

# 근적외선 비파괴 과일 선별 시스템을 활용한 내부 갈변 사과의 판별

김밖금\*, 임종국  
국립농업과학원 농업공학부

## Discrimination of Internally Browened Apples Utilizing Near-Infrared Non-Destructive Fruit Sorting System

Bal Geum Kim\*, Jong Guk Lim  
National Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering

**요약** 본 논문에서는 농산물 산지 유통 센터에서 설치되어 사용하고 있는 비파괴 과일 선별 시스템을 이용하여 정상 사과와 내부에 결함이 있는 사과를 판별하기 위한 최적 파장과 해당 스펙트럼의 특성을 구명하고자 하였다. 총 54개 사과에 대해 470 - 1150 nm의 파장 범위에서 정상 사과와 갈변 사과의 투과 스펙트럼을 획득하였다. 주성분 분석(PCA)을 활용하여 정상 사과와 내부 갈변 사과의 군집을 확인하였으며, 판별 모델의 개발과 평가를 위해 부분최소제곱회귀(PLSR) 분석을 수행하였다. PCA 분석에서는 정상 사과와 내부 갈변 사과 군집의 명확한 구분이 보여 높은 판별율의 결과를 보여주었다. PLSR 분석 결과, 전처리를 하지 않은 예측 모델의 상관계수(R)는 0.902, RMSE 값은 0.157이었으며, 전처리를 적용했을 때 예측 모델의 상관계수는 0.906, RMSE 값은 0.154이었다. 따라서, 이 PLSR 모델은 이 시스템을 활용해 내부 갈변이 있는 사과도 우수하게 판별할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 방식을 이용할 경우, 외부 결함과 더불어 내부 결함에 대한 농산물 선별과 평가에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

**Abstract** There is a lack of studies comparing the internal quality of fruit with its external quality. However, issues of internal quality of fruit such as internal browning are important. We propose a method of classifying normal apples and internally browned apples using a near-infrared (NIR) non-destructive system. Specifically, we found the optimal wavelength and characteristics of the spectra for determining the internal browning of Fuji apples. The NIR spectra of apples were obtained in the wavelength range of 470-1150 nm. A group of normal apples and a group of internally browned apples were identified using principal component analysis (PCA), and a partial least squares regression (PLSR) analysis was performed to develop and evaluate the discriminant model. The PCA analysis revealed a clear difference between the normal and internally browned apples. From the PLSR, the correlation coefficient of the predictive model without pretreatment was determined to be 0.902 with an RMSE value of 0.157. The correlation coefficient of the predictive model with pretreatment was 0.906 with an RMSE value of 0.154. The results show that this model is suitable for classifying normal and internally browned apples and that it can be applied for the sorting and evaluation of agricultural products for internal and external defects.

**Keywords** : Non-Destructive, NIR Spectrum, Internal Flaw, Browning, Quality Evaluation

---

본 논문은 농촌진흥청 연구과제(과제번호: PJ014188)로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Bal Geum Kim(National Institute of Agricultural Sciences)

email: bgkim8732@korea.kr

Received November 24, 2020

Revised January 7, 2021

Accepted January 8, 2021

Published January 31, 2021

## 1. 서론

우리나라 대표 과일에는 사과, 배, 감귤, 단감, 포도, 복숭아 등이 있으며 그중에서도 사과는 과일류 중 가장 재배 면적이 넓다. 현재 사과는 수입 금지 품목으로 수입이 이루어지지 않고 있으나 DDA, FTA 등 무역 자유화의 추세에 따라 향후 수입산 사과와의 경쟁은 불가피하다. 따라서, 국내 과수 생산 면적과 생산량, 소비량에 있어서 높은 비중을 차지하고 있는 사과의 안정적인 생산과 소비자의 구매 효용 증대를 위해서는 사과에 대한 소비자의 선호 파악이 선행되어야 할 것이다[1].

