

# 가시광-근적외선 대역의 초분광 영상 분석을 통한 불량 누에고치 판별 모델 개발

이아영<sup>1</sup>, 김기영<sup>1\*</sup>, 김성완<sup>2</sup>, 김밖금<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립농업과학기술원 농업공학부, <sup>2</sup>국립농업과학기술원 농업생물부

## Development of Dead Cocoon Discrimination Model using Visible-Near Infrared Hyperspectral Image Analyses

Ah-Yeong Lee<sup>1</sup>, Gi-Young Kim<sup>1\*</sup>, Seong-Wan Kim<sup>2</sup>, Bal-Geum Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences

<sup>2</sup>Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences

**요약** 최근 위축되고 있는 양잠산업을 부흥시키기 위하여 양잠산물의 부가가치를 향상시키기 위한 노력이 이루어지고 있다. 양잠산물 중에서도 누에고치는 기억력 개선에 효과가 있을 뿐만 아니라 고막패치, 수술용 봉합사 등의 의료용 소재로서 활용도가 높다. 누에고치를 기능성 소재로 활용하기 위해서는 표면에 붙어있는 견면을 모두 제거해야 한다. 이 과정에서 불량 누에고치는 고치 내부의 번데기가 터져 견면채취기와 정상 누에고치를 오염시키므로 견면 채취 전 불량 고치를 선별해주는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 현재 인력으로 이루어지고 있는 불량 고치 선별 작업의 자동화 기술을 마련하기 위하여 초분광 영상 분석을 통해 불량 누에고치를 비파괴적으로 판별하고자 하였다. 이를 위해, 가시광-근적외선 대역(403 nm ~ 998 nm)의 초분광 영상 시스템을 이용하여 정상 고치 648개와 불량 고치 65개에 대한 초분광 영상을 획득하였고, 고치 중앙부를 관심영역으로 설정하여 평균 스펙트럼을 추출하였다. 9가지 전처리(MSC, SNV, Smoothing, Baseline offset, Mean/Max/Range normalization, 1D/2D derivatives)를 통해 스펙트럼의 노이즈를 제거하였고, 주성분분석(PCA: Principal Component Analysis)을 통해 불량 누에고치 판별 가능성을 확인하였다. 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA: Partial Least Squares regression Discriminant Analysis)을 이용하여 판별 모델을 개발하였으며 모델 검증은 5겹 교차 검증을 통해 이루어졌다. 그 결과, 모든 전처리에 대하여 92 % 이상의 판별 정확도를 보였으며 2차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼을 이용한 경우 검증 판별 정확도가 96.25 %로 가장 우수하게 나타났다. 이를 통해 초분광 영상을 이용하여 불량 누에고치를 비파괴적으로 판별할 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** Recently, the sericulture industry has been trying to increase the value of sericulture products. Among the products, cocoons are effective in improving memory and have high utility as medical materials. To utilize a cocoon as a functional material, it is necessary to remove the cocoon floss attached to the surface of the cocoon. Since, dead cocoons contaminate a cocoon deflosser, they should be sorted out before the deflossing process. In this study, we tried to non-destructively discriminate dead cocoons using hyperspectral image analyses. We acquired hyperspectral images of 648 normal cocoons and 65 dead cocoons with a wavelength range of 403 nm to 998 nm. The average spectra were obtained by extracting the central part of the cocoon. Spectral noise was removed through nine preprocessing methods. Principal component analysis (PCA) was performed to confirm the possibility of identifying dead cocoons. A discriminant model was developed by partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), and the model was verified through 5-fold cross-validation. The model with 2D derivative spectra showed the best performance with discrimination accuracy of 96.25%. The results show that it is feasible to non-destructively discriminate dead cocoons using visible-near infrared hyperspectral images.

