

PLC제어와 영상처리를 이용한 계란의 비파괴 신선도 측정 시스템 개발

김태정*, 김선정*, 이동구*, 이정호*, 이영석**, 황헌*, 최선***

Development of non-destructive freshness measurement system for eggs using PLC control and image processing

TJ Kim*, SJ Kim*, DG Lee*, JH Lee*, YS Lee**, H Hwang*, S Choi***

요약 분광법을 이용한 비파괴 신선도 측정 연구들이 여러 차례 진행되어 왔지만, 기실과 신선도 간의 연구가 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 비파괴 방식으로 계란 내부의 기실을 시각적으로 계측하며 정량화하는 시스템을 개발함에 목적이 있다. 소형 챔버로 구성된 실험 환경은 2개의 850nm 대역의 IR 레이저, 2개의 서보모터, IR Cut RGB 카메라로 구성되며 계란 기실의 영상을 획득한다. 본 논문에서 계란의 기실 부피 비율이 2.9% 이하이고 밀도가 0.9800 (g/cm^3) 이상이면 60 이상의 호우 유닛 값을 갖는 B등급 이상의 신선한 계란으로 판단한다. 상기 결과 중량측정용 저울, 비파괴 판정시스템과 신선도 측정 알고리즘이 있으면 계란을 파괴하지 않고 B등급 이상의 판매 가능한 계란을 판정할 수 있음을 의미한다. 향후 계란의 신선도 판정을 할 때 계란의 기실 부피 비율과 밀도를 이용하여 계란 신선도를 비파괴 적으로 판별할 수 있는 기초 자료로 사용할 수 있기를 기대한다.

Abstract Non-destructive freshness measurement using spectroscopy has been carried out several times, but research on freshness and freshness has not been conducted. Therefore the purpose of this study is to develop a system for visually measuring and quantifying the air sack inside the egg by non-destructive method. The experimental environment which designed a small chamber was composed of 850nm band of two IR lasers, IR camera and two servo motors to acquire air sack Images. When the air sack volume ratio is 2.9% or less and the density is 0.9800 or more, the Haugh Unit value is 60 or more It was judged to be a fresh egg of a grade B or higher. These results mean, using the weight measurement, nondestructive decision system, and freshness evaluating algorithm. It can be expected to distinguish grade B or more marketable eggs without using destructive methods.

Key Words : Egg Freshness, Image Processing, Non-destructive Evaluation, Haugh Unit

1. 서론

현재 축산물품질평가원[1]에서 시행되고 있는 계란의 등급판정을 위한 신선도 검사는 영국의 TSS사

의 QCM+system을 사용하여 계란의 중량을 측정하고, 계란을 할란 한 후 농후난백의 높이를 측정하여 얻은 호우유닛(HU)값으로 A, B, C, D의 4등급으로 등급을 판정한다. 하지만 등급판정을 받은 계란도 보

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(2016R1A6A3A11935040)

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by (MAFRA)(111168-1)

