

영상기반 축사 내 육계 검출 및 밀집도 평가 연구

이대현, 김애경, 최창현, 김용주*

Study on image-based flock density evaluation of broiler chicks

Dae-Hyun Lee, Ae-Kyung Kim, Chang-Hyun Choi, Yong-Joo Kim*

요약 본 연구에서는 실시간 육계 복지관리를 위해 영상 기반의 육계 군집 모니터링을 수행하였으며, 촬영된 영상 내 육계 영역을 검출하고 좌표변환을 이용한 지면 투영과 밀집도를 평가하였다. 평가 구조의 육계사에서 광역 범위의 육계 군집을 촬영하였으며 육계 영역은 카메라로부터 수집된 RGB 영상을 HSV 모델로 변환한 후 임계치 처리 및 군집화를 통해 검출하였다. 영상처리를 통해 검출된 육계 영역은 카메라-월드 좌표계 변환을 이용하여 지면에 투영한 후 실제 면적을 계산하였으며, 계산된 면적을 이용하여 밀집도를 평가하였다. 영역 검출 결과 상대오차 및 IoU가 평균 5%, 0.81로 각각 계산되었으며, 좌표변환을 통한 실제 면적은 약 7%의 오차 수준으로 평가되었다. 실제 면적 내 육계영역의 비율을 이용하여 밀집도를 계산하였으며 평균 80% 수준으로 나타났다. 영역 검출의 경우 작거나 멀리 존재하는 면적에 대해서는 검출 성능이 다소 떨어졌으며, 실제 면적 평가는 축사 내 구조물 등에 따른 오차가 관찰되었다. 따라서 본 기술을 축사에 적용하기 위해서는 다양한 데이터 기반의 알고리즘의 검출 성능 향상 및 마커 등을 이용한 기준정보 추가 설치가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract In this study, image-based flock monitoring and density evaluation were conducted for broiler chicks welfare. Image data were captured by using a mono camera and region of broiler chicks in the image was detected using converting to HSV color model, thresholding, and clustering with filtering. The results show that region detection was performed with 5% relative error and 0.81 IoU on average. The detected region was corrected to the actual region by projection into ground using coordinate transformation between camera and real-world. The flock density of broiler chicks was estimated using the corrected actual region, and it was observed with an average of 80%. The developed algorithm can be applied to the broiler chicks house through enhancing accuracy of region detection and low-cost system configuration.

Key Words : Broiler chicks, image processing, coordinate transformation, flock density, behavior

1. 서론

닭고기는 주요 축산식품으로 국내외적으로 매년 600억 마리 이상이 소비되고 있으며[1], 공급량은 '17년 기준 약 8813만 톤으로 지속적인 증가세를 보이고 있다. 이러한 추세에 따라 안정적인 공급 및

생산량 향상을 위한 축사시설이 요구되며, 최적 온도·습도 관리 등 환경제어가 가능한 계사 구조 및 자동화 시스템의 보급이 확대되고 있는 추세이다. 또한 최근 식품과 건강 및 질병에 대한 정보 확대 및 인식의 변화로 소비자의 닭고기 품질에 대한 관심이 증가되고 있으며, 이는 동물 친화적 사육 방식 및

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry(IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA) and Rural Development Administration(RDA)(Project No.: 319034-01-1-WT021).

*Corresponding Author : Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University (babina@cnu.ac.kr)

Received July 31, 2019

Revised August 12, 2019

Accepted August 13, 2019

복지관리 등으로 차별화된 축산물의 품질 확보의 필요성을 증가시키고 있다[2]. 특히, 사육밀도는 육계의 복지 및 건강에 영향을 미치며[3], 밀집사육은 높은 생산성을 가져다주지만 개체 간 밀집에 따른 자유로운 행동의 제약[4], 체온 상승으로 인한 스트레스 향상을 유발한다[5]. 따라서 지속적인 개체의 밀집도 및 무리 행동의 모니터링을 통해 생육 및 사육 환경에 대한 평가가 필요하지만, 현재 대부분의 모니터링은 작업자가 직접 혹은 CCTV를 통해 육안으로 수행하고 있어 작업자 피로를 증가시킬 뿐만 아니라 일관적인 평가가 어렵다.