**Keywords** : Cocoon, Discrimination, Hyperspectral Image Analyses, Partial Least Squares Discriminant Analysis, Principal Component Analysis

본 논문은 농촌진흥청 여젠다사업(과제번호: PJ01586801)로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Gi-Young Kim(National Institute of Agricultural Sciences)

email: giyoung@Korea.kr

Received June 9, 2022

Revised August 22, 2022

Accepted September 2, 2022

Published September 30, 2022

## 1. 서론

잠사업은 뽕나무를 재배해 누에를 기르고 생사를 생산하는 일로 우리나라에서 오랜 기간 지속되고 있는 전통 산업 중 하나이다[1]. 1970년대 우리나라는 뽕나무 재배 면적이 전체 밭 면적의 10%에 이를 정도로 잠사업이 부흥하였다[2]. 하지만 노동집약적인 특성을 갖는 잠사업은 중국산 저가 누에고치 수입 증가, 화학 섬유로의 소비 대체 등으로 인해 규모가 지속적으로 감소하였고 90년대 이후 생산기반이 무너질 정도로 위축되었다[3,4].

최근 대한잠사회는 ‘입는 양잠에서 먹는 양잠으로’라는 구호를 내세우며 부가가치 향상을 통해 기능성 양잠 산업을 개척하기 위한 노력을 하고 있다[5]. 양잠산업의 부산물 중 하나인 누에고치는 주성분인 피브로인 추출물이 뇌의 기억관련기전을 활성화시켜 기억, 학습 능력을 향상시키는 것으로 밝혀졌으며[6], 실크 분말은 고막패치, 수술용 봉합사 등 의료용 소재로서 활용성을 높이 평가 받고 있다[7-12].

누에고치를 활용하기 위해서는 표면에 붙어있는 견면을 모두 제거해야 하며 견면은 인력이나 견면채취기를 사용하여 제거된다. 불량 누에고치는 두께가 얇아 채취기 사용 과정에서 고치 내부의 번데기가 터져 기계를 오염시키게 되고, 오염된 기계는 정상 고치까지 교차 오염시키는 문제를 야기한다. 따라서 견면 채취 전 불량을 고치 선별해주는 작업이 필요하다. 하지만 현재 불량 고치 선별 작업은 모두 수작업으로 이루어지고 있다. 불량 고치의 경우, 번데기가 고착화되어 흔들었을 때 소리가 나지 않거나 햇빛에 비추었을 때 검게 나타난다. 이러한 특징을 이용하여 작업자는 고치를 일일이 흔들거나 햇빛에 비추어 불량을 선별하고 있다[13].

노동력 부족 현상의 심화에 따라 잠사업을 안정적으로 유지하기 위해서는 자동화 기반 기술 마련이 필요한 상황이다. 자동화 기술 요구도가 증가하면서 비파괴 분석과 관련된 연구들이 주목받고 있다. 비파괴 분석법이란 물체가 원형을 유지하면서 상품성이 손상되지 않고 품질을 계측하는 기술을 말한다[14,15]. 농산물 품질 평가 분야에서는 광학 기술을 활용한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있으며[16,17] 그 중에서도 분광 정보와 영상 정보를 동시에 획득할 수 있는 초분광 영상 기술이 주목받고 있다[18-21].

본 연구는 초분광 영상 분석을 통해 불량 누에고치를 판별하고자 하였다. 가시광-근적외선 대역(403 nm ~ 998 nm)의 초분광 영상 시스템을 이용하여 정상 고치

648개와 불량 고치 65개에 대한 분광스펙트럼을 획득하였고, 고치 중앙부를 관심영역으로 설정하여 평균 스펙트럼을 추출하였다. 추출된 평균 스펙트럼을 이용하여 주성분분석을 수행해 불량 고치 판별 가능성을 확인하였으며 9가지 전처리를 수행한 스펙트럼과 원본 스펙트럼에 대한 부분최소제곱 판별분석을 진행하여 판별 모델을 개발하고 성능을 확인하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