*Department of Bio-mechatronics Eng., SungKyunKwan University

**Dept. Automation System, Seongnam Campus of KOREA Polytechnic

***Corresponding Author : Department of Bio-mechatronics Eng., SungKyunKwan University (ssuny@skku.edu)

Received April 01, 2019

Revised April 24, 2019

Accepted April 24, 2019

관 환경과 유통 상태에 따라서 신선도가 변화하기 때문에 샘플링 방식의 파괴적인 검사 방법으로는 소비자가 구매하는 시점의 신선도는 알 수 없다. 또한 파괴적인 검사 방법은 1회만 검사가 가능하고, 검사한 계란은 재사용할 수 없기 때문에 비파괴적인 신선도 검사의 필요성이 요구된다. 2005년 근적외선 분광법을 이용한 비파괴 방식[2]으로 800~2500nm의 파장 영역에서 흡수되는 계란의 스펙트럼을 측정하여 신선도(HU)를 측정하는 연구가 진행되었다. 2011년 근적외선 분광법과 다변수 분석[3]을 결합하여 Independent Component Analysis (ICA) 및 Principle Component Analysis (PCA)을 통해 특징을 추출하고 유전자 알고리즘(GA-ANN)과 함께 회귀 모델을 보정한 다음 교차 검증을 통해 모델 최적화 및 신선도를 측정하는 연구가 진행되었다. 2010년 패턴 인식과 결합한 근적외선 분광법[4]으로 1000nm~2500nm 파장 대역의 신선도 데이터를 추출한 다음 Support Vector Data Description (SVDD) 모델을 통해 신선도를 분류하는 연구가 진행되었다. 2015년 미세분광 이미징기반[5]으로한 신선도, 기포 형성, 난황 등 계란의 내부 품질을 비파괴적으로 측정하고 SVR (Support Vector Regression)과 결합한 SPA (Successive Projections Algorithm) 모델을 통해 품질을 구별하는 연구가 진행되었다. 2015 유전 분광학 및 인공 신경망(ANN), 베이지안 네트워크(BN), 의사결정 트리(DT) 및 서포트 벡터 머신(SVM)을 포함하는 신선도 분류 연구가 진행되었다.[6] 앞서 진행된 비파괴 방식의 연구들은 분광 기법을 기본으로 하여 계란 내부 및 외부 정보를 바탕으로 신선도를 계측 및 분류하는 방법으로 진행되었다. 본 논문에서는 분광 기법으로 관측할 수 없는 계란의 기실을 850nm 대역의 IR 레이저와 IR-Cut RGB 카메라로 영상을 획득하고 영상처리를 통해 계란 내부의 변화를 시각적으로 관찰하여 품질의 변화를 정량적으로 측정할 수 있는 비파괴 신선도 측정 방법을 개발하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 논문에서는 적외선 레이저를 이용한 비파괴 검사 장비로써 계란의 기실 부분을 조사하기 위한 광원부, 기실을 찾기 위한 모터 회전 제어부, 기실 영상을 획득을 위한 수집부로 구분된다. 영상 수집은 IR-Cut된 RGB 카메라로부터 가시광선 및 적외선 대역의 영상을 획득하여 컴퓨터에 저장하고, 제어 장치는 서보 모터를 사용하여 계란을 회전시켜 회전각에 따른 영상을 획득한다.

2.1 시스템 외관

그림 1은 비파괴 검사장비의 설계 도면으로 외부 프레임은 알루미늄으로 제작하였다. 외부 빛이 투과되지 못하도록 외관 전체를 감싸 암실을 구현했다.

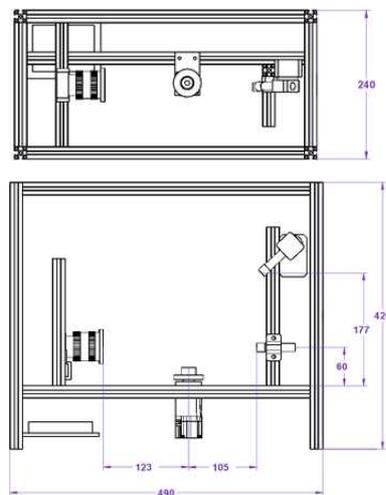


그림 1. 시스템 외관
Fig. 1. System Layout

2.2 전체 시스템 구성

그림 2는 영상을 이용한 비파괴 검사장비의 시스템 구성도이다. 산업용 PLC와 서보시스템을 사용하기 위해 GX-Works 프로그램을 사용하여 회전각을 60° 도로 하여 제어한다. 적외선(IR) 조명의 제어 각도 범위는 0°~90°로 회전할 수 있도록 구성하였고 ATmega2560와 연결해 적외선 조명의 제어를 수행한다. 그리고 850nm 대역의 bandpass 필터를

통과한 영상은 Visual Studio 2017 C#과 OpenCV 기반으로 작성된 프로그램을 통하여 기 개발된 알고리즘을 적용하고 그 결과를 보여 준다. 또한 시리얼 통신기반으로 PLC와 ATmega2560과 연결되고 각 기기간의 데이터를 송수신한다.

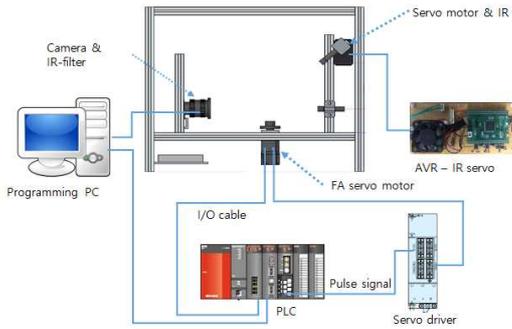


그림 2. 전체 시스템 구성도
Fig. 2. System Configuration Diagram

2.3 기실 측정

기실(공기층)은 그림 3의 (a)처럼 골고루 분포되는 경우와 (b)처럼 한쪽으로 치우쳐 나타나기도 하지만 항상 계란 중심부 끝점을 포함하며 나타난다.

