Korean Journal Of Agricultural Science

pISSN : 2466-2402
eISSN : 2466-2410

ENGINEERING

Determination of electrical and geometric properties of brown eggs

Sung Yong Joe[1], Jun Hwi So[2], Seon Ho Hwang[2], Soon Jung Hong[3], Seung Hyun Lee[1,2,*]

[1]Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

[2]Department of Smart Agriculture Systems, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

[3]Department of Liberal Arts, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

*Corresponding author: seunglee2@cnu.ac.kr

Abstract

Eggs are considered an excellent complete food because they contain many major energy sources, including protein. Eggs are one of the most widely consumed foods worldwide, and egg consumption is steadily increasing. Eggs are generally classified according to their quality and weight. Various characteristics of eggs must be considered for the design and effective utilization of equipment used for the transport, processing, packaging, and storage of eggs. In this study, egg surface area, volume, density, etc. were measured according to the grade of the egg. The values of several geometrical properties that were measured tended to increase with increasing egg grade. The smallest grade eggs had the lowest shell thickness and density. The electrical conductivity of the eggshell and its contents was measured with a self-made electrode and equipment. The egg shell showed properties similar to insulators, and as the thickness increased, the electrical conductivity tended to increase. The electrical conductivity of the egg yolk showed almost constant values under all conditions. The electrical conductivity of the egg white and mixture was particularly low at 0.1 kHz. Fouling and electrode corrosion occurred in a low frequency region due to the egg white. In this study, various geometric and electrical characteristics of eggs were measured, and based on this, factors that could serve as new indicators for egg processed production were analyzed and investigated.

Key words: electrical conductivity, frequency, geometric properties, shell thickness

Check for updates

OPEN ACCESS

Citation: Joe SY, So JH, Hwang SH, Hong SJ, Lee SH. Determination of electrical and geometric properties of brown eggs. Korean Journal of Agricultural Science 49:857-869. https://doi.org/10.7744/kjoas.20220078

Received: October 13, 2022

Revised: November 11, 2022

Accepted: November 14, 2022

Copyright: © 2022 Korean Journal of Agrcultural Science

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http: //creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

계란은 양질의 단백질이 풍부할 뿐 아니라 비타민 무기질 필수 아미노산 등 각종 영양 성분을 포함하고 있어 훌륭한 완전식품으로 불리고 있다(Kim et al., 2015). 높은 영양성분 대비 낮은 열량 및 높은 소화 흡수율과 더불어 저렴한 가격으로 인해 2015년부터 2019년까지 농축산물 생산액 상위 10대 품목에 속하였다. 통계청에 따르면 우리나라의 1인당 연간 계란 소비량은 2000년 기준 180개에서 2019년 272개로 매년 꾸준히 증가하고 있으며, 향후 300개를 넘어갈 것으로 전망되고 있다(Ju, 2021). 우리나라 1일 계란 생산량은 2020년 3분기 기준으로 약 4,638만 란이며, 계란을 찾는 소비자의 수요를 충족시키기 위하여 매년 생산량 또한 지속적으로 증가하고 있다. 현재 국내에서는 소비자들에게 계란의 안전성에 대한 지표 제공 및 가