최근 영상기반 센싱분야의 하드웨어 및 데이터 처리 기술의 비약적인 발전으로 다양한 산업분야에서 자동화, 무인화를 목적으로 기술 개발이 이루어지고 있다[6]. 특히, 축산분야에서는 돼지, 소를 중심으로 영상기반 연구개발이 추진되고 있으며, 대표적으로 Kim 등(2017)은 돼지의 행동 특성을 영상기반으로 분류하였으며 군집 형태별로 최대 95 ~ 100%의 인식률을 보였다[7]. Gu 등(2017)은 영상의 엔트로피(entropy)를 이용하여 소의 행동을 분석하였으며, 소의 질병 및 건강 상태에 따른 인식률이 80% 이상으로 보고하였다[8]. 양계 관련 영상기반 인식 연구로는 육계의 급이 및 급수 행동 분석 연구[9], 개체별 행동 패턴의 분석 및 연속 영상 기반 개체 행동 자동 인식[10], 급기 주변의 무리 인식 및 행동지수 평가[11] 등이 진행되었다. 대부분의 결과가 현장 적용이 가능한 수준의 결과를 보여주었지만, 제한된 조건 내 실험이 수행되거나 국소 영역 혹은 개체 중심의 기술 적용으로, 작업자의 육계 복지관리 자동화를 위한 광역 면적 모니터링에 적용하기에는 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 간단한 영상 장치 기반으로 실시간 육계 군집의 실시간 모니터링을 위해 수행되었으며, 광역 범위의 육계 군집을 실시간 촬영하고, 영상처리를 이용하여 군집의 영역을 추출한 후 밀집도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 영상데이터 수집

영상기반 육계의 밀집도 평가를 위한 영상 수집은 상주군 소재에 위치한 육계사(평사)에서 실시하였으며, 축사의 규모는 $85 \times 19 \times 2.5 \text{ m}^3$ (길이×너비×높이)로 사육되는 육계는 약 3만수이다. 축사 내 급이 및 급수는 길이 방향으로 각각 총 3개의 라인이 설치되어 있으며, 육계 품종은 Ross로 실험기간은 4월 중순으로 당시 생육기간은 11 ~ 13일령 범위를 가진다.

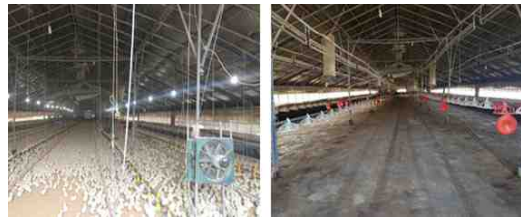


그림 1. 영상수집에 사용된 육계사
Fig. 1. Used broiler house for image data acquisition

본 연구에서는 육계사 내 영상 분석이 목적으로 보편화된 장치인 스마트폰(Galaxy note 9, Samsung, Korea)을 이용하여 영상 수집을 수행하였으며, 카메라의 사양은 표 1과 같다. 스마트폰의 경우 장치 확보 및 시스템 구성이 용이하다는 장점이 있다. 카메라에는 1/2.55" 영상센서가 탑재되어 있고, 12 MP의 화소로 4320×2880 (W×H)의 해상도의 영상 출력을 가지며, 동영상의 경우 최대 60 FPS로 촬영이 가능하다. 카메라 영상의 수평방향 화각(field of view, FOV)은 77° 이며, 최대 2배의 광학 줌(optical zoom) 및 10배의 디지털 줌(digital zoom)이 가능하다. 육계 영상 수집을 위해 카메라를 축사의 입구가 위치한 벽면의 중심에서 맞은편 벽면을 향하여 설치하였으며, 설치 높이는 지면으로부터 약 1.5 m, 촬영각은 지면의 수평방향과 10° 로 아래쪽 방향이다. 영상기반의 육계 행동 패턴 분석 등은 대부분 천장에 카메라를 설치하여 지면과 수직인 방향으로 촬영하였으나[7, 9, 11], 본 연구에서는 광역 범위에 대한 밀집도 평가를 위해 수평방향으로

넓은 면적을 촬영하였다. 수평방향 촬영으로 인한 원근에 따른 왜곡은 카메라 사양 및 좌표변환을 이용하여 보정하였다[12].