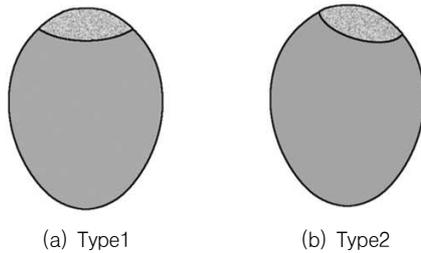


그림 3. 기실의 위치
Fig. 3. Position of Air sack

계란 내부에 위치한 기실을 측정하기 위해 850nm 대역의 IR 레이저를 사용하였다. 적외선은 가시광선 대역의 조명과는 다르게 눈으로 볼 수 없고, 공기 중의 투과력이 강하여 계란의 상단부에 있는 기실을 통과하면 내부의 공기층으로 인한 난반사로 기실부분이 밝게 보인다. 이러한 조명의 특징을 활용하여 기실의 면적을 획득할 수 있다.

그림 4는 조명의 설치 방향을 나타낸 것으로 상

단부에 있는 기실을 정확하게 비추도록 각도를 주어 조명(A)을 설치하였고 하단부는 계란 외피와 배경분리를 위한 목적으로 계란 중심에 수직인 각도로 조명(B)을 설치하였다.

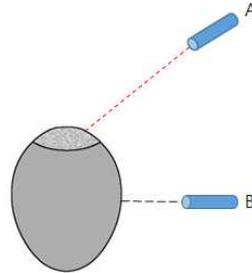


그림 4. 적외선 조명 방향
Fig. 4. Position of Infra-Red Light Source

3. 실험 및 방법

3.1 실험 조건

본 실험은 시중에 판매되는 계란을 대상으로 봄철 실온 평균 20℃와 여름철 실온 평균 30℃에 맞추어 항온항습기를 사용하여 각 온도를 일정하게 유지하고 각각 30개씩의 계란을 대상으로 결과를 획득하였다. 그리고 20℃ 저장 환경은 부패속도가 빠르지 않아 2일 간격으로, 30℃ 저장 환경은 부패의 속도가 빠른 관계로 1일 간격으로 계란의 기실을 측정하고 파각하여 호우 유닛을 측정하였다. 표 1은 온도에 따른 1회 실험에 걸리는 시간과 측정 시 사용하는 계란의 개수를 나타낸 표이다.

표 1. 저장 온도에 따른 실험 방법
Table 1. Test Plan According to Storage Temperature

Storage Temperature	Test cycle	Sample / 1 cycle
20℃	2 Days	2
30℃	1 Day	5

3.2 실험 절차

그림 5는 실험 절차를 나타내는 순서도이다. 저장된 계란을 1개씩 비파괴 검사장비에 넣고 60° 간격으로 회전하며 영상을 촬영하였다. 그 후 중량을 측

정하고 중량측정이 완료되면 깨트려 농후난백의 높이 측정한다. 실험당일 할당된 계란의 실험이 끝나면 영상처리 알고리즘을 이용한 데이터 수집, 수치화 및 데이터 분석, 통계를 작성하고 이를 토대로 유의미한 자료를 도출하는 과정으로 진행한다.

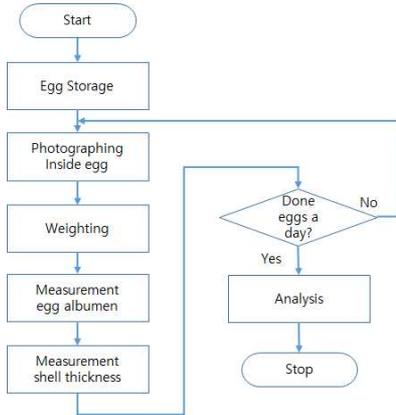


그림 5. 실험 절차 흐름
Fig. 5. Test Flowchart

3.3 데이터 변환 및 처리

3.3.1 데이터 추출

실험 데이터 추출을 위한 순서는 그림 6과 같다. 원본 이미지(a)에서 계란과 배경을 분리하기 위해 낮은 Threshold 값을 적용하여 이진화된(b) 계란 영역을 추출하였다. 그리고 원본 영상(a)과 추출된 영역(b)을 Mask 연산한 뒤 Otsu Threshold를 통해 기실과 노이즈가 포함된 이진화 영역(c)을 추출하였다. 그다음 추출된 영역(c)에서 Max Labeling을 적용하여 가장 큰 영역을 제외한 나머지를 제거한다. Max Labeling 이후에도 남아 있는 노이즈를 제거하기 위해 Morphology Opening 연산하여 기실 영역(d)을 추출한다. 마지막으로 각 검출된 영상(b,d)에서 Edge를 추출하고 접점을 찾은 후 라인을 그려 계란의 원형에 가까운 영상(e,f)을 획득한다.