격 차별화를 목적으로 계란 등급 제도가 시행되고 있다(Kim and Ji, 2021). 일반적으로 계란은 품질과 무게에 의한 두 가지 등급으로 구분된다(Kim and Bok, 2000). 품질에 의한 등급 판정은 신선도와 내용물의 상태에 따라 1+등급, 1등급, 2등급, 3등급으로 구분하고, 무게에 의해서는 왕란(68 g이상), 특란(68 - 60 g), 대란(60 - 52 g), 중란(52 - 44 g), 소란(44 g 미만)으로 5종류의 중량 규격으로 구분되고 있다. 계란의 운송, 가공, 포장 및 보관에 사용되는 장비의 설계 및 효과적인 활용을 위해서는 계란이 가지고 있는 여러 특성들이 필수적으로 고려되어야 한다. 계란은 산란 후로부터 시간이 경과함에 따라 기실이 발달하여 매일 조금씩 비중이 감소/축소되며 오래 될수록 비중이 저하되므로 비중은 신선도의 평가 기준이 된다(Freni et al., 2018). 계란 껍질의 두께는 포장 단계에서 중요한 품질 요인이며, 계란 껍질의 품질은 계란의 크기와 무게에 따라 달라진다. 또한 계란 모양 지수와 껍질 두께는 취급 및 운송 중 손상된 계란의 비율에 영향을 미치며, 난각질 불량은 경제적인 손실을 유발하는 하나의 큰 요인으로 작용하게 된다(Anderson et al., 2004). 우리나라의 경우 매년 계란 생산량의 약 10% 이상이 산란에서 소비자에 이르는 과정에서 파란되어 없어진다고 추정된다. 난각의 두께가 0.38 - 0.40 mm이면 2% 이하의 파란율을 보이지만 0.3 - 0.32 mm의 난각 두께에서는 10% 정도로 파란율이 급격히 증가한다(Yoon, 1998). 계란의 생산부터 소비에 이르기까지 적용되는 여러 장비들의 효과적인 활용을 위해서는 더욱 다양한 지표들이 필요하며 계란의 모양, 크기, 기하학적 평균직경, 투영 면적, 구형도, 질량, 부피 등 다양한 물리적 특성들이 포함될 수 있다(Van der Plancken et al., 2006). 우리나라는 원란 형태의 계란 소비가 주를 이루었지만, 최근 계란을 활용한 다양한 제품의 소비가 증가하면서 가공란의 소비가 증가하고 있다. 유럽, 미국과 같은 선진국의 경우 가공란의 수요는 과거에 비해 매우 높아져 계란 전체 생산량의 약 30 - 40% 정도를 난백, 난황 등과 같은 가공란의 형태로 제조하여 공급되고 있다(Lee and Lee, 2015). 가공란은 식품 원료, 의약품, 화장품 및 건강식품과 같은 다양한 분야에서 소비되고 있으며, 가공란 생산에는 직접 가열, 마이크로웨이브, 줄 히팅 등 다양한 방식이 사용되고 있다(Yu, 1990). 난황, 난백, 난각의 전기적 특성은 다양한 가공품 생산 및 효율적인 가공 방식의 개발에 대한 새로운 지표가 될 수 있다. 본 연구에서는 계란의 다양한 기하학적 특성 및 전기적 특성을 측정하였으며, 이를 기반으로 계란의 생산, 포장, 유통, 소비 전 과정에 걸쳐 사용되는 기술 및 장비 활용에 새로운 지표가 될 수 있는 요소들을 분석하고 조사하였다.

Material and Methods

실험 재료

본 연구에는 갈색란이 사용되었으며, 중량 등급에 따라 소란(small), 중란(medium), 대란(large), 특란(extra large), 왕란(jumbo)으로 분류하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 모든 계란은 대전 노은동 농수산시장 식자재 마트에서 구매하였으며, 구매한 시료는 냉장 온도 4℃에서 최대 3일 간 보관하며 실험재료로 사용하였다. 실험 수행 전 이물질이 제거되지 않은 계란을 헝겊이나 티슈로 이물질을 제거하였다. 물리적, 기하학적 특성 측정에는 모든 중량 등급의 계란이 사용되었으며, 전기적 특성 측정에는 대란만이 사용되었다(Fig. 1).

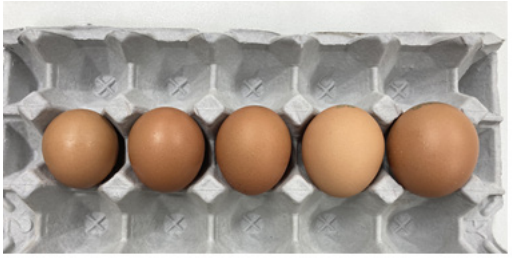

Fig. 1. Eggs by weight grade.

기하학적 특성 측정 방법

계란의 중량을 측정하기 위해 전자저울(Pag2102c, Ohaus, Newark, USA)이 사용되었으며, 소수점 둘째자리까지 측정이 가능하였다. 타원형 구조의 계란은 저울 위에 보조 장치 없이 고정시키기 어렵기에 Fig. 2와 같이 3D 프린터로 자체 제작한 계란 받침대를 사용하여 계란을 고정하였다. 전자 저울은 평지에 설치되었으며, 계란 받침대의 무게가 제외되도록 영점 조절 후 무게 측정 실험을 실시하였다.

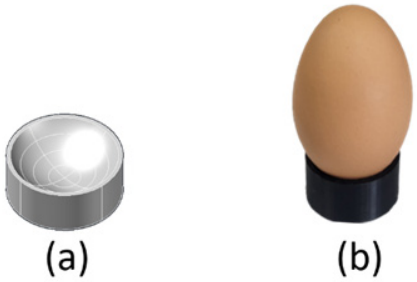

Fig. 2. Production of egg stands. (a) 3D modeling of egg stand, (b) practical use of egg stand.