최근 들어 1~2인 가구의 증가와 핵가족화, 여성의 사회 진출 확대 등으로 과일 산업을 둘러싼 소비 여건이 변하고 있다[2]. 이러한 변화에 따라 소비자들은 과일의 당도나 외관, 안전성을 우선시하며 값이 비싸더라도 품질 좋은 과일을 구입하는 선호하는 추세가 강해지고 있다. 즉, 농산물 및 과일에 대한 질적 측면을 고려하는 소비자들의 관심이 꾸준히 증가하고 있는 것이다. 소비자들의 요구를 충족시키고 동시에 국내 과일 시장의 경쟁력을 높이기 위해 유통되는 사과의 품질을 확보해야 한다.

사과 품질을 결정하는 요소에는 무게, 색상, 형상, 표면 상태 등의 외부요인과 내부 품질을 결정하는 당도, 산도, 경도, 성숙도, 밀병(water core)의 유무 및 내부 갈변의 유무 등이 있다[3-4]. 이 중에서도 특히 사과의 내부 갈변은 신선식품의 주요 품질 저하의 원인으로 소비자 구매 행위의 주요한 선택 기준이 되며, 농산물 유통 중 폐기율은 약 25%에 달한다[5].

그동안 농산물의 품질을 비파괴적으로 판정하기 위한 연구가 여러 연구자들에 의해 수행되어 왔는데, Juan Xing 등(2006)은 근적외선 파장대역에서 반사 스펙트럼의 평균 값을 통해 정상 사과와 멍이 든 사과의 일차별 판별 모델을 개발하였다. 처음 멍이 들었을 때와 3주 후의 판별 정확도는 각각 87%, 98%로 나타났다[6]. Bart M. Nicolai 등(2005)은 Near-Infrared Ray(NIR) 초분광 영상 시스템을 적용해 Partial Least Square(PLS) 모델을 개발함으로써, 정상 사과와 병변이 있는 픽셀을 판별하여 사과 병해 중 하나인 '고두병'을 검출하였다[7]. Z. Wen 등(2000)은 NIR 카메라와 MIR 카메라를 통합하여 검출 중인 사과 영상 촬영이 동시에 가능하게 하였으며, 결합 사과의 검출률은 96.67%였다[8]. P. M. Mehl 등(2004)은 초분광 영상 시스템을 활용해 외부 결합 종류별로 스펙트럼 반사율을 측정하여 Principle Component Analysis(PCA) 분석을 통해 품종별로 다

른 사과의 멍, 얼룩, 곰팡이 등의 결함을 분류하였다[9].

이처럼 그동안의 연구는 주로 과일 외부 품질의 판별을 주 대상으로 하였다. 그에 반해 내부 갈변, 기능성 성분, 독성 물질 함량, 미생물 오염 여부 등과 같은 내부 품질 인자에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 농산물 산지 유통 센터에 설치되어 있는 근적외선 비파괴 과일 선별 시스템을 이용하여 정상 사과와 내부 갈변 사과를 판별하는 모델을 개발하고 검증하고자 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 사과 시료



Fig. 1. Pictures of experimental samples sound apples and internal browning apples using DSLR camera

실험에 사용된 사과 품종은 '후지(부사)'였으며 충주 거점산자유통센터에서 구입하였다. 구입한 시료는 CA 저장고에 1℃ 온도에 저온 저장하였으며, 상대 습도는 60%로 보관하였다. 정상 사과 34개와 내부 갈변이 발생된 사과 30개를 실험 시료로 사용했고 사과 중량 평균은 347.95 g이었다.

Fig. 1.에서와 같이 정상 사과와 내부 갈변이 발생한 사과는 외관상으로는 구분하기는 어려운 것을 확인할 수 있다. 따라서, 정상 사과 30개와 내부 갈변이 의심되는 사과 34개를 비파괴 선별 시스템을 이용하여 스펙트럼을 획득하였으며 측정이 완료된 전체 사과를 절단하여 내부 과육의 이상 유무를 확인하였다.

