

소 도체 등급판정을 위한 스마트폰 기반의 영상 획득 장치 개발

유현채¹, 임종국^{1*}, 이아영¹, 김박금¹, 서영욱¹, 김성민²
¹국립농업과학원 농업공학부, ²전북대학교 생물산업기계공학과

Development of an Image Acquisition Device Based on Smartphone for Grading Determination of Beef Carcass

Hyeon-Chae Yoo¹, Jong-Guk Lim^{1*}, Ah-Yeong Lee¹,
Bal-Geum Kim¹, Young-Wook Seo¹, Seong-Min Kim²

¹National Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering

²Department of Bioindustrial Machinery Engineering, Jeonbuk National University

요약 우리나라에서 도축되는 모든 소는 쇠고기로 가공 전 상태인 소 도체에 대해서 개체별로 등급판정이 의무화되어 등급별로 유통되고 있다. 세계적으로도 소 도체의 품질을 실시간으로 측정하기 위한 시스템 개발을 위해 다양한 선행연구가 수행되고 있다. 특히, 비파괴적인 품질 분석 방법의 하나인 디지털 영상처리 기술은 현장 적용을 위한 장치까지 개발되면서 큰 발전이 있었다. 하지만 국내의 소 도체 등급 판정은 여전히 숙련된 전문가의 육안 평가 방식으로 등급판정이 이루어지고 있으며 이러한 방식은 노동집약적이고 장시간 측정에 따른 피로가 누적되어 객관성이 떨어질 우려가 있다. 현재 상용화된 해외의 소 도체 등급판정 장치는 큰 부피와 무거운 하드웨어로 구성되어 국내 도축장 환경에서의 활용에 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 국내 도축장의 환경을 고려하여 소형 및 경량화된 소 도체 등급 판정용 영상 획득 장치를 개발하기 위해 수행되었다. 영상 데이터의 접근 및 호환성이 뛰어난 스마트폰 카메라를 기반으로 하여 좁은 절개 부위에서 영상 획득이 가능하도록 장치의 높이와 무게를 최소화했으며, 근접에서 영상을 획득하기 위해 어안렌즈를 부착하여 제작하였다. 어안렌즈를 이용하여 획득한 영상은 방사 왜곡이 발생하기 때문에 이를 바로잡기 위해 체커보드를 이용한 방사 왜곡에 필요한 매개변수를 구하였다. 왜곡된 영상을 보정하고 소 도체 등급판정에 최적화된 영상을 획득하였으며 앞으로 다양한 도체에 대한 데이터 백업을 구축하고 사용자 편의를 위한 스마트폰 애플리케이션을 개발한다면 실시간으로 소 도체 등급판정이 가능할 것으로 기대된다.

Abstract There have been many prior studies worldwide on the development of a system to measure the quality of beef carcass in real-time. In particular, digital image processing technology, which is one of the non-destructive quality analysis methods, has made great progress with the development of field application devices. However, beef carcass grading in Korea is still carried out visually by an expert. Furthermore, the present-day commercialized beef carcass grading devices are large and have heavy hardware, making it difficult to use them in domestic slaughterhouse environments. Therefore, this study was conducted to develop a compact and lightweight image acquisition device for a domestic slaughterhouse. As part of the design, the device's height was minimized to enable image acquisition in a narrow area, and a fisheye lens was attached to acquire images in proximity. In addition, the image distortion generated from the fisheye lens was corrected to obtain an optimized image for grading determination.

Keywords : Beef Grading, Calibration, Distortion, Fisheye Image, Smartphone Camera

본 논문은 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ01181502)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jong-Guk Lim(National Institute of Agricultural Sciences)

email: limjg@Korea.kr

Received September 15, 2021

Revised October 22, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

국내에서 유통되는 축산물의 품질 차별화와 공정한 축산물 유통을 유도하기 위해 축산물 등급제도를 도입하여 시행하고 있다. 1993년 이후로 쇠고기의 가공 전 상태인 소 도체에 대해 개체별로 등급판정이 의무화되어 등급별로 유통되고 있으며, 생산 체계나 유통 환경의 변화에 맞추어 등급판정 기준은 여러 차례 개정되었다[1]. 등급판정을 위한 소 도체는 수직으로 이등 분할되어 0 °C의 냉장 상태에서 보관하게 된다. 이후 24시간이 지나 우측 반도체의 마지막 등뼈(홍추)와 제1허리뼈(요추) 사이를 절개하고 이중 등심 쪽의 절개면을 기준으로 등급판정이 이루어진다.