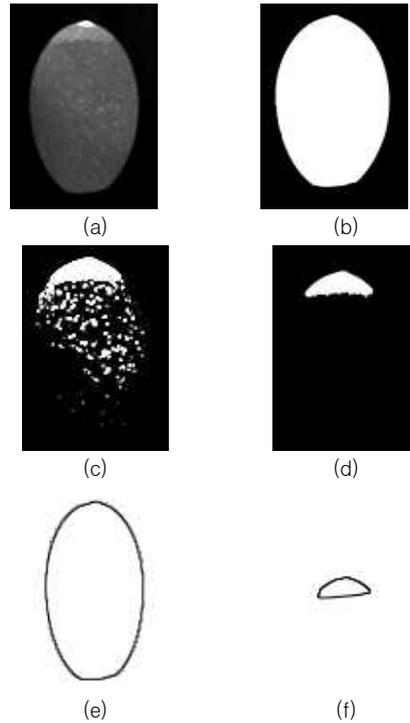


그림 6. 데이터 획득 과정
그림 6. Data Acquisition process

3.3.2 계란의 장단축 계산

계란 부피를 계산하기 위해 계란의 세로 길이 중 가장 긴 축(장축 : L-Length)과, 가로길이 중 가장 긴 축(단축 : S-Length)을 찾아 만나는 점을 중심으로 그림 7과 같이 장축 L-1, 2와 단축 S-1, 2의 길이(Pixel)를 추출한다.

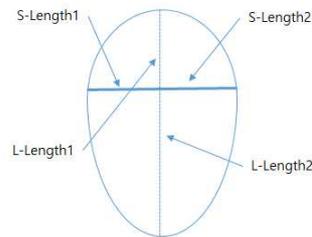


그림 7. 계란의 장단축
Fig. 7. Long & Short axis of Egg

3.3.3 길이 변환

영상을 구성하는 단위인 Pixel을 국제단위인 미터 법으로 변환하기 위해 고정된 카메라로부터 물체의 영상이 획득될 위치에 이미 정확한 수치를 알고 있는 물체를 놓고 그 위치 점에서의 Pixel 데이터를 추출한다. 본 논문에서 사용된 카메라로부터 계란이 위치한 영상은 그림 8과 같고 이때 1mm당 16개의 Pixel로 구성되었으며 변환된 값은 아래 표 2와 같다.

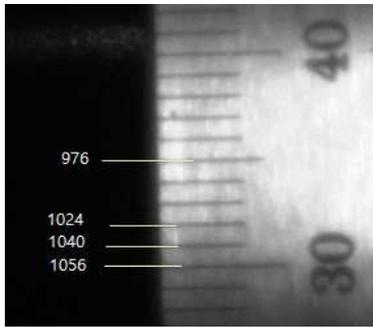


그림 8. 픽셀의 길이 측정
Fig. 8. Measurement of Pixel Length(mm)

표 2. 픽셀의 실측 단위 변환
Table 2. Actual unit conversion of pixels

1mm = 16 Pixels
1Pixel Length = 0.0625 mm
1Pixel Area = 0.00390625 mm ²

3.3.4 기실의 면적 계산

영상에서의 1Pixel은 정사각형으로 이루어져 있으며 그 크기는 면적으로 나타낼 수 있다. 기실의 면적을 계산하기 위해서 표2에서 측정된 데이터를 기반으로 1Pixel의 면적은 0.00390625 mm²로 계산된다. 결과영상에서 기실부분의 Pixel 개수를 통하여 실측값으로 전환할 수 있다.

3.3.5 부피 계산

그림 9는 타원의 회전체이고 잦은 장단 축의 데이터를 부피를 구하는 식(1-1)에 대입하여 체적을 계산한다.