누에고치는 농촌진흥청 곤충양잠산업과에서 제공받은 한생잠으로 생산된 것을 사용하였다. 누에고치는 자체 제작한 누에 사육 컨테이너에서 온도 24 ~ 25 °C, 습도 50 ~ 60 % [22]의 환경으로 보관 후 실험에 사용하였으며 총 713개 누에고치에 대한 초분광 영상을 획득하였다. 누에고치의 초분광 영상을 획득하기 전, 고치 간 빛 간섭을 막기 위해 3D 프린터(Ultimaker S5, Netherland)를 이용하여 격자 트레이를 제작하였다. 트레이는 PLA (Poly Lactic Acid) 재질의 검정 필라멘트를 사용하여 제작되었으며 트레이 크기는 가로 215 mm, 세로 314 mm, 높이 40 mm이고 Fig. 1 (a)와 같이 가로 35 mm, 세로 45 mm, 높이 25 mm의 사각 홈 30개로 구성되어 있다. 사각 홈에 누에고치를 한 개씩 넣어 초분광 영상을 측정하였으며 측정된 누에고치는 절각해 불량 여부를 판단하였다. 절각 결과, 정상 누에고치는 648개, 불량 누에고치는 65개로 확인되었다. Fig. 1 (b)는 실험에 사용된 누에고치 예시이다.

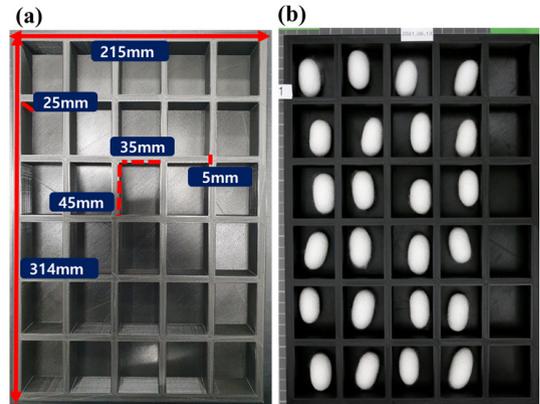


Fig. 1. (a) Tray (b) Cocoons used in the experiment

## 2.2 초분광 영상 시스템

초분광 영상 시스템은 Fig. 2와 같이 고감도의 Electron Multiplying CCD 카메라(MegaLuca R, ANDOR Technology, South Windsor, CT, USA)와 영상 분광 장치(VNIR Hyperspec, Headwall Photonics Inc., Fitchburg, MA, USA), 렌즈, 수정할로겐 텅스텐 라인광(quartz tungsten halogen line light), 시료대로 구성되어 있다. 초분광 카메라와 누에고치 트레이 사이의 거리는 455 mm이다. 선형모터를 이용해 시료대가 움직이면서 라인 스캔 방식으로 초분광 영상이 획득되며 각각의 라인스캔 영상은 수평으로는 공간 정보를 수직적으로는 스펙트럼 정보를 갖는다. 초분광 영상은 403 ~ 998 nm 사이의 125개 균등분할 파장에 대하여 300×502 화소의 공간해상도를 갖는다.

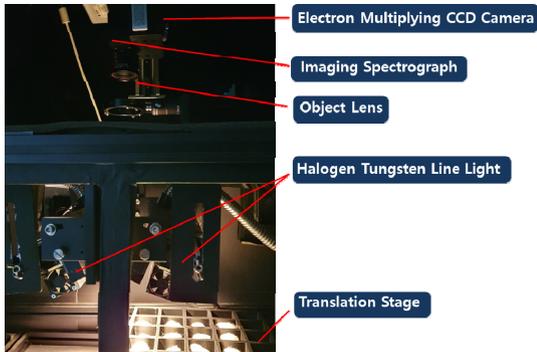


Fig. 2. The Visible-Near infrared hyperspectral imaging system

## 2.3 스펙트럼 추출 및 전처리

획득한 초분광 영상에서 누에고치 중앙 부분을 Fig. 3과 같이 관심 영역으로 설정하여 스펙트럼을 추출하고 평균 스펙트럼을 계산하였다. 고치별 관심 영역의 크기는 500 픽셀 내외로 정하였다. 추출된 평균 스펙트럼은 시료의 물리, 화학적 성분정보 외의 노이즈를 제거하기 위해서 9가지 종류의 스펙트럼 전처리(Smoothing, Baseline offset, Multiplicative Scatter Correction (MSC), Standard Normal Variate (SNV), Mean/Max/Range Normalization, 1st/2nd derivatives)를 진행하였다. 각 전처리는 분석소프트웨어 Unscrambler (Camo Software AS, v9.7, Norway)를 이용하여 수행되었다.