현행 소 도체 등급 판정은 숙련된 전문가의 육안 평가 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 방식은 노동집약적이며 단시간에 걸쳐 여러 도체에 대해 판정하기 때문에 시각적 피로도가 누적되어 객관성이 떨어질 우려가 있다[2]. 이러한 육안 평가를 대체하기 위해 자동화되고 객관화된 장치를 이용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 소 도체의 등급 인자에 해당하는 배최장근 단면적 및 근내지방도, 고기의 색상 등을 예측하기 위해 컴퓨터 비전 및 영상처리 기술이 적극적으로 활용되고 있다[3-5]. 하지만, Fig. 1과 같이 등급판정을 위해 절개되는 깊이와 높이는 절개 방법 및 도체의 크기에 따라 다양하지만 대부분 협소한 상태이다.

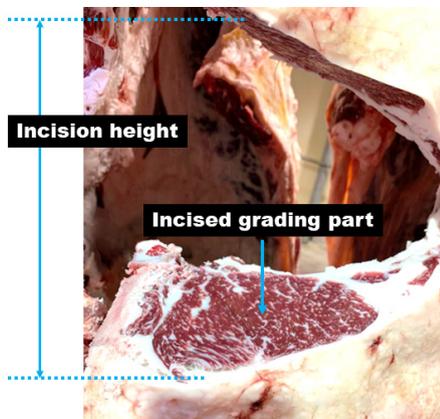


Fig. 1. Beef carcass grading region exposed

일반 카메라로 제작된 영상 측정장치는 부피가 크기 때문에 일부 도체의 비좁은 절개 부위에서는 영상 측정이 불가능한 경우가 발생한다. 선행연구에서는 일반 카메라 기반으로 제작된 장치를 좁은 절개 부위에 삽입하

기가 어렵기 때문에 약 30° 기울어진 방향에서 촬영한 영상을 분석하였다[6]. 따라서 소 도체의 등급판정을 위해서는 좁은 절개 부위에서 사용할 수 있도록 소형화된 영상 획득 장치 개발이 필요하다. 영상 분석을 이용하여 쇠고기 품질을 측정하기 위해 초분광 카메라, MRI (Magnetic Resonance Imaging), CT(Computerized Tomography), 디지털카메라 등의 다양한 기술들이 선행연구에서 사용되었다[7-10]. 이 중 디지털카메라는 CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor) 영상 센서를 주로 사용하는데, 소비전력이 적고 소형화가 쉽다는 장점이 있다. 최근에는 스마트폰의 대중화로 높은 해상도를 가진 CMOS 영상 센서가 장착되기 시작하면서 영상 분석에 디지털카메라 대신에 스마트폰을 활용하는 연구가 이루어지고 있다[11-13]. 특히, 스마트폰에 부착하여 사용할 수 있는 초광각 렌즈는 넓은 시야각(Field of View, FOV)을 확보할 수 있으며, 카메라의 가까운 초점거리까지 확보할 수 있어 근접 거리에서 넓은 영역의 영상을 획득할 수 있다. 하지만, 초광각 렌즈를 활용한 영상은 왜곡이 발생하게 되고, 정확한 영상 분석을 위해서는 왜곡에 대한 보정이 필수적이다[14,15].

본 연구에서는 소 도체의 판정 부위인 좁은 절개 부위에 사용 가능하고 국내 도축장 환경에 적합하도록 근접 측정이 가능하며 소형 및 경량화된 영상 획득 장치를 개발하기 위해 수행되었다. 또한, 데이터의 접근 및 호환성이 뛰어난 스마트폰 카메라를 이용하였고, 근접에서 넓은 시야각을 확보하기 위한 어안렌즈를 부착하였으며 이를 보정하여 등급판정에 최적화된 영상을 획득하고자 하였다.