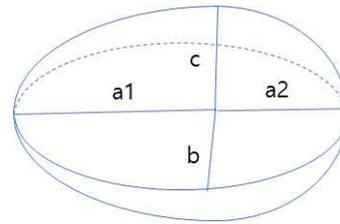


그림 9. 타원의 부피 공식
Fig. 9. Ellipse Volume Equation

$$V(mm^3) = \frac{2}{3} \pi bc (a1 + a2) \quad \text{식(1-1)}$$

4. 결과

4.1 기실과 호우유닛 분석

그림 10은 20℃ 보관중인 모든 계란의 기실 면적 대비 계란 부피의 비율의 평균값으로 그래프를 나타내었으며 결정계수도 0.989로 매우 높은 상관성을 나타내었다. 그리고 저장 기간에 따른 기실 면적과 계란 부피 비율의 평균값도 증가하는 것을 확인하였다.

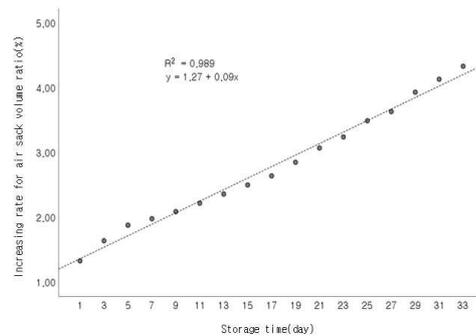


그림 10. 기실 부피비율 평균값 증가(20℃)
Fig. 10. Increasing air sack volume ratio average(20℃)

그림 11은 기실 면적 대비 계란의 부피 비율 데이터의 평균값으로 증가율을 나타내었다. 20℃와 마찬가지로 시간이 지날수록 계란 전체영역 대비 기실 부피 비율은 증가하는 것을 확인하였다. 20℃의 경우 회귀식이 y=0.09x + 1.27이고, 30℃의 경우 y=0.28x + 2.38로 나타나 20℃와 30℃에서의 기실

부피 증가율의 기울기가 3배 정도의 차이를 보였고, 이는 30℃ 보관에서 계란의 기실 증가율이 20℃에 서보다 크다는 것을 확인하였다.

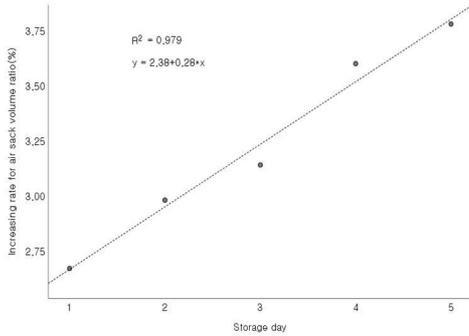


그림 11. 기실 부피비를 평균값 증가(30℃)
Fig. 11. Increasing air sack volume ratio average(30℃)

그림 12는 기실 부피 비율과 호우 유닛과의 관계를 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 결정계수는 0.751로 기실이 커질수록 호우 유닛(HU) 값이 작아져 음의 상관관계가 있음을 확인하였다.

표 3은 호우 유닛 변수와 기실 변수는 모두 연속성에 있어 Pearson 상관관계로 분석한 결과 두 변수는 -0.867로 음의 상관관계가 강하게 나타남을 확인하였고 이는 기실이 커짐에 따라 호우 유닛은 감소하는 것을 나타낸다.

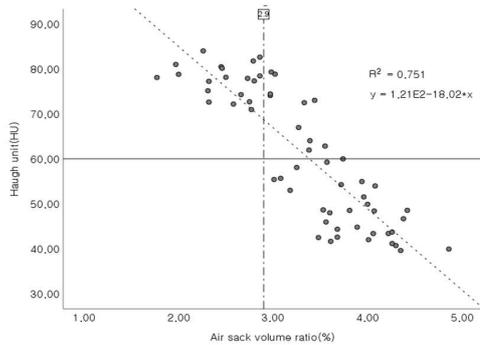


그림 12. 기실과 호우 유닛과의 상관관계
Fig. 12. Air sack and HU unit co-relation

표 3. 기실과 호우유닛 Pearson 상관관계
Table 3. Pearson Correlations between Air Sack and Haugh Units

Correlation		Haugh Unit	Air Sack
Haugh Unit	Pearson	1	-.867
	p-value		.000
	N	60	60
Air Sack	Pearson	-.867	1
	p-value	.000	
	N	60	60