본 연구는 Fig. 2.의 순서로 진행되었고, 근적외선 비파괴 선별 시스템을 이용한 사과 스펙트럼 측정은 12 ℃에서 수행되었으며, 시료는 템퍼링 한 후 품온이 8 ℃일 때 측정에 사용하였다.

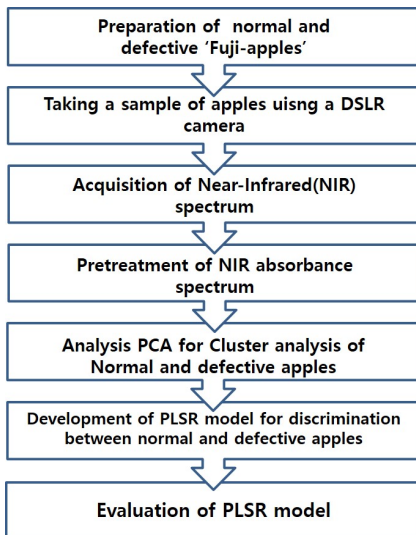


Fig. 2. Flowchart of Experimental procedure

## 2.2 스펙트럼 측정

Table 1.에서와 같이 비파괴 선별 시스템에 장착된 분광광도계(USB4000, Ocean Optics Co, USA)의 파장 범위는 470~1750 nm, 분해능은 0.3 nm~10.0 nm 인 분광계를 사용하였으며, 광원은 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였다. 근적외선 흡수 스펙트럼은 Fig. 3.과 같이 분광광도계가 장착된 비파괴 사과 선별 시스템을 이용하여 획득하였으며 사과의 적도 방향을 기준으로 시계방향으로 90°씩 4회전 회전하며 측정하였다.

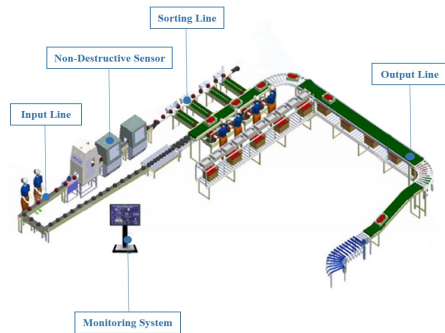


Fig. 3. Based on Near Infrared Ray(NIR) Non-Destructive Spectrum system

Table 1. Specifications of the spectrophotometer, non-destructive used in this experiment

Parameter	Specification
Wavelength range	470~1150 nm
Light source	Tungsten halogen lamp
Spectral resolution	0.3~10.0 nm
Integration time	3.8 ms~10 seconds

## 2.3 데이터 분석

정상 사과 34개를 적도 방향 4면으로 회전하여 획득한 스펙트럼 데이터에서 총 136개(34개×4회)의 데이터를 추출하였고, 이 중 2개의 스펙트럼은 광 포화(light saturation)가 된 비정상적인 스펙트럼으로 분석에서는 제외하였다. 30개의 내부 갈변 사과도 동일한 방법으로 스펙트럼을 획득하여 120개(30개×4회)의 데이터를 추출하였다. 전체 254개의 스펙트럼 중에서 205개의 데이터는 교정용(Calibration), 49개의 데이터는 검증용(Validation)으로 데이터 그룹을 구성하였다. 획득한 스펙트럼을 이용해 두 변수의 대략적인 분포를 파악하기 위해 정상 사과의 변수는 '0'으로 내부 갈변이 발생한 사과는 '1'로 지정하여 PCA(Principle Component Analysis)분석을 실시하였다. 정상 사과와 내부 갈변된 사과를 판별하고자 하였다.

또한 정상 사과와 결함 사과 판별 모델의 개발 및 평가는 PLSR(Partial Least Squares Regression) 분석을 사용하여 수행되었다. PLSR은 여러 분야에서 널리 쓰이는 다변량 분석법의 하나로 분광분석을 통해 얻은 스펙트럼 정보뿐 아니라 농도 자료에 대해 각각 인자분석을 실시하여 이들 간의 상관관계를 포함한 모델을 얻고 이에 대해서 회귀분석을 실시하는 분석법으로 보다 정확한 모델을 얻을 수 있다[10].