표 1. 영상수집용 카메라 사양
Table 1. Specifications of used camera in this study

Item		Specifications
Length×Width×Height (mm ³)		161.9×76.4×8.8
Image sensor	Optical format	1/2.55"
	Resolution	4320(H)×2880(W)
Video recording		60 FPS
Field of view		77°
Zoom	Optical	x2
	Digital	x10

2.2 육계 영역 검출

육계 영역은 그림 2와 같이 카메라로부터 수집된 RGB 영상을 HSV 모델로 변환한 후 임계치 처리(threshold) 및 군집화(clustering)를 통해 검출하였다.

RGB 모델은 빛의 3원색인 적색(red), 녹색(green), 청색(blue)의 비율 결합으로 표현되며 각각의 색상에 조도(intensity)가 포함되어 있어 노출된 빛에 따른 성능이 차이가 크지만 HSV 모델은 색상(hue), 채도(saturation), 명도(value)의 구성요소를 가지므로 조도 및 노이즈에 강인한 검출률을 보여준다[13]. 따라서 본 연구에서는 HSV 모델을 이용하여 영상처리를 수행하였으며, 수집된 영상별로 각각의 채널의 히스토그램 작성 및 분석을 통해 임계값 범위를 선정하였다. 임계값 처리를 통해 육계 영역의 1차 후보를 검출하였으며, 가우시안 블러(Gaussian blur)를 이용하여 잡음을 제거하였다. 1차 후보 영역에는 육계 영역 외에 유사한 색상 영역을 가지는 잡음이 포함되어 있어 군집화와 면적, 형상 기반의 제약조건을 통한 필터 처리로 최종 육계 영역을 선정하였다. 육계 영역 검출을 위한 영상처리는 Visual studio (ver 2017, Microsoft, DC, USA) 및 Opencv 라이브러리를 이용하였다.

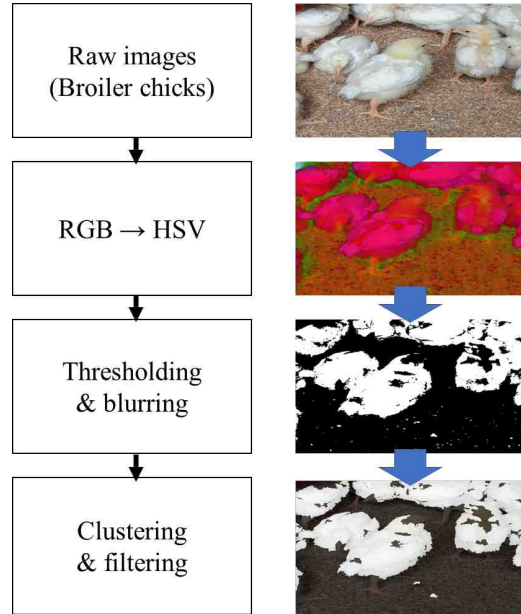


그림 2. 육계 영역 검출을 위한 영상처리
Fig. 2. Image processing for detection of broiler chicks region