5. 결론

계란의 보관온도에 따라 신선도의 영향을 미치는 인자로 기실 크기 증가와 중량 감소를 분석한 결과, 같은 기간 동안 보관온도가 높을수록 기실이 빨리 증가하고, 중량 감소율도 더 큰 것으로 나타나 신선도가 더 급속히 낮아지는 결과를 보였다. 기실 면적과 호우 유닛(HU)과의 관계는 기실 면적 비율이 높을수록 호우 유닛(HU)값은 낮아지고 신선도도 낮아지는 상관관계수 -0.867의 음의 상관관계가 있음을 확인하였다. 기실 부피 비율이 2.76% 이하의 계란은 A등급에 해당하는 호우 유닛(HU)값이 72 이상으로 나타났고, 기실 부피 비율이 3.8% 이상의 계란들은 C등급 이하에 해당하는 호우 유닛(HU)값 60 미만으로 나타났다. 결국 기실 부피 비율이 2.9% 이하이고 밀도가 0.9800(g/cm³) 이상이면 호우 유닛(HU)값이 60 이상인 B등급 이상의 신선한 계란일 것으로 판단하였다. 본 논문에서는 비파괴 측정 방법 중 분광법을 이용한 신선도 측정 방식이 아닌 적외선과 영상 시스템을 이용한 방법을 제시하였다. 계란의 내부를 시각적으로 확인 가능한 시스템을 개발하여 객관성을 확보하고 데이터의 신뢰성 구간을 정량화하여 기실에 대한 영향 요인을 분석하였다. 이는 향후 계란의 등급 판정의 신뢰성을 증대시키고 소비자에게 믿을 수 있는 먹거리를 제공함에 있다.

REFERENCES

[1] Korea institute for animal products quality evaluation. www.ekape.or.kr
 [2] QCM+ Range. <http://www.tss-york.com/>
 [3] Sang Ho Kim, Sang Kin Lee, Duk Su Lee, Won

BO Cho, Seong Hun Lee, Stuart Borden, Young A Woo, Hyo Jin Kim. 2005. Non-Destructive Measurement of the Egg Freshness by Near Infrared Spectrometry. Journal of the Korean Chemical Society. 2005, vol. 49, No. 6

[4] Hao Lin, Jiewen Zhao, Li Sun, Quansheng Chen, Fang Zhou. 2011. Freshness measurement of eggs using near infrared(NIR) spectroscopy and multivariate data analysis. Elsevier. April 2011, Volume 12, Issue 2, 182-186

[5] Jiewen Zhao, Hao Lin, Quansheng Chen, Xingyi Huang, Zongbao Sun, Fang. 2010. Identification of egg's freshness using NIR and support vector data description. Elsevier. June 2010, Volume 98, Issue 4, 408-414

[6] Wei Zhang, Leiqing Pan, Sicong Tu, Ge Zhan, Kang Tu. 2015. Non-destructive internal quality assessment of eggs using a synthesis of hyperspectral imaging and multivariate analysis. Elsevier. July 2015, 41-48.

[7] Mahmoud Soltani, Mahmoud Omid. 2015. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques. Elsevier. July 2015, Volume 62, Issue 2, 1034-1042

[8] Open Source Computer Vision Library. <https://opencv.org/>

[9] United States Department of Agriculture. Egg-Grading Manual. Agricultural Handbook Number 75.

[10] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, 2002. "Digital Image Processing"

[11] Murray R. Spiegel, Mathematical Handbook of formulas and tables

저자약력

김 태 정(Tae-Jung Kim)

[정회원]



- 2015년 2월 : 성균관대학교 바이오생명공학과 (석사)
- 2018년 8월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사수료)

<관심분야> 컴퓨터비전, 인공지능, 로봇

김 선 정(Sun-Jung Kim)

[정회원]



- 2018년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사)

<관심분야> 자동화, 영상처리, PLC

이 동 구(Dong-Goo Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 성균관대학교 바이오생명공학과 (석사)
- 2019년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사수료)

<관심분야> 컴퓨터비전, 인공지능, 로봇

이 정 호(Jeong-Ho Lee)

[정회원]



- 2015년 2월 : 성균관대학교 바이오생명공학과 (석사)
- 2019년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사수료)

<관심분야> 컴퓨터비전, 인공지능, 로봇

이 영 석(Young-Seok Lee) [정회원]



- 2012년 8월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사)
- 현재 : 한국폴리텍대학 성남캠퍼스 자동화시스템과 교수

〈관심분야〉 자동화, 스마트시스템

황 현(Heon Hwang) [정회원]



- 현재 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 교수

〈관심분야〉 컴퓨터비전, 기계학습, 로봇

최 선(Sun Choi) [정회원]



- 2005년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (석사)
- 2011년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (박사)
- 2015년 8월 ~ 현재 : 성균관대학교 생명공학연구원 책임연구원

〈관심분야〉 컴퓨터비전, 영상인식, 기계학습