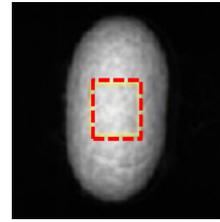


Fig. 3. Cocoon's region of interest

## 2.4 주성분분석 및 부분최소제곱 판별분석

불량 누에고치 판별 모델을 개발하기 위하여 주성분분석(PCA)과 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA)을 실시하였다. 부분최소제곱 판별분석의 경우, 9가지 전처리를 한 스펙트럼과 원본 스펙트럼을 이용하여 모델을 개발한 후 성능을 비교하였다. 판별 모델 검증은 5겹 교차 검증을 통해 수행되었으며 이를 위해 713개의 초분광 형광 스펙트럼에 대해 5그룹으로 무작위 배분하였다. 4개 그룹은 모델 학습에 나머지 1개 그룹은 모델 검증에 이용되었으며 5번의 학습과 검증을 반복 수행하여 나온 판별 정확도를 평균하여 모델의 최종 성능을 구하였다. 주성분분석은 분석소프트웨어 Unscrambler를 이용하였고, 부분최소제곱 판별분석은 공개 통계 소프트웨어인 R (ver. 2019, R foundation, Vienna, Austria)을 이용하여 수행되었다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1 누에고치 스펙트럼 분석 결과

Fig. 4 (a)는 713개의 누에고치의 관심 영역에 대한 평균 스펙트럼이며 Fig. 4 (b)는 정상 고치와 불량 고치의 평균 스펙트럼이다. 전체 파장에 대하여 정상 누에고치의 분광 스펙트럼 반사 강도가 불량 누에고치에 비해 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 불량 누에고치의 경우 반사 강도는 약하지만, 반사 강도 폭이 넓게 분포하는 경향을 보였다. 정상 고치와 불량 고치의 분광 데이터를 평균한 결과 그 격차가 더 벌어지는 것을 확인하였으나 고치 객체별 편차가 있어 단순히 반사 강도를 이용하여 불량 누에고치를 판별하는 것은 어려운 것으로 판단된다.

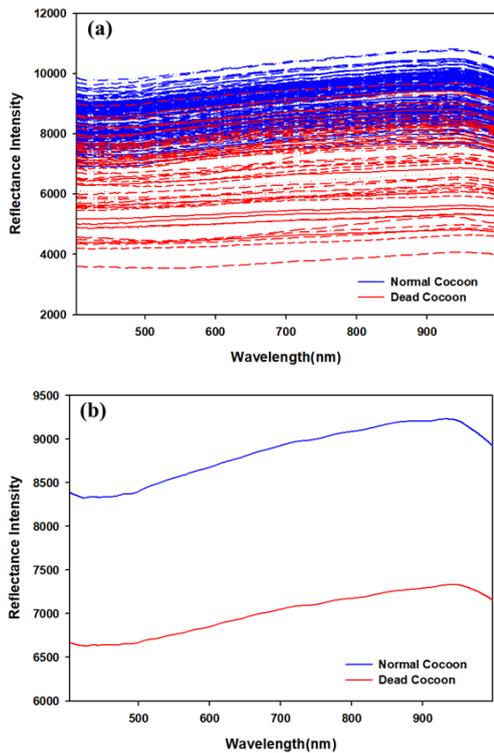


Fig. 4. (a) Total reflectance spectra extracted from the hyperspectral images of cocoon (b) Average reflectance spectra of normal cocoons and dead cocoons

