	100
2 nd Derivative	0.915	0.145	0.875	0.177	100	100	0.865	0.183	97.5	100

Table 4. Calibration and prediction results of sound and *R. solani* disease-infected seed potato using PLS-DA models with several preprocessing.

processing	Calibration						Prediction			
	R_C^2	SEC	R_V^2	SEP	DR (%)		R_P^2	SEP	DR (%)	
					con	Rs			con	Rs
Raw data	0.973	0.081	0.911	0.148	100	100	0.831	0.203	92.5	100
Mean	0.974	0.079	0.910	0.149	100	100	0.832	0.203	92.5	100
Nor										
Maximum	0.975	0.077	0.909	0.149	100	100	0.815	0.213	92.5	100
Range	0.957	0.102	0.890	0.165	100	100	0.822	0.209	90.0	100
1 st Derivative	0.967	0.089	0.902	0.155	100	100	0.806	0.218	90.7	98.1
2 nd Derivative	0.964	0.093	0.889	0.166	100	100	0.867	0.173	100	100

Table 5. Calibration and prediction results of sound and *V. albo-atrum* disease-infected seed potato using PLS-DA models with several preprocessing.

processing	Calibration						Prediction			
	R_C^2	SEC	R_V^2	SEP	DR (%)		R_P^2	SEP	DR (%)	
					con	Va			con	Va
Raw data	0.965	0.092	0.896	0.162	100	100	0.882	0.172	100	97.6
Mean	0.961	0.098	0.889	0.167	100	100	0.885	0.169	100	97.6
Nor										
Maximum	0.964	0.094	0.889	0.167	100	100	0.888	0.167	100	97.6
Range	0.964	0.094	0.887	0.169	100	100	0.886	0.168	100	97.6
1 st Derivative	0.956	0.104	0.889	0.167	100	100	0.845	0.196	97.5	97.6
2 nd Derivative	0.945	0.117	0.869	0.182	100	100	0.865	0.183	100	100