2. 본론

2.1 영상 획득 시험 장치 설계

Fig. 2는 본 연구에서 제작한 영상 획득 시험 장치의 분해도이다. 영상 획득 시험 장치는 영상을 촬영하기 위한 스마트폰(Galaxy S10, Samsung, Seoul, Republic of Korea), 넓은 시야각(Field of View, FOV)을 확보하기 위한 어안렌즈(Next -10m, ㈜이지넷유비쿼터스, Seoul, Republic of Korea), 피사체에 대한 균일한 조명을 조사하기 위한 24 W 전력의 원형 광원(Standard ring light, Shenzhen ziranpai company, Guangdong, China), 빛 반사 제거를 위한 편광필터(CPL filter, ㈜일우, Goyang, Republic of Korea) 등으로 구성되어 있다.



Fig. 2. Exploded view of image acquisition system for beef carcass grading

2.2 장치 크기 결정을 위한 절개 부위 조사

영상 획득 시험 장치로 쇠고기 등심 판정 부위의 영상을 획득하기 위해서는 절개된 등심 부위에 삽입 가능한 크기로 제작되어야 한다. 장치의 크기를 결정하기 위하여 경상남도 김해시에 있는 부경양돈농협 부경축산물공판장에서 출하된 한우 228두의 절개된 부위의 높이를 조사하였다. Fig. 1과 같이 도축 후 24시간이 지난 냉도체 상태에서 마지막 등뼈(흉추)와 제1허리뼈(요추) 사이를 절개한 후 절개 부위의 높이를 측정하였다.

2.3 3D 프린터를 이용한 영상 획득 장치 제작

Fig. 3은 영상 획득 시험 장치의 조립된 도면 및 주요 부분의 치수를 보여주고 있다. 절개 부위 높이 조사 결과에 따라, Fig. 3a에서 나타내는 것과 같이 경통 바닥에서부터 스마트폰 하우징까지의 높이는 105 mm로 제작하였으며, 소 도체의 절단 부위의 높이 및 어안렌즈가 부착된 스마트폰 카메라의 최소 초점거리를 고려하여 경통 바닥면에서부터 원형 광원 하우징 윗면까지의 높이를 80 mm로 제작하였다. 또한, 영상 측정 시 외부 빛이 들어오는 것을 최소화하기 위해 Fig. 3b에서와 같이 경통의 내부 직경을 176 mm로 제작하였다. 전체적인 하우징 및 프레임의 경우 3D 프린터(Moment 2, ㈜모멘트, Seoul, Republic of Korea)를 이용하여 Poly Lactic Acid (PLA) 재질로 제작하였으며 스마트폰을 포함한 전체 무게는 650 g이다.

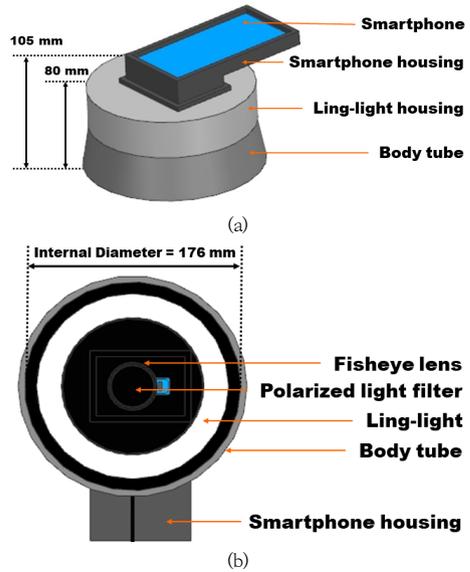


Fig. 3. Image acquisition system (a) Isometric view of the device (b) floor plan(bottom)

2.4 기하학적 왜곡 보정

획득된 등심 판정 부위 영상을 이용해 등심(배최장근) 단면적을 예측하기 위해서는 획득한 영상의 픽셀 단위를 실제 면적 단위로 재현하는 과정이 필요하다. 본 연구에서 사용된 어안렌즈는 가까운 거리에서 넓은 시야각을 확보할 수 있지만 Fig. 4a와 같은 방사 왜곡이 발생한다. 따라서 Fig. 4a와 같은 방사 왜곡을 Fig. 4b와 같이 보정하는 작업이 필요하다.