### 3.2 주성분분석(PCA) 결과

Fig. 5는 정상 고치와 불량 고치의 분류 가능성을 확인하기 위하여 주성분분석을 실시한 결과이다. Fig. 5는 PC 1과 PC 2에 대한 분포를 보여주고 있으며 PC 1은

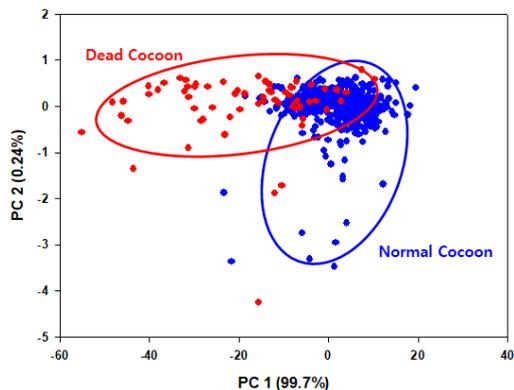


Fig. 5. The result of principal component analysis between normal cocoons and dead cocoons

99.7 %, PC 2는 0.24 %의 설명력을 보여주고 있다. 정상 고치는 PC 1과 PC 2의 0 부근에서 그룹을 형성하였으며, 불량 고치는 PC 2의 0을 기준으로 PC 1의 음의 방향으로 넓게 분포하였다. 정상 고치와 유사한 분포를 나타내는 불량 고치가 존재하기는 하지만 전체적으로는 그룹별 분포 특성이 다르게 나타나 초분광 영상을 이용한 불량 누에고치 판별이 가능할 것으로 판단된다.

### 3.3 부분최소제곱 판별분석(PLS-DA) 결과

9가지의 전처리를 수행한 스펙트럼과 원본 스펙트럼을 이용하여 부분최소제곱 판별분석을 실시하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. Table 1의 판별 정확도는 5겹 교차 검증 후 나온 5개의 판별 정확도를 평균한 값이다. 원본 스펙트럼을 이용한 판별 모델은 학습 데이터 95.13 %, 검증 데이터 94.91 %의 판별 성능을 보였다. 모든 전처리에 대하여 92 % 이상의 높은 판별 성능을 보였으며 2차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼을 이용한 경우, 학습 데이터 96.15 %, 검증 데이터 96.25 %의 판별 정확도로 가장 우수한 성능을 나타냈다.

Table 1. The results of PLS-DA model between normal cocoon and dead cocoon

Pretreatment		Calibration	Validation
None		<b>95.13 %</b>	<b>94.91 %</b>
Smoothing		95.10 %	95.04 %
Baseline offset		94.50 %	94.45 %
MSC		94.64 %	94.55 %
SNV		94.61 %	94.69 %
Normalization	Max	92.11 %	92.31 %
	Mean	93.02 %	93.10 %
	Range	93.24 %	93.17 %
1 <sup>st</sup> Derivative		95.83 %	96.06 %
2 <sup>nd</sup> Derivative		<b>96.15 %</b>	<b>96.25 %</b>

## 4. 결론

본 논문에서는 초분광 영상 분석 기술을 이용하여 정상 누에고치와 불량 누에고치를 판별하는 모델을 개발하였다. 한쌍잠 품종의 누에에서 생산된 누에고치 713개에 대하여 403 ~ 998 nm 영역의 초분광 영상을 획득하고 분석하였다. 이에 대한 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 누에고치 중앙 부분을 관심 영역으로 설정하여 500 픽셀 내외의 반사 스펙트럼을 추출하여 객체

별 평균 반사 스펙트럼을 획득하였으며 모든 파장 대역에서 정상 고치의 반사 강도가 불량 고치보다 높은 경향을 보이는 것을 확인하였다.