2.3 밀집도 평가

영상처리를 통해 검출된 육계 영역은 2D 영상으로부터 처리된 결과로 원근에 따른 영상 왜곡이 존재한다. 따라서 축사 내 촬영된 면적에서 육계 영역에 대해 정확히 평가하기 위해서는 2D 영상으로 촬영된 지면 정보를 실제 면적으로 변환이 필요하며, 이는 그림 3과 같이 카메라의 사양, 설치 위치 및 자세를 이용한 카메라 좌표계(camera coordinate)에서 월드 좌표계(world coordinate)로 변환을 통해 가능하다. 카메라 좌표계는 렌즈의 중심을 원점으로 하며 식 1을 이용하여 초점거리(focal length)가 1인 가상의 정규 좌표계로 변환되며, 이때 정규 좌표계는 좌표계의 단위가 정규화 되어 있어 카메라 내부 파라미터의 효과를 최소화할 수 있다. 카메라 초점 중심의 정규좌표계 기준 좌표는 식 2의 동차 변환 행렬(homogeneous transformation matrix)을 통해 월드 좌표계 기준 좌표로 변환되며, 식 3을 이용하여 영상에 투영된 실제 지면 좌표의 계산이 가능하다.

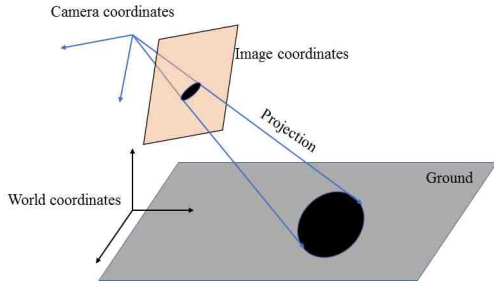


그림 3. 좌표변환을 이용한 영상의 지면 투영
Fig. 3. Image projection on ground using coordinates transformation

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & 0 \\ 0 & f_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10 - c_u \\ 01 - c_v \\ 00 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Where,

- u, v = Normalized image plane coordinates
- x, y = Image plane coordinates
- c_x, c_y = Principle point
- f = Focal length

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & C_X \\ 0 & \cos(\theta) & \sin(\theta) & C_Y \\ 0 & -\sin(\theta) & \cos(\theta) & C_Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Where,

- X, Y, Z = World coordinates
- C_X, C_Y, C_Z = Camera origin position in world coordinates
- θ = Camera tilt angle

$$P_{(X, Y, Z)} = C_{(X, Y, Z)} + k(p_{(X, Y, Z)} - C_{(X, Y, Z)}) \quad (3)$$

Where,

- k = Parameter for $P_Z = 0$
- $P_{(X, Y, Z=0)}$ = Projected point onto ground
- $C_{(X, Y, Z)}$ = Camera origin position in world coordinates
- $p_{(X, Y, Z)}$ = Image pixel position in world coordinates

2.4 성능평가

검출된 육계 영역은 원 영상의 육계 영역과 비교하였으며, 활성화된 픽셀을 카운팅 하여 측정된 값과의 상대오차 (relative error, RE) 및 IoU (intersection of union)를 계산하였다. 이때 IoU는 식 4와 같이 계산된다.

검출된 영역을 카메라 좌표변환을 통해 실제 지상의 면적으로 계산한 결과는 측정값과의 상대 평균 오차(mean relative error, MRE)와 R^2 (coefficient of determination)를 이용한 상관관계를 분석하였으며, 전체 면적 대비 육계 면적 비율인 밀집도(flock density)와 밀집도 내 개체 수를 계산하였다. 이때 측정값의 경우 영역 검출에서는 영상 내 수동으로 라벨링 하였으며, 실제 면적의 경우 영상 내 표시된 위치를 기준으로 측사 내 면적을 측정하였다.

$$IoU = \frac{\text{Area of overlap}}{\text{Area of union}} \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 육계영역 인식

육계 군집을 촬영하였으며, 대표적인 영상은 그림 4와 같이 나타났다. 내부 온도 등에 따라 움직임 및 밀집되어있는 위치 등이 육안으로 식별이 가능하였으며, 대부분 환기 팬이나 공기가 유입되는 길이 방향으로 양쪽 끝에 밀집되는 경우가 다수 관찰되었다.