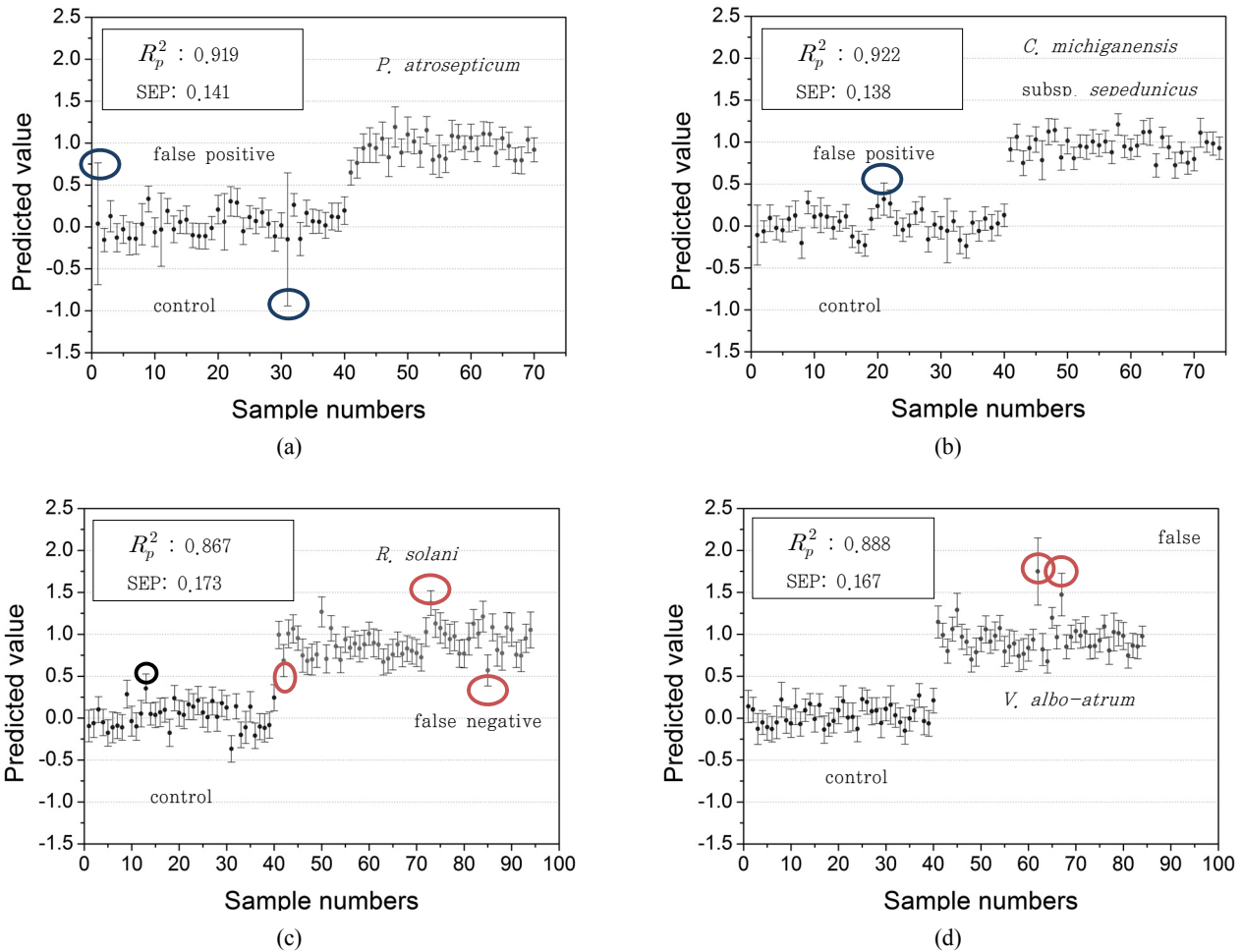


Fig. 4. Predicted results at the best models of PLS-DA with (a) *P. atrosepticum*-infected seed potatoes, (b) *C. michiganensis* subsp. *sepedunicus*-infected seed potatoes, (c) *R. solani*-infected seed potatoes, and (d) *V. albo-atrum*-infected seed potatoes.

*albo-atrum*에 감염된 씨감자를 판별하는 결과에서는 최대값을 이용한 정규화에서 가장 좋은 검증 결과가 확인되었고 결정계수는 0.888이고, SEP는 0.167이었다. 예측 결과의 결정계수로 볼 때 *C. michiganensis* subsp. *sepedunicus*에 감염된 씨감자의 판별 성능이 가장 우수하였다. 이는 정규화를 이용한 전처리하는 형상의 차이에 의해 발생하는 스펙트럼의 변이를 최소화하고 각각의 그룹들 간의 스펙트럼의 특징을 구분하는데 효과적으로 작용하였기 때문에 판단되었다. 또한 실험에서 병징의 현상이 빠르게 진행되고 정상 씨감자와 감염 씨감자의 구별이 뚜렷한 세균을 접종한 감염 씨감자의 판별 성능이 우수한 것으로 판단할 수 있었다.

각각의 검증 결과에서 우수한 검증 결과를 Fig. 4의 그래프에 나타내었다. 그래프에는 예측된 결과값과 함께 오차 막대를 표시하였다. 표시된 오차 막대에서 정상 씨감자를 감염 씨감자로 판단하는 false positive가 나타나서 원형으

로 표시하였다. 따라서 Table 2~5에 나타난 검증된 결과의 판별 정확도에는 *V. albo-atrum*을 접종한 씨감자의 97.6%를 제외하고 100%이었으며, 이는 오차를 제외한 결과 값이었다. 오차를 포함한 판별 정확도의 경우 1~3개 정도의 false positive와 false negative가 나타났으므로 감염 씨감자의 판별 정확도는 모두 90%이상이었다.

IV. 결론

씨감자는 각종 병원체로부터 감염의 가능성이 높아 씨감자 재배 및 파종은 정부에서 관리하고 있으며 농가에 보급 당시 감염 씨감자를 걸러내기 위해서 노동력에 의존한 육안 선별을 실시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 정상 씨감자에 주요한 병해 피해를 발생시키는 세균 및 곰팡이를 접종하여 분광분석으로 판별 가능성을 평가하기 위한 연구를 수행하였다.