- (2) 평균 반사 스펙트럼을 이용하여 주성분분석을 실시하였다. 주성분분석 결과 PC 1은 99.7 %, PC 2는 0.24 %의 설명력을 보여주었으며 정상 고치와 불량 고치의 분포 특성이 다르게 나타나는 것을 확인하였다.
- (3) 9가지의 전처리를 수행한 스펙트럼과 원본 스펙트럼에 대한 부분최소제곱 판별분석을 실시하였다. 모든 전처리에 대하여 92 % 이상의 판별 정확도를 보였으며 2차 미분 전처리를 수행한 스펙트럼을 이용한 경우 검증 판별 정확도가 96.25 %로 가장 우수하게 나타났다.
- (4) 초분광 영상 분석 기술을 이용하여 불량 누에고치 판별이 가능할 것으로 판단되며 불량 고치에 대한 초분광 데이터 획득을 추가로 진행하여 모델의 신뢰성을 높이는 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

## References

- [1] S.P. Lee, "Historical Background and present status of korean sericulture for production of functional materials", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.55, No.1, pp.11-21, Apr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2019.55.1.11>
- [2] M.H. Kim, "The basic direction of the development of korea's sericulture", *The Science & Technology*, Vol.3, No.3, pp10-13, 1970.
- [3] H.S. Choi, H.M. Park, S.H. Lee, W.O. Lee, "Development of an Automatic System for Silkworms Rearing", *RDA Journal of Farm Management and Agri-Engineering*, Vol.40, No.2, pp.156-163, Dec. 1998.
- [4] K. P. Kim, S. Y. Heo, "Policy priority analysis of functional sericulture support business", *Journal of Rural Development*, Vol.38, No.1, pp.53-73, 2015. Available From: <https://library.krei.re.kr/#/search/detail/392600>
- [5] Korea Sericultural Association, 100th anniversary book: 100 Years of Value and Leap, Korea Sericultural Association, 2020, c2022 [cited 2022 July 07], Available From: [http://www.kojamsa.or.kr/reference\\_history?p=1&b\\_class=4](http://www.kojamsa.or.kr/reference_history?p=1&b_class=4)
- [6] D.H. Kim, O.H. Kim, J.H. Yeo, K.G. Lee, G.D. Park, D.J. Kim, Y.H. Chung, K.Y. Kim, W.B. Lee, Y.C. Youn, Y.H. Chung, S.H. Lee, J.S. Hyu, "The Improvement of Short- and Long-term Memory of Young Children by BF-7", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.39, No.3, pp.376-382, March 2010. DOI: <https://doi.org/10.3746/ikfn.2010.39.3.376>
- [7] S.H. Park, M.J. Jang, J.H. Hong, S.J. Rhee, K.H. Choi, M.R. Park, "Effects of Mulberry Leaf Extract Feeding on Lipid Status of Rats Fed High Cholesterol Diets", *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol.36, No.1, pp.43-50, Jan. 2007. DOI: <https://doi.org/10.3746/ikfn.2007.36.1.043>
- [8] H.Y. Kweon, Y.Y. Jo, H.B. Kim, W.T. Ju, J.H. Lee, "Proximate and nutritional compositions of freeze-dried silkworm powder as edible insect resources", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.55, No.2, pp.33-39, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2019.55.2.33>
- [9] J.G. Hwang, J.K. Yun, K.H. Han, E.J. Do, J.S. Lee, E.J. Lee, J.B. Kim, M.R. Kim, "Anti-oxidation and anti-aging effect of mixed extract from Korean medicinal herbs", *The Korea Journal of Herbology*, Vol.26, No.1, pp.111-117, March 2011. DOI: <https://doi.org/10.6116/kjh.2011.26.1.111>
- [10] S.J. Eom, N.H. Lee, M.C. Kang, Y.H. Kim, T.G. Lim, K.M. Song, "Silk peptide production from whole silkworm cocoon using ultrasound and enzymatic treatment and its suppression of solar ultraviolet-induced skin inflammation", *Ultrasonics sonochemistry*, Vol.61, pp.104803, March 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104803>
- [11] S.K. Kim, Y.Y. Jo, K.G. Lee, K.Y. Kim, H.B. Kim, H.Y. Kweon, "Effect of ethanol concentration on the infrared spectroscopic characteristics of silk beads", *Journal of Sericultural and Entomological Science*, Vol.53, No.2, pp.118-123, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.7852/jses.2015.53.2.118>
- [12] E.M. Pritchard, C. Szybala, D. Boion, D.L. Kaplsn, "Silk fibroin encapsulated powder reservoirs for sustained release of adenosine", *Journal of controlled release*, Vol.144, No.2, pp.159-167, July 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iconrel.2010.01.035>
- [13] P.P. Prasobhkumar, C.R. Francis, S.S. Gorthi, "Cocoon quality assessment system using vibration impact acoustic emission processing", *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, Vol.12, No.4, pp.556-563, Oct. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2019.11.008>
- [14] S. Abasi, S. Minaei, B. Jamshidi, D. Fathi, "Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: A review", *Trends in Food Science & Technology*, vol.78, pp.197-205, Aug. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.009>
- [15] S.E. Adebayo, N. Hashim, K. Abdan, M. Hanafi, "Application and potential of backscattering imaging techniques in agricultural and food processing - a review", *Journal of Food Engineering*, Vol.169, pp.155-164, Jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.006>
- [16] A.Y. Lee, J.S. Shim, B.G. Kim, H.Y. Lee, J.G. Lim,