촬영된 영상을 HSV 모델로 변환한 후, 임계치 처리, 군집화, 필터링을 통해 군집 영역을 검출한 대표적인 결과는 그림 5와 같다. 영상의 히스토그램 분석 결과 육계 영역의 H, S, V 채널 범위는 각각 20~150, 0~30, 120~255로 나타났다.

육계 영역은 픽셀의 강도(intensity)가 높으며 백색으로 표현되었으며, 원 영상과 비교하였을 때, 밀집된 부분의 검출이 가능하였다. 전반적으로 양계가 존재하지 않은 깔짚 부분은 명확한 분리가 가능하였으며, 급이와 급수를 위한 파이프는 대부분의 경우 직선 형태로 구분이 가능하였으나 색상 및 조명에 따라 육계와 유사한 부분으로 나타나 영역에 포함되

는 경우가 일부 발생되었다.

육계 검출 성능은 수동으로 측정한 기준 영상과의 픽셀 별로 평가하였으며, 상대오차 및 IoU는 그림 6 과 같이 계산되었다. 상대오차는 평균 0.05 (5%) 수준으로 나타났으며, IoU는 평균 0.81로 계산되었다. 이를 통해 픽셀 면적은 유사하게 관찰되었지만 단일 객체의 누락 혹은 다른 영역의 포함으로 인한 오차 발생으로 영역에 대한 겹침 정도는 오차에 비해 다소 낮게 나타남을 알 수 있다.



그림 4. 육계 군집 영상 수집의 대표적인 결과
Fig. 4. Representative results for image acquisition of broiler chicks

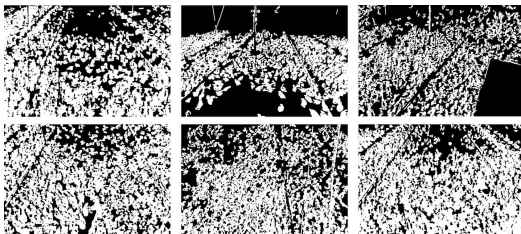


그림 5. 육계 영역 검출의 대표적인 결과
Fig. 5. Representative results for flock region detection of broiler chicks

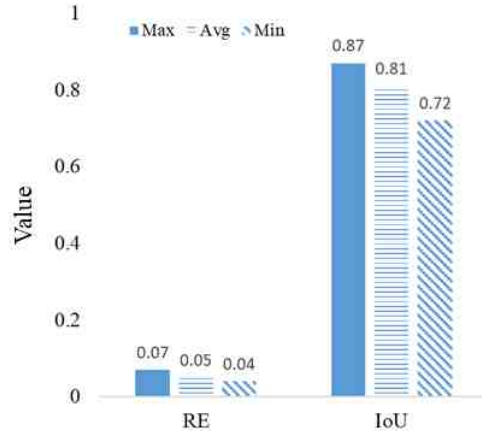


그림 6. 육계 검출영역의 성능평가 결과
Fig. 6. Performance of region detection of broiler flock

3.2 밀집도 평가

검출된 육계 영역을 카메라 사양 및 좌표변환을 통해 지면에 투영시켜 실제 면적을 평가하였으며, 대표적인 결과는 그림 7과 같이 나타났다. 영상의 지면 투영 결과 원근에 따라 영역의 형태가 변하였으며, 왜곡에 대한 보정이 가능하였다.

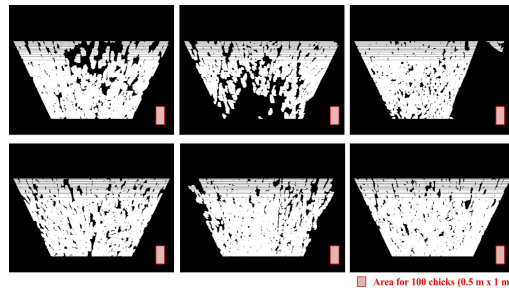


그림 7. 좌표변환을 이용한 영상의 지면 투영 결과
Fig. 7. Image projection on ground using coordinates transformation