계란의 단경, 장경 및 껍질의 두께를 측정하기 위하여 Fig. 3의 디지털 버니어 캘리퍼스(cd-s15c, Mitutoyo Co., Kawasaki, Japan)가 사용되었다. 사용된 디지털 버니어 캘리퍼스는 소수점 둘째자리까지 측정이 가능하였다.

단경과 장경은 계란의 가로축과 세로축에서 가장 큰 둘레가 나타나는 지점을 측정하였으며, Fig. 4에 표시된 a, b 지점을 측정하였다. 측정 기준점과 측정은 작업자 및 환경에 의해 달라질 수 있으므로, 정확한 측정을 위하여 3반복 수행되었으며 측정값은 소수점 둘째자리까지 기록되었다.

각 계란에 대한 무게, 장경, 단경 측정을 마친 후에 계란을 깨트려 난황, 난백, 난각막을 모두 제거한 뒤 껍질 두께를 측정하였다. 껍질 두께는 사용된 모든 계란에 대해 단경이 측정된 지점을 깨뜨린 후, 디지털 버니어 캘리퍼스를 사용하여 3반복 측정하였다(Fig. 5).

Fig. 3. Digital vernier calipers.

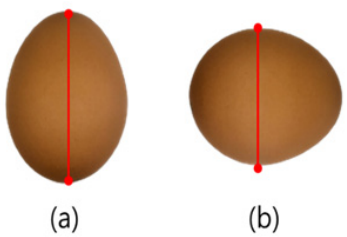

Fig. 4. Egg length measurement point. (a) Long view, (b) short view.

Fig. 5. Break point for shell thickness measurement.

계란 등급별 120개의 무게, 길이, 두께를 측정한 후 기하평균직경, 체적, 투영 면적, 표면적, 밀도는 다음과 같은 식으로 계산되었다(Polat et al., 2007; Altuntaş and Şekeroğlu, 2008; Narushin et al., 2020).

$$D_g = \sqrt[3]{LB^2} \tag{1}$$

$$V = \frac{\pi LB^2}{6} \tag{2}$$

$$A = \frac{\pi}{4} LB \tag{3}$$

$$S = \pi D_g^2 \tag{4}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{5}$$

여기서 D_g는 기하평균직경(m), V는 체적(m^3), A는 계란의 투영 면적(m^2), S는 껍질의 표면적(m^2), ρ는 밀도($kg \cdot m^{-3}$)를 나타내며, L은 장경(m), B는 단경(m), m은 질량(kg)을 나타낸다.

전기적 특성 측정 방법

계란의 형태는 보통 타원형으로 설명되지만 둥근 부분과 뾰족한 부분으로 구별할 수 있으며, 둥근 부분에는 난백과 껍질 사이의 비어있는 공간을 뜻하는 기실이 존재한다. 껍질의 전기전도율 측정을 위해 계란의 난황, 난백, 난각막을 모두 제거한 후 둥근 부분을 Fig. 6과 같이 높이 0.01 m, 직경 0.03 m로 절단하였다. 총 30개의 껍질에 대한 전기 전도율이 측정되었으며, 매 측정마다 다른 크기의 전압이 인가되었다. 실험에는 600 V에서 900 V 사이의 전압을 사용하였다. 디지털 버니어 캘리퍼스를 이용하여 절단된 껍질의 두께를 측정한 후, 스테인리스 스틸(SUS 316)로 자체 제작된 전극(Fig. 7)을 사용하여 전기전도율을 측정하였다. 측정된 데이터로 계란 껍질의 전기적 특성 분석을 위해 다음의 식을 사용하였다(Castro et al., 2004; Poojitha and Athmaselvi, 2018; Banti, 2020).

$$\sigma = \frac{I}{V} \cdot \frac{L}{A} \tag{6}$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \tag{7}$$

Fig. 6. Cutaway for measurement of shell electrical conductivity.

Fig. 7. Measurement of the electrical conductivity of eggshells. (a) Shape of electrode, (b) electrical conductivity measurement method.