이 분석법을 사용함으로써 일반적인 스펙트럼 분석에 필요한 요인수를 증가시키면서 PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)의 변화를 관찰하여 그 값이 수렴될 때의 요인수를 최적의 요인수로 보고, 이를 이용한 모델의 미지 시료의 예측에 적용할 수 있다[11].

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2 \quad (1)$$

Where, n denotes number of samples, y denotes predicted values by PLSR,  $\bar{y}$  denotes measured values by experiment

### 3. 실험 결과

Fig. 4.는 정상 사과 34개와 내부 갈변 사과 30개를 적도 방향으로 각각 4면을 스캔한 모든 스펙트럼을 그래프로 나타낸 것이다. 공통적으로 710 nm 대역과 805 nm 대역에서 흡광 피크를 확인할 수 있었으나, 가장 많은 흡광을 나타내는 710 nm 대역에서 정상 사과와 내부 갈변된 사과의 흡광 세기의 차이를 보임을 알 수 있었다. 흡광 세기가 더 높은 분포를 보이는 정상 사과 스펙트럼과는 달리 내부 갈변된 사과는 정상 사과에 비해 흡광 세기가 낮으며, 일정 파장 대역에서 흡광 편차가 폭넓게 발

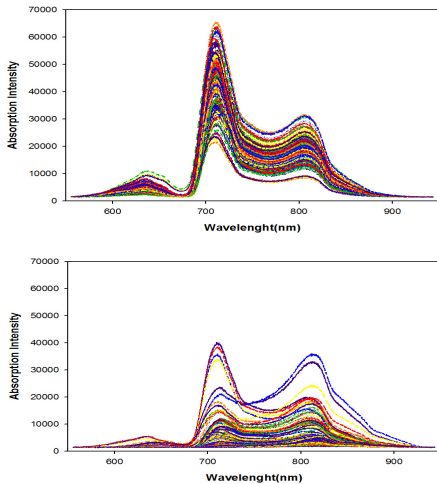


Fig. 4. Original absorption spectra of normal apples and internal browned apples in the wavelength range from 470 to 1150 nm: (a) spectra of normal apples and (b) spectra of browned apples

생하였고, 넓어지는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 근적외선 스펙트럼 데이터를 이용해 정상 사과와 내부 갈변된 사과의 차이를 예측할 수 있을 것으로 판단하였다.

획득한 스펙트럼은 특성 파악을 위하여 주성분분석(PCA)방법을 이용하여 분석을 수행하였다. 주성분분석은 입력 데이터들의 분산이 가장 큰 방향에 위치한 축을 1번 주성분(PC1)으로 설정하고, 그 다음 분산이 크면서 수직인 축을 2번 주성분(PC2) 등으로 설정한다. 이를 통해 모든 데이터를 원점 중심으로 데이터 군집 간 상대적 거리를 확인할 수 있다[12].

Fig. 5.에 보이는 결과와 같이 정상 사과는 중앙을 기준으로 우측 상단에, 갈변 사과는 좌측 하단 부분에 위치함으로써 서로 잘 구분되어 군집화 되어 있어 정상 사과와 갈변 사과 구분이 가능함을 알 수 있었다.

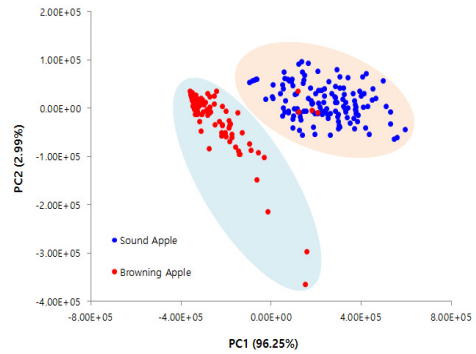


Fig. 5. Plot for the PCA result, based on NIR spectral data, PCA: principle component analysis