영상의 기하학적 왜곡을 보정하기 위해 카메라 캘리브레이션 기법을 사용하였다. 카메라 캘리브레이션은 카메라의 외부 및 내부 매개변수를 추정하는 과정으로써, 추정된 매개변수를 이용하여 어안렌즈로부터 발생한 영상의 왜곡을 보정할 수 있다[16].

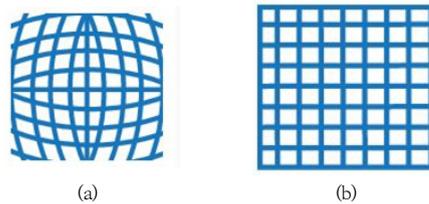


Fig. 4. Image distortion (a) Radial distortion (b) No distortion

카메라 외부 매개변수는 카메라의 높이와 방향 등 카메라와 외부 공간과의 기하학적 관계를 나타낸다. 카메라 외부 매개변수는 카메라 좌표계와 월드 좌표계 간의 변환 관계를 설명하고, 두 좌표계 사이의 회전 및 평행이동 변환으로 표현된다. 외부 매개변수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + T \quad (1)$$

When, X_c, Y_c, Z_c denotes camera coordinate system, X_w, Y_w, Z_w denotes world coordinate system, R denotes rotation vector, T denotes parallel transference vector

카메라 내부 매개변수는 카메라의 초점거리, 가로세로 비, 중심점 등 카메라 자체의 매개변수를 의미한다. 어안 렌즈에서 발생하는 방사 왜곡에는 깊이 인자, scaramuzza 다항 계수, 대각 행렬 3개의 매개변수가 필요하고, 내부 매개변수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ a_0 + a_2\rho^2 + a_3\rho^3 + a_4\rho^4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Where, λ denotes depth factor, a_0, a_2, a_3, a_4 denotes multinomial coefficient of scaramuzza model, a_0 denotes 0, ρ denotes $\sqrt{u^2 + v^2}$, $\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$ denotes calibrated coordinates

$$\begin{pmatrix} u'' \\ v'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c & d \\ e & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix} \quad (3)$$

where, $\begin{pmatrix} u'' \\ v'' \end{pmatrix}$ denotes distorted coordinate, $\begin{pmatrix} c & d \\ e & 1 \end{pmatrix}$ denotes Stretch matrix, $\begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix}$ denotes distortion center

Fig. 5와 같이 보정이 필요한 카메라를 이용하여 다양한 방향 및 거리에서 체커보드에 대한 3,024×3,024 크

기의 영상을 30장 획득한 후 흰색과 검은색 정사각형의 꼭짓점에서 얻어지는 포인트의 대응을 통해 매개변수를 추정하였다. 모든 영상 분석 및 보정은 Matlab(Matlab 2020a, Mathworks Inc., USA)을 이용하여 수행되었다.

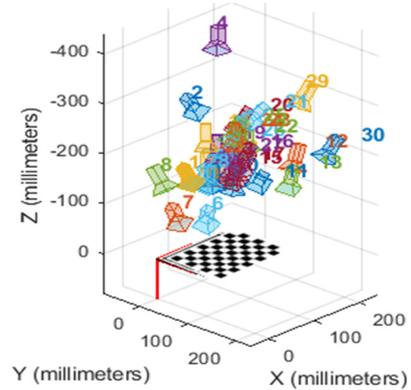


Fig. 5. Checker board centric

왜곡 보정 정확도는 수식 (4)와 같이 체커보드 영상에 대해 각각 검출된 꼭짓점과 재투영된 포인트 간의 오차를 구한 픽셀 평균값으로 계산되었다.

$$ME(\text{pixels}) = \frac{\sum_{k=1}^n \sqrt{|(x_k, y_k) - (x'_k, y'_k)|}}{n} \quad (4)$$

Where, $ME(\text{pixels})$ denotes mean error, n denotes detected vertex and re-projected points, (x_k, y_k) denotes detected vertex, (x'_k, y'_k) denotes re-projected point