여기서 σ는 전기전도율($S \cdot m^{-1}$), ρ는 비저항(Ωm)을 나타내며, I는 전류(A), V는 인가 전압(V), L은 전극 사이의 거리(m), A는 전극과 샘플의 접촉 면적(m^2)을 나타낸다. 면적의 경우 3D 모델링 툴을 이용하여 구하였으며, 계란 껍질이 Fig. 7의 전극에 맞닿는 부분이 0.001407 m^2 이었다. 모든 식에 대하여 동일한 면적 값으로 계산하였다.

계란 내용물의 전기전도율 측정을 위해 난황과 난백을 분리한 후, 식품 등급 스테인리스 스틸(SUS 316) 전극(직경 0.02 m)과 테플론(Teflon, [PTFE])으로 구성된 측정 셀(직경 0.02 m, 높이 0.01 m)에 투입되었다. 측정 셀 중앙의 작은 구멍을 통해 시료의 중앙에 열전대(K-type KK-K-30, Omega Engineering Inc., Stamford, CT, USA)를 삽입하여 온도를 측정하였다. 난황, 난백, 난황 및 난백의 혼합의 조건에서 주파수 변화에 따른 전기 전도율을 측정하였으며, 모든 조건에서 25 V의 동일한 전압을 공급하였다. 실험은 주파수 조건에 따라 3회씩 반복 수행되었다. 혼합 샘플 제작에는 Magnetic stirrer (Cimarec+, Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA)를 사용하여 3분 이상 섞어 난황과 난백을 균질하게 만들어 주었다. 계란 내용물의 전기전도율은 식(6)의 전도율 공식을 사용하여 계산하였다. 시료의 초기 내부 온도는 15℃에서 19℃까지로 차이가 크게 나타났으며, 이에 따라 20℃의 전기전도율을 초기 기준 값으로 정하였다. 전기전도율 측정 중 일정 온도 이상에 도달하게 되면 단백질 변성이 발생하면서 전기전도율이 일정하게 측정되었기 때문에 80℃까지 측정된 전류 및 전압 값을 사용하였다.

전기전도율을 측정하기 위한 장비는 Fig. 8과 같이 구성되어 있으며, 자체 제작된 IGBT (insulated gate bipolar transistor)모듈과 Function generator (33220A0, Agilent technologies, Santa Clara, USA), DC power supply (EX300-12, ODA technology, Incheon, Korea)으로 이루어져 있다. DC power supply를 통해 IGBT에 인가된 전압을 Function generator를 사용하여 조정 가능한 전압(최대 1,000 V 및 12 A), 주파수(최대 20 kHz) 및 듀티 사이클 조작되어 펄스 구형파의 형태로 저항체에 출력될 수 있도록 설계되었다. 공급되는 전압은 Differential probe (PR-60, BK Precision, Yorba Linda, CA, USA)으로 측정되었고, 샘플에 흐르는 전류는 Wideband Current Monitor (169820, Pearson Electronics, Palo Alto, CA, USA)로 측정하였다. 온도(℃)와 처리 전압(V)과 전류(A) 데이터는 PC가 연결된Data logger (34970A, Agilent technologies, USA)로 수집하였다.

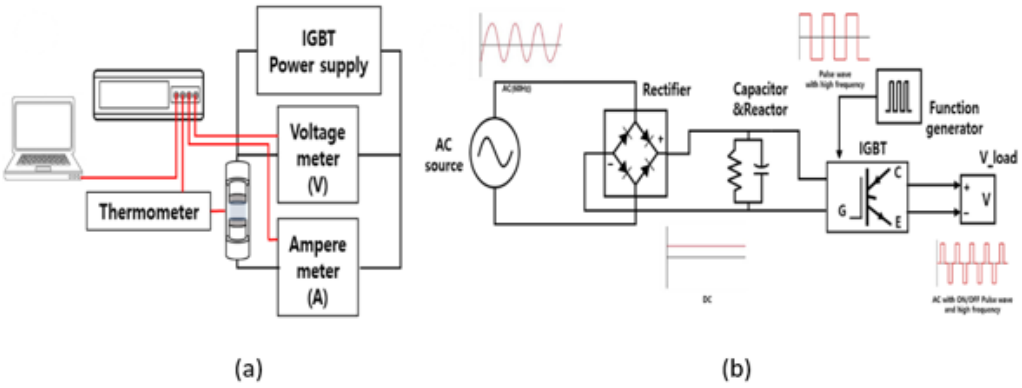

Fig. 8. Electrical conductivity measuring equipment. (a) Electrical conductivity measurement system schematic diagram, (b) insulated gate bipolar transistor (IGBT) power supply configuration.