보정된 영상을 이용하여 실제 면적과 평가된 면적을 비교하고 상관관계를 분석하였으며, 그 결과는 표 1과 같다. 측정된 면적과 영상을 이용하여 보정된 면적의 MRE는 7%, 상관관계 R^2 는 0.8로 계산되었으며 이를 통해 축사 내 2D 영상을 이용한 실제 면적에 대한 평가 및 모니터링이 가능한 것을 알 수 있

다. 육계 밀집도는 전체 면적 대비 보정된 육계 영역의 비율을 이용하여 계산하였으며, 측정된 영상의 전체 평균은 약 80%로 관찰되었다. 보정된 면적 및 밀집도를 기준으로 단일 육계 면적을 이용하여 영상 내 실제 육계의 수를 평가하였다. 이때 단일 육계의 면적은 실험적으로 측정값의 평균으로 계산하였으며, 밀집되어 있을 때 단일 육계의 면적을 $5 \times 10 \text{ cm}^2$ ($W \times H$)로 선정하였다. 육계의 수를 평가한 결과 전체 영상에서 평균 1002마리로 계산되었다. 하지만 본 크기는 실험적으로 가정된 값으로 육계의 수를 평가하기 위해서는 일령별 부피 및 이를 영상 내 면적으로 변환할 수 있는 모델의 개발과 검증이 필요할 것으로 판단된다.

표 2. 실제 면적 및 밀집도 평가 분석
Table 2. Results for area correction and flock density estimation

Measured (m ²)	Region			Flock density (%)	Counting (chick)
	Estimated (m ²)	MRE (%)	R ²		
48.7	45.1	7	0.8	80	1002

4. 결론

본 연구는 실시간 육계 복지관리를 위해 영상 기반의 육계 군집 모니터링을 수행하였으며, 촬영된 영상 내 육계 영역을 검출하고 좌표변환을 이용한 지면 투영과 밀집도를 평가하였다. 영역 검출 결과 상대오차 및 IoU가 평균 5%, 0.81로 각각 계산되었으며, 좌표변환을 통한 실제 면적은 약 7%의 오차 수준으로 평가되었다. 실제 면적 내 육계 영역의 비율을 이용하여 밀집도를 계산하였으며 평균 80% 수준으로 나타났다.

2D 영상 데이터와 카메라 좌표변환을 이용하여 촬영된 육계 영역의 실제 면적 예측이 가능하였지만, 색상 모델 기반의 영역 검출에는 작은 면적을 차지하거나 멀리 떨어져 존재하는 육계에 대해서는 검출 성능이 다소 떨어졌으며, 실제 면적의 평가는 지면 근처에서는 높은 정확도를 보였지만, 축사 내 구조물 등에 따른 오차가 관찰되었다. 따라서 실제 축사 내 육계 등의 밀집

도나 행동 패턴 등의 정보를 영상 모니터링을 통해 실시간 수행하기 위해서는 학습 등을 이용한 영상 특징 추출로 알고리즘의 검출 성능을 높이고 마커 등을 이용한 기준정보 및 제약요소 활용을 병행하여 저가의 시스템으로 개발이 필요하다. 이를 통해 실시간 밀집도 및 행동 패턴의 동적 분석이 가능하며, 자동 환경제어와 연동 시 현재 생육의 지능적 판단 기반으로 최적 생육 환경 제공이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] F. M. Colles, R. J. Cain, T. Nickson, A. L. Smith, S. J. Roberts, M. C. J. Maiden, D. Lunn, and M. S. Dawkins, "Monitoring chicken flock behaviour provides early warning of infection by human pathogen *Campylobacter*", *Proceeding of Royal Society B*, Vol. 282, pp. 1-6, 2015.
- [2] S. Bergmann, A. Schwarzer, K. Wilutzky, H. Louton, J. Bachmeier, P. Schmidt, M. Erhard, and E. Rauch, "Behavior as welfare indicator for the rearing of broilers in an enriched husbandry environment - A field study", *Journal of Veterinary Behavior*, Vol. 19, pp. 90-101, 2017.
- [3] J. J. Ha, Y. J. Rhee, B. C. Kim, S. J. Ohh, and Y. H. Song, "Effects of Rearing Densities on Behavior Characteristics in Korean Native Broilers", *Journal of Animal Science and Technology*, Vol. 53, No. 5, pp. 481-487, 2011. (In Korean)
- [4] J. H. Son, "The effect of stocking density on the behaviour and welfare indexes of broiler chickens", *Journal of Agricultural Science and Technology*, A3, pp. 307-311, 2013.
- [5] K. Reiter and W. Bessei, "Effect of stocking density of broilers on temperature in the litter and at bird level", *Archiv fur Geflugelkunde*, Vol. 60, No. 5, pp.