3. 결과 및 고찰

3.1 쇠고기 등심 판정 부위의 절개 높이

도축된 한우 228두의 쇠고기 등심 판정 부위의 절개 높이를 측정된 결과는 Table 1과 같다. 가장 좁은 높이는 44 mm, 가장 넓은 높이는 180 mm였으며 평균 높이는 121 mm이고 표준오차는 25.72 mm로 조사되었다. 44 mm로 가장 낮게 측정되었던 도체는 나이가 어린 한우로서 상대적으로 절개 부위의 높이도 낮은 것으로 조사되었다. 따라서 쇠고기 등급판정 측정장치의 전체 높이는 평균 높이인 121 mm 이하가 적합한 것으로 판단되었다.

Table 1. Gap of incised region for beef carcass grading

| Methods | Gap of incised region (mm) |
|----------------|----------------------------|
| Minimum | 44 |
| Maximum | 180 |
| Average | 121.18 |
| Standard Error | 25.72 |

3.2 휴대용 영상 획득 장치 제작

소 도체의 등급판정을 위한 절개 부위 높이는 매우 좁아서 영상 획득 장치의 외형 크기는 절개 부위에 수월한 삽입이 가능한 크기로 제작되어야 한다. Fig. 6은 본 연구에서 개발된 영상 획득 장치로 품질 판정사가 단독으로 측정하고 휴대할 수 있도록 소형 및 경량으로 제작되었으며, 제원은 Table 2와 같다.

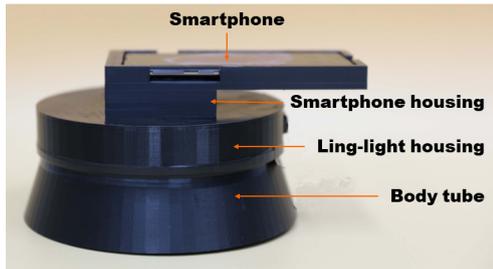


Fig. 6. Image acquisition device developed in this study

개발된 영상 획득 장치의 무게는 스마트폰을 포함하여 약 650 g이며 경통과 각 하우징 등을 포함한 모든 자재의 색상은 등심 부위에서 반사되는 빛이 재반사되지 않도록 무채색의 흑색으로 제작되었다. 절개 부위의 협소한 공간에 수월하게 삽입하여 영상을 획득할 수 있도록 경통 바닥면에서부터 원형 광원 하우징까지의 높이는 85.1 mm로, 스마트폰까지의 높이는 116.4 mm로 제작되었다. 또한 경통은 등심 단면의 시야각을 최대한 확보하기 위해 절개 부위의 접촉 부분인 하부 직경($\varnothing=186$ mm)이 상부 직경($\varnothing=169.6$ mm)보다 확장되어 제작되었다. 이때 확보된 등심 단면의 시야각은 175.8 °이다.

선행연구에서 480x150x330 mm의 크기와 2,600 g의 중량으로 제작된 영상 측정장치를 사용하였으며, 본 연구에서 제안한 영상 획득 장치는 175.8x175.8x116.4 mm의 크기와 650 g의 중량으로 제작되어 육체적 노동 절감과 우수한 현장 적용성을 기대할 수 있을 것으로 판단

된다[6].

Table 2. Image acquisition device specification

| Item | Specification |
|--------------------------|--|
| Size | 175.8×175.8×116.4 mm |
| Height of insertion part | 85.1 mm |
| Weight | 650 g |
| Color | Black |
| Diameter | Upper diameter: 169.6 mm Low diameter: 186 mm |
| FOV | 175.8 mm |

3.3 등심 판정 부위 영상 획득 및 보정

소 도체의 좁은 절개 부위에서 넓은 시야각을 확보하기 위해 사용된 어안렌즈는 카메라에 입력되는 영상에 방사 왜곡을 발생시키고, 이를 바로잡기 위해 카메라 캘리브레이션 기법을 사용하였다. 어안렌즈가 장착된 영상 획득 장치를 이용하여 다양한 각도와 거리에서 체커보드 영상 30장을 획득하였다.