Results and Discussion

계란의 기하학적 특성

각 등급별 계란 120개에 대하여 장경 및 단경 길이를 측정하여 평균값을 계산하였으며 결과는 다음 Fig. 9와 같다. 계란의 평균 장경과 단경은 등급 순서대로 증가하였다. 소란의 경우가 무게뿐 아니라 장경 단경 또한 모든 등급 중 가장 낮았으며, 왕란의 경우가 역시 모든 등급 중에서 장경과 단경의 평균 길이가 가장 긴 것으로 나타났다.

Fig. 10은 등급별 계란에 대한 껍질 두께를 나타낸다. 소란의 평균 껍질 두께는 0.36 ± 0.01 mm, 중란은 0.40 ± 0.02 mm, 대란은 0.41 ± 0.02 mm, 특란은 0.40 ± 0.02 mm, 왕란은 0.40 ± 0.02 mm로 측정되었다. 소란을 제외한 나머지 등급들에서는 껍질 두께가 큰 차이를 보이지 않았다. 껍질 두께를 비교하였을 때, 두께가 특히 얇은 소란의 파란율이 다른 등급들에 비해 높을 것으로 판단된다.

Fig. 11의 a는 계란의 표면적을 나타내며, 소란의 경우 483.08 ± 230.39 mm^2, 중란은 6,299.10 ± 166.50 mm^2, 대란은 6,843.04 ± 182.58 mm^2, 특란은 7,350.34 ± 188.86 mm^2, 왕란은 7,805.23 ± 267.19 mm^2로 측정되었다. Fig. 11의 b는 계란의 체적을 나타내며, 소란의 경우38,202.93 ± 2,401.03 mm^3, 중란은 47,022.37 ± 1,851.96 mm^3, 대란은 59,242.21 ± 2,301.28 mm^3, 특란은 59,270.83 ± 2,289.20 mm^3, 왕란은 6,486,917 ± 3,416.98 mm^3이었다. Fig. 11c는 등급별 기하평균직경 나타내며, 소란의 경우 41.76 ± 0.88 mm, 중란은 44.77 ± 0.59 mm, 대란은 46.66 ± 0.62 mm, 특란은 48.36 ± 0.62 mm, 왕란은49.83 ± 0.83 mm으로 측정되었다. Fig. 11d는 등급별 투영 면적을 나타내며 소란의 평균투영면적은 1,501.60 ± 72.03 mm^2, 중란은 1,704.32 ± 45.93 mm^2, 대란은 1,857.89 ± 54.67 mm^2, 특란은 2,006.20 ± 59.16 mm^2, 왕란은 2,112.98 ± 67.68 mm^2이었다. Fig. 11에 나타난 특성들은 Fig. 9에 나타난 장경, 단경의 특성과 마찬가지로 계란의 등급이 상승할수록 수치가 커짐을 알 수 있다.

Fig. 12는 등급별 계란의 평균 밀도를 보여준다. 밀도 또한 등급의 상승과 함께 수치가 증가하는 경향이 나타났다. 하지만 소란의 경우에 특히 낮은 밀도가 관측되었으며, 특란과 왕란의 밀도 차이는 다른 등급의 차이에 비해 크지 않았다. 소란의 얇은 껍질 두께와 낮은 밀도로 인해, 운송 및 가공 시 다른 등급의 계란에 비해 더욱 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

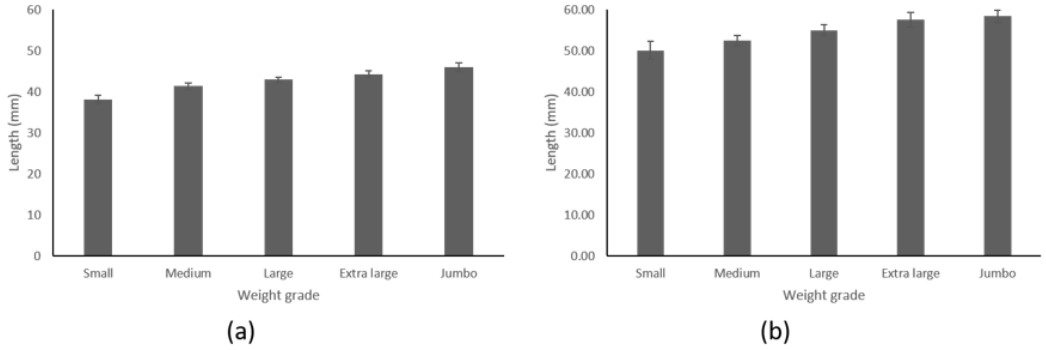

Fig. 9. The length of the long and short axis of the egg. (a) Short view, (b) long view.