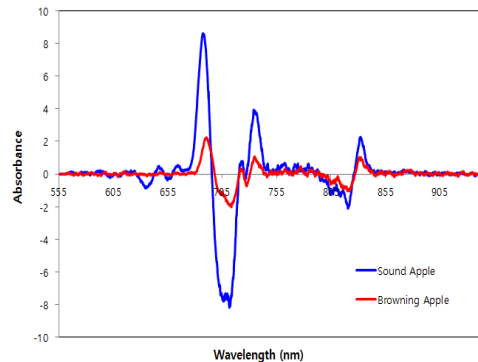


Fig. 6. Characteristic Analysis of Spectral Wavelengths

Fig. 6.은 비파괴 선별 시스템을 활용해 가시광선 및 근적외선 영역에서 얻은 흡광 스펙트럼을 2차 미분한 것이다. 680 nm의 흡수 피크는 스펙트럼의 가시 영역에서

과일 색소 흡수로 인한 피크를 나타내는데, 본 실험에서도 680 nm에서 색소 흡수로 인한 피크를 확인할 수 있었다. 따라서 680 nm와 830 nm 구간에서 정상 사과와 내부 갈변 사과에 따른 사과의 구별이 가능함을 알 수 있었다[13].

Table 2. Summary statistics calibration and prediction results of apple fruit

Preprocessing Methods	No. of factors	Calibration		Validation		
		R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	
Raw	5	0.912	0.148	0.902	0.157	
MSC	4	0.762	0.243	0.729	0.261	
SNV	3	0.856	0.190	0.848	0.195	
Baseline	5	0.911	0.149	0.901	0.158	
Mean	3	0.900	0.158	0.895	0.162	
Normalization	Max	4	0.902	0.156	0.898	0.160
	Range	4	0.893	0.162	0.888	0.168
Smoothing	5	0.900	0.150	0.902	0.157	
1st Derivative	5	0.918	0.143	0.906	0.154	

Table 2.는 PLSR 모델의 분석 결과이다. 전처리를 하지 않은 데이터(raw data) 분석 결과, 교정 모델의 상관계수( $r^2$ )는 0.912, RMSE는 0.148, 검증 모델의 상관계수( $r^2$ )는 0.902, RMSE 값은 0.157이었다. 1차 미분 전처리(1st derivative)를 사용하였을 때, 교정 모델의 상관계수( $r^2$ )는 0.918, RMSE 값은 0.143, 검증 모델의 상관계수( $r^2$ )는 0.906, RMSE 값은 0.154로 가장 좋은 성능을 나타냈다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 농산물 품질 판정에 이용되고 있는 NIR 비파괴 선별 시스템을 이용해 정상 사과와 내부 갈변된 사과를 판별하기 위해 수행되었다. 470~1150 nm의 파장 범위에서 획득된 흡수 스펙트럼의 세기를 이용해 각각 전처리에 따른 판별예측 모델을 개발하여 그 성능을 비교하였다. 정상 사과 34개와 갈변 사과 30개를 이용해 4면을 반복하여 측정 후 총 254개의 흡수 스펙트럼을 획득하여, 교정 모델용으로 205개 데이터를, 나머지 29개는 모델 검증용으로 데이터 그룹을 구성하여 PLSR 모델을 개발하였다.

측정 센서 자체의 노이즈와 외란 요인에 의한 스펙트럼의 변이를 제거하고, 분석 대상 성분의 스펙트럼을 강

조하기 위해 다양한 전처리를 실시하였다. 그 결과, 1차 미분 전처리를 적용한 예측 모델 상관계수가 0.9058, RMSE 값이 0.1539로 가장 우수하였으며, 전처리를 실시하지 않은 예측 모델에 비해 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

PCA 결과에서도 일부 사과를 제외하고는 서로 중첩되지 않고 군집화가 잘 형성되어 정상 사과와 갈변 사과의 판별 가능성이 높음을 알 수 있다.