"Non-destructive prediction of soluble solid contents in Fuji apples using visible near-infrared spectroscopy and various statistical methods", *Journal of Food Engineering*, Vol.321, pp.110945, May 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2022.110945>

- [17] P. Firmani, A. Nardecchia, F. Nocente, L. Gazza, F. Marini, A. Biancolillo, "Multi-block classification of Italian semolina based on Near Infrared Spectroscopy (NIR) analysis and alveographic indices", *Food Chemistry*, Vol.309, pp.125677, March 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125677>
- [18] V. Gomes, A. Fernandes, A. Faia, P. Melo-Pinto, "Comparison of different approaches for the prediction of sugar content in new vintages of whole Port wine grape berries using hyperspectral imaging", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.140, pp.244-254, Aug. 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.009>
- [19] D. Tao, Z. Wang, G. Li, L. Xie, "Simultaneous species and sex identification of silkworm pupae using hyperspectral imaging technology", *Spectroscopy Letters*, Vol.51, No.8, pp.446-452, Nov. 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1080/00387010.2018.1503602>
- [20] P.D.C. Sanchez, N. Hashim, R. Shamsudin, M.Z. Mohd Nor, "Applications of imaging and spectroscopy techniques for non-destructive quality evaluation of potatoes and sweet potatoes: A review", *Trends in Food Science and Technology*, Vol.96, pp.208-221, Feb. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.027>
- [21] A.Y. Lee, J.S. Kang, J.G. Lim, B.G. Kim, "Discrimination of 5th Instar 3 Day Silkworm using Hyperspectral Image and Partial Least Squares Discriminant Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.12, pp.705-711, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.705>
- [22] J.G. Lim, A.Y. Lee, B.G. Kim, H.C. Yoo, "Development of Breeding System Based on ICT for Silkworm Growth Environment Monitoring and Behavior Characteristics Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.11, pp.299-307, 2021.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.11.299>

이 아 영(Ah-Yeong Lee)

[정회원]



- 2019년 8월 : 서울대학교 바이오 시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

분광분석, 영상처리, 품질계측

김 기 영(Gi-Young Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 농업기계전공 (농공학석사)
- 1995년 12월 : 미국 Virginia Tech, Dept. of Biological Systems Engineering (공학박사)
- 1997년 2월 ~ 2001년 3월 : 서울대학교 부설 농업개발 연구소 특별 연구원
- 2001년 4월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

농식품 안전성 신속진단, 바이오센서

김 성 완(Seong-Wan Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경북대학교 천연섬유학과 (농학석사)
- 2014년 2월 충남대학교 의과대학 (의학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업생물부 농업연구사

<관심분야>

누에 육종, 자동화시스템, 형질전환

김 밭 금(Bal-Geum Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

농업, 기계, 품질계측