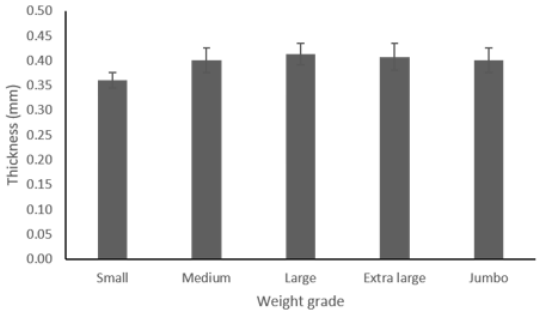

Fig. 10. Shell thickness by weight class of eggs.

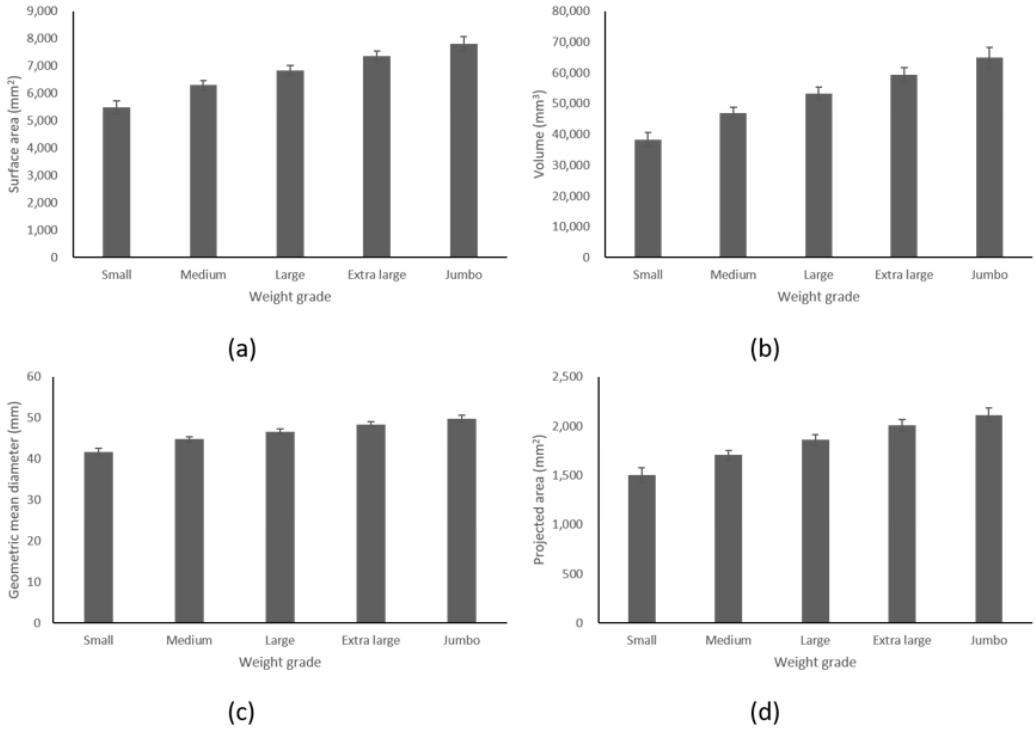

Fig. 11. Geometric properties of eggs. (a) Surface area, (b) volume, (c) geometric mean diameter, (d) projected area.

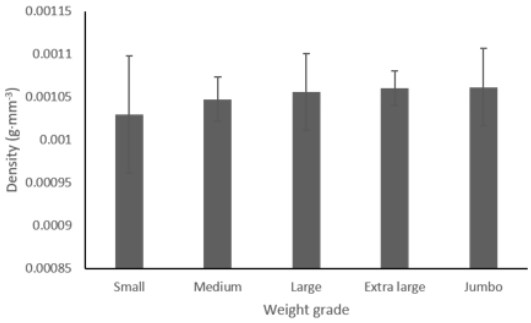

Fig. 12. Density of eggs by weight grade.

계란의 전기적 특성

전압 상승에 따라 측정된 계란 껍질의 전기