204-206, 2000.

[6] A. Camargo and J. S. Smith, "An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms", *Biosystems Engineering* Vol. 102, pp. 9-21, 2009.

[7] H. T. Kim, S. K. Lee, J. W. Han, W. Kim, "Image Processing Algorithm for Behavior Classification of Pigs under the Different Environment Conditions", *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 51, No. 3, pp. 119-127, 2017.

[8] J. Gu, Z. Wang, R. Gao, and H. Wu, "Cow behavior recognition based on image analysis and activities", *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, Vol. 10, No. 3, pp. 165-174, 2017.

[9] A. D. Montis, A. Pinna, M. Barra, and E. Vranken, "Analysis of poultry eating and drinking behavior by software eYeNamic", *Journal of Agricultural Engineering*, Vol. XLIV, No. s2, pp. 166-172, 2013.

[10] D. F. Pereira, B. C. B. Miyamoto, G. D. N. Maia, G. T. Sales, M. M. Magalhães, and R. S. Gates, "Machine vision to identify broiler breeder behavior", Vol. 99, pp. 194-199, 2013.

[11] D. P. Neves, S. A. Mehdizadeh, M. Tschärke, I. A. Naas, T. M. Banhazi, "Detection of flock movement and behaviour of broiler chickens at different feeders using image analysis", *Information Processing in Agriculture*, Vol. 2, pp.177-182, 2015.

[12] P. Morerio, L. Marcenaro, and C. S. Regazzoni, "People count estimation in small crowds", *Proceeding on 2012 IEEE 9th International Conference, Beijing, China*, 2012.

[13] S. H. Chae and K. K. Jun, "HSV Color

Model based Hand Contour Detector Robust to Noise", *Journal of Korea Multimedia Society* Vol. 18, No. 10, pp. 1149-1156, 2015.

저자약력

이 대 현(Dae-Hyun Lee) [정회원]



<관심분야>

- 2015년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2016년 3월 ~ 2018년 2월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 스마트팜개발과 농업연구사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 바이오시스템기계공학과 교수
농업 메카트로닉스, 농업 로봇 시스템

김 애 경(Ae-kyung Kim) [정회원]



<관심분야>

- 2006년 5월 ~ 2013년 4월 : 로즈메디앙글리쉬 어학원 대표
 - 2014년 1월 ~ 현재 : ㈜대상키우미시스템 이사겸 연구팀장
 - 2016년 2월 : 가톨릭관동대학교 의과대학 의료경영학과 졸업
- IT융합, 지능형시스템, 무선통신시스템

최 창 현(Chang-Hyun Choi) [정회원]



<관심분야>

- 1984년 2월 : University of Iowa State(미국) 농공학과 (공학박사)
 - 1997년 10월 ~ 현재 : 성균관대학교 생명공학대학 교수
- 농업 계측 및 제어

김 용 주(Yong-Joo Kim) [정회원]



<관심분야>

- 2004년 2월 : 성균관대학교 바이오메카트로닉스학과 (공학박사)
 - 2013년 1월 ~ 2014년 2월 : LS엔트론 중앙연구소 동력기계기술그룹 그룹장
 - 2014년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 바이오시스템기계공학과 교수
- 농업 동력 및 트랙터, 부하계측