본 연구를 통해 근적외선 비파괴 선별 시스템이 정상 사과와 갈변 사과를 판별하는 데에 효과적임을 확인하였다. PLS 회귀 분석을 이용한 사과의 내부 갈변 판별 정확도는 91%였다. 추후, 기계학습을 적용한 검증 모델 성능 개선을 통해 사과 내부 결함 판별 시, 검출률이 향상된 최적의 판별모델을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

이를 통해, 갈변의 유·무 판별뿐만 아니라 갈변의 진행 정도를 판별할 수 있게 되어 농산물산지유통센터 현장에서 외부 결함뿐만 아니라 내부 결함에 대한 농산물 선별 및 평가에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### References

- [1] S. G. Woo, M. O. Kim, J. C. Yu, "Apple Consumer Preference Analysis", *Korean Food Marketing Association*, KFMA, Korea, pp.9-27, January 2013.
- [2] M. S. Park, M. S. Lee, H. U. Park, Changes in Fruit Consumption Trends and Countermeasures of the Fruit Industry, Report, Korea Rural Economic Institute, Korea, pp.1.
- [3] J. M. Yoon, M. H. So, C. S. Han, H. Y. Kim, "Comparison of Prediction Models of the Sugar Content for a Nondestructive Sorting System Based on Near-infrared", *Proceedings of KIIT Conference*, Korean Institute of Information Technology, Korea, pp.414~417, May 2014.
- [4] Y. U. Seo, S. H. No, "Discriminant analysis internal quality of 'Fuji' apples using transmittance NIR spectra", *Korean Society for Agricultural Machinery*, KSAM, Koera, Vol.12, pp.397-401, July 2007.
- [5] M. C. Jeong, G. H. Kim, G. D. Moon, J. M. Lee, Development of natural resources and processes for the inhibition of browning in fresh-cut produces, Final Report, Korea Food Research Institute, Korea, pp.27.
- [6] J. Xing, C. Bravo, D. Moshou, H. Ramon, J. D. Baerdemaeker, "Bruise detection on 'Golden Delicious' apples by vis/NIR spectroscopy", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.52, No.1-2, pp.11-20, June. 2006.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2006.01.006>

- [7] B. M. Nicolai, E. Lotze, A. Peirs, N. Scheerlinck, K. I. Theron, "Non-destructive measurement of bitter pit in apple fruit using NIR hyperspectral imaging", *Postharvest Biology and Technology*, Vol.40, No.1, pp.1-6, April. 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.006>
- [8] Z. Wen, Y. Tao, "Dual-Camera NIR/MIR imaging for stem-imaging for stem-end/calyx identification in apple defect sorting", *American Society of Agricultural and Biological Engineers, ASABE*, Vol.43, pp.449-452. 2000.  
DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.2724>
- [9] P. M. Mehl, Y. R. Chen, M. S. Kim, D. E. Chan, "Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations", *Journal of Food Engineering*, Vol.61, No.1, pp.67-81. January. 2004.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00188-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00188-2)
- [10] E. J. Suh, Y. A. Woo, H. R. Lim, H. J. Kim, D. G. Moon, Y. H. Choi, "Determination of the water content in citrus leaves by portable near infrared (NIR) system", *The Korean Society of Analytical Science, KISTI, Korea*, Vol.16, pp.277-282, August, 2003
- [11] S. Y. Yoon, J. Y. Kim, S. D. Ma, M. Y. Kim, "A Study on the Performance Characteristics of Portable Analyzer for Determination of Sugar Content in Citrus Unshiu using Near Infrared Spectroscopy", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Korea*, Vol.15, pp.1-6, Oct. 2006.
- [12] Wold S, Esbensen K, Geladi P, "Principal component analysis", *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol.2, No.1-3, pp.37-52, August. 1987.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9)
- [13] M. Zude, B. Herold, J. M. Roger, V. Bellon-Maurel, S. Landahl, "Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and soluble solids content on tree and in shelf life", *Journal of Food Engineering*, Vol.77, No.2, pp.254-260, 2006  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2005.06.027>

김 밝 금(Balgeum Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

농업, 기계, 품질 계측

임 종 국(Jongguk Lim)

[정회원]



- 2000년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

농업, 기계, 품질 계측