연구에 선택한 병원균은 토양에서 서식하고 씨감자의 파종, 재배, 저장 동안에 심각한 피해를 입히는 세균인 *P. atrosepticum*, *C. michiganensis* subsp. *sepedunicus*을 선택하였고 곰팡이로는 *R. solani*, *V. albo-atrum*을 선택하여 직접 씨감자에 접종하고 저장동안 병징을 유도하여 반사스펙트럼을 획득하였다. 획득한 스펙트럼은 PLS-DA 다변량 분석 기법과 전처리 기법을 적용하여 예측모델을 개발하고 판별 정확도를 분석하였다. 각각의 세균 및 곰팡이를 접종한 검증 결과에서 *C. michiganensis* subsp. *sepedunicus*를 접종한 씨감자 PLS-DA의 결과가 가장 우수한 결정계수가 확인되었으며 이때의 판별 정확도는 정상 씨감자와 감염 씨감자 모두 100%였고 오차를 포함한 정확도의 경우 정상 씨감자는 97.5%이고 감염 씨감자는 100%였다.

씨감자 선별 기술로 국내에서는 아직 시도되지 않은 감염 씨감자 판별을 위한 기초실험을 수행하여 가능성을 평가하였고, 향후 씨감자의 위치에 상관없이 자연 발생된 병징의 판별 성능에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산물식품부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고 문헌

- Alexandrakis D, Downey G, Scannell AGM. 2008. Detection and identification of bacteria in an isolated system with near-infrared spectroscopy and multivariate analysis. *J. Agric. Food Chem.* 56: 3431-3437.
- Cho M, Jeong WD, Yoon JY. 2007. Application of UV Technology for Surface Disinfection. *J. of KSEE.* 29(9): 1020-1026. [in Korean]
- ElMasry G, Wang N, Vigneault C, Qiao J, ElSayed A. 2008. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging. *LWT* 41: 337-345.
- Kim CH, Kim YK. 2002. Present status of soilborne disease incidence and scheme for Its integrated management in Korea. *Res. Plant Dis.* 8(3): 146-161. [in Korean]
- Kim DY, Cho BK, Kim YS. 2010. Prediction of internal quality for cherry tomato using hyperspectral reflectance imagery. *Food Engineering Progress* 15(4): 324-331. [in Korean]
- Kim DY, Ahn CK, Back IS, Kim JG, Cho BK, Lee YS, Kim YS. 2011. Study on discrimination of disease-infected seed potatoes using transmittance and reflectance spectra. *Proceedings of the KSAM 2011 Summer Conference* 16(2): 469-474. [in Korean]
- Lee KJ, Kang SW, Choi KH. 2004. Nondestructive quality measurement of fruits and vegetables using near-infrared spectroscopy. *Food Engineering Progress* 8(3): 158-169. [in Korean]
- Lim JG, Kang SW, Lee KJ, Mo CY, Son JY. 2011. Identification of foreign objects in soybeans using near-infrared spectroscopy. *Food Engineering Progress.* 15(2): 136-142. [in Korean]
- Min TK, Kang WS. 2008. Nondestructive Classification of viable and nonviable radish (*Raphanus sativus* L.) seeds using single seed near infrared spectroscopy. *Hort. Environ. Biotechnol.* 49(1): 42-46.
- Jang HL, Hong JY, Kim NJ, Kim MH, Shin SR, Yoon KY. 2011. Comparison of nutrient components and physicochemical properties of general and colored potato. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29(2): 144-150. [in Korean]
- Ryu DS, Hwang IG, Noh SH. 2000. Pre-processing techniques on VIS/NIR spectral data for non-destructive quality evaluation of fruits. *Proceedings of the Korean Society Agricultural Machinery 2000 Winter Conference* 5(1): 451-456. [in Korean]
- Woo YA, Kim HJ, Chung HI. 1999. Classification of cultivation area of ginseng radix with NIR and Raman spectroscopy. *Analyst* 124: 1223-1226.
- Xie L, Ying Y, Ying T, Yu H, Fu X. 2007. Discrimination of transgenic tomatoes based on visible/near-infrared spectra. *Analytica Chimica Acta* 584(2007): 379-384.