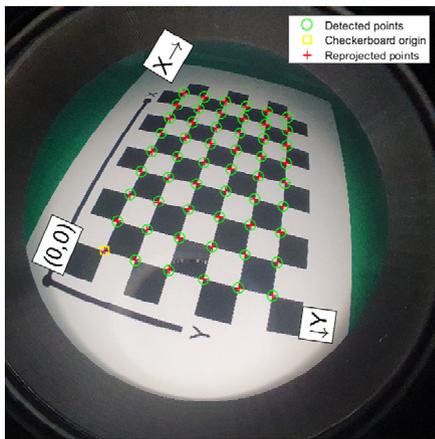
획득된 30장의 영상에 대해 카메라 외부 매개변수인 회전 및 평행이동 벡터를 구하였고, 이를 이용하여 카메라 내부 매개변수인 다항식 매핑 계수와 왜곡 중심, 스트레치 행렬을 Table 3과 같이 구하였다.

Table 3. Camera intrinsic parameters

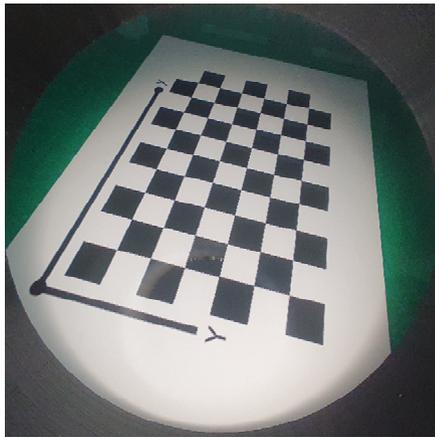
| Parameters | Values |
|----------------------|---|
| Mapping coefficients | $[1.551 \times 10^3, -1.299 \times 10^{-4}, -2437 \times 10^{-10}, -2.919 \times 10^{-11}]$ |
| Distortion center | $[1.407 \times 10^3, 1.507 \times 10^3]$ |
| Stretch matrix | $[1, 0, 0, 1]$ |

Fig. 7은 계산된 내부 매개변수를 이용한 왜곡 보정 결과이다. 노란색 원은 체커보드의 기준점을, 녹색 원은 검출된 꼭짓점을, 빨간색 십자 표시는 재투영된 포인트를 나타낸다.

Table 4는 30개 영상에 대해 각각 검출된 꼭짓점과 재투영된 포인트 간의 오차를 구한 픽셀 평균값으로 각 영상에서 발생한 가장 큰 오차는 1.719 pixels, 가장 작은 오차는 0.3535 pixels를 나타냈으며, 30개 영상에 대한 평균 오차는 1.074 pixels로 높은 보정 결과를 나타냈다.



(a)



(b)

Fig. 7. Distortion compensation result of checker board image using camera parameter (a) before compensation (b) after compensation

Table 4. Mean reprojection error per image

| No. | Mean error (pixels) | No. | Mean error (pixels) | No. | Mean error (pixels) |
|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|
| 1 | 1.369 | 11 | 0.7611 | 21 | 0.8643 |
| 2 | 0.7665 | 12 | 0.8523 | 22 | 0.6665 |
| 3 | 1.019 | 13 | 1.138 | 23 | 0.9119 |
| 4 | 0.3535 | 14 | 0.8503 | 24 | 1.028 |
| 5 | 1.41 | 15 | 1.565 | 25 | 1.192 |
| 6 | 1.553 | 16 | 1.463 | 26 | 1.029 |
| 7 | 1.087 | 17 | 1.264 | 27 | 0.9844 |
| 8 | 1.529 | 18 | 1.191 | 28 | 0.9808 |
| 9 | 1.719 | 19 | 1.276 | 29 | 0.5256 |
| 10 | 1.336 | 20 | 0.9418 | 30 | 0.5944 |

3.4 소 도체 등심 판정 부위 영상 측정

제작된 영상 획득 장치를 이용하여 한우 286두에 대해 영상 측정 가능 여부를 확인해본 결과, 256두에 대해서는 절개된 상태 그대로 측정할 수 있었고, 22두는 인력으로 절개 부위를 확장하였을 때 측정할 수 있었으며, 8두는 측정 불가능하였다.

Fig. 8은 장치를 통해 획득된 영상에 대해 카메라 매개변수를 활용하여 왜곡을 보정한 영상의 예시이다. Fig. 8a의 노란 점선으로 표시된 바깥쪽 점선들은 Fig. 8b와 같이 방사 왜곡을 보정하면 바깥쪽 점선들이 넓게 펼쳐진 형태로 영상이 보정된 것을 확인할 수 있었다.



(a)

(b)

Fig. 8. Distortion compensation result of incised grading part images using camera parameter (a) before compensation (b) after compensation

4. 결론

본 연구는 소 도체 등급판정 부위의 영상을 획득하기 위해 좁은 절개 부위에 삽입될 수 있도록 소형 및 경량화

된 영상 획득 시험 장치를 개발하였다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 영상 획득 장치의 높이를 결정하기 위해 소 228두를 조사한 절개 부위 깊이를 고려하였고, 경량화를 위해 전체적인 하우징 및 프레임은 PLA 재질로 제작하였다. 제작된 영상 획득 장치는 경통의 바닥면부터 원형 광원의 하우징까지 80 mm, 스마트폰 하우징까지 105 mm로 설계되었으며, 어안렌즈로 넓은 시야각을 확보하여 원형 광원 하우징까지의 삽입으로 충분히 영상을 획득할 수 있었다. 결과적으로 286두에 대해 영상 측정을 위한 장치 삽입 여부를 확인해본 결과, 256두에 대해서는 충분한 장치의 삽입이 가능하였고, 22두는 인력으로 절개 부위를 좀 더 벌려주었을 때 측정이 가능하였으며, 8두는 측정할 수 없었다. 본 논문에서 제안한 영상 획득 장치를 이용한 쇠고기 영상 획득은 관행 등급판정 방식인 육안 평가에서 발생하는 시각적 피로도와 주관적인 판단을 보완할 수 있으며, 장치의 소형화 및 경량화를 통해 육체적 노동을 감소할 수 있을 것으로 판단한다.
- (2) 어안렌즈를 이용하여 획득한 영상은 방사 왜곡이 발생해 이에 대한 보정이 필요하였다. 본 연구에서는 체커보드를 이용하여 방사 왜곡 보정에 필요한 매개변수를 구하였고, 보정 결과 30개 영상에 대한 평균 보정 오차는 1.074 pixels로 높은 재현성을 나타냈다.
- (3) 본 연구에서는 소 도체의 등급판정을 위해 휴대와 편리성이 뛰어난 스마트폰 기반의 영상 획득 장치를 개발하여 국내 도축장 환경 및 도축되는 소 도체의 여건에 적합하게 하였다. 또한 스마트폰의 활용으로 영상 데이터의 접근 및 상호 호환성을 높이고자 하였다. 이러한 스마트폰의 장점을 이용하여 다양한 도체에 대한 데이터뱅크 구축과 이를 이용한 애플리케이션 개발 및 적용 기술에 관한 연구가 지속해서 필요할 것으로 생각한다. 또한, 최근 대두되고 있는 딥러닝 기술을 포함한 인공지능 기술 등을 접목하여 쇠고기 등급판정 방식인 육안 평가를 대체할 수 있는 자동 알고리즘 개발이 필요할 것으로 생각한다.

References

- [1] J. H. Lee, S. M. Shin, S. J. Lee, J. B. Kim, "The Changes of Carcass Grading System for Cattle in Korea", *Annals of Animal Resource Sciences*, Vol.17, pp.54-64, 2006.
- [2] D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley, M. S. Backs, "Vergence-Accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue", *Journal of Vision*, Vol.8, No3, pp.1-30, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1167/8.3.33>
- [3] J. Tan, "Meat Quality Evaluation by Computer Vision", *Journal of Food Engineering*, Vol.61, No.1, pp.27-35, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(03\)00185-7](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(03)00185-7)
- [4] C. Zheng, D. W. Sun, L. Zheng, "Correlating Colour to Moisture Content of Large Cooked Beef Joints by Computer Vision", *Journal of Food Engineering*, Vol.77, No.4, pp.858-863, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2005.08.013>
- [5] K. Chen, X. Sun, Ch. Qin, X. Tang, "Color Grading of Beef Fat by using Computer Vision and Support Vector Machine", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.70, No.1, pp.27-32, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.006>
- [6] S. M. Stewart, G. E. Gardner, A. Williams, D. W. Pethick, P. McGilchrist, K. Kuchida, "Association Between Visual Marbling Score and Chemical Intramuscular Fat with Camera Marbling Percentage in Australian Beef Carcasses", *Meat Science*, 108369, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108369>
- [7] L. Ballerini, A. Hogberg, G. Borgefors, A. C. Bylund, A. Lindgard, K. Lundstrom, O. Rakotonirainy, B. Soussi, "Testing MRI and Image Analysis Techniques for Fat Quantification in Meat Science", *IEEE*, Vol.3, No18, pp136-140, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1109/nssmic.2000.949254>
- [8] L. B. Christensen, C. Borggaard, "Challenges in The Approval of CT as Future Reference for Grading of Farmed Animals", *51st International Congress of Meat Science and Technology*, Baltimore, USA 2005.
- [9] B. Pang, X. Sun, D. Liu, K. Chen, "Beef Marbling Image Segmentation Based on Homomorphic Filtering", *Journal of Multimedia*, Vol.9, No.2, pp.189-195, 2014.
- [10] Z. Xiong, D. W. Sun, X. A. Zeng, A. Xie, "Recent developments of hyperspectral imaging systems and their applications in Detecting Quality Attributes of Red Meat: A Review", *Journal of Food Engineering*, Vol.132, pp.1-13, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2014.02.004>
- [11] M. Werner, M. Kessel, C. Marouane, "Indoor Positioning using Smartphone Camera", *in Proceedings of the International Conference on*

Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN '11),
IEEE, pp.1-6, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1109/ipin.2011.6071954>

- [12] P. Thanakiatkrai, A. Yaodam, T. Kitpivit, "Age Estimation of Bloodstains using Smartphones and digital Image Analysis", *Forensic Science International*, Vol.233, No.1-3, pp.288-297, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.09.027>
- [13] A. Aquino, M. P. Diago, B. Millan, J. Tardaguila, "A New Methodology for Estimating The grapevineberry Number Per Cluster using Image Analysis", *Biosystems Engineering*, Vol.156, pp.80-95, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.12.011>
- [14] F. Zhou, Y. Cui, H. Gao, Y. Wang, "Line-based Camera Calibration with Lens Distortion Correction from a Single Image", *Optics and Laser in Engineering*, Vol.51, No.12, pp.1332-1343, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.05.010>
- [15] R. Q. Wu, J. Liu, W. Chen, Q. S. Gu, "Adaptive Wide-Lens Distortion Correction Based on Piecewise polynomial Optimization", *Procedia Computer Science*, Vol.154, pp.573-580, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.procs.2019.06.091>
- [16] S. Urban, J. Leitloff, S. Hinz, "Improved Wide-Angle, Fisheye and Omnidirectional Camera Calibration", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.108, pp.72-79, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.isprsjprs.2015.06.005>

유 현 채(Hyeon-Chae Yoo)

[정회원]



- 2019년 2월 : 전북대학교 생물산업기계공학과 (공학사)
- 2021년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 연구원

〈관심분야〉

농업, 영상처리, 품질계측

임 종 국(Jong-Guk Lim)

[정회원]



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

〈관심분야〉

근적외선 분광, 농업기계, 품질계측

이 아 영(Ah-Yeong Lee)

[정회원]



- 2017년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학사)
- 2019년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

〈관심분야〉

분광분석, 영상처리

김 밝 금(Bal-Geum Kim)

[정회원]



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

〈관심분야〉

농업, 기계, 품질계측

서 영 옥(Young-Wook Seo)

[정회원]



- 1999년 8월 : 경북대학교 농업기계공학과 (공학사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

농업, 기계, 품질계측

김 성 민(Seong-Min Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 농공학과 (농학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 농공학과 (농학석사)
- 1995년 12월 : University of California, Dept. of Biological & Agricultural Engineering (공학박사)

• 1998년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 생물산업기계공학과 교수

<관심분야>

농업, 영상분석, 비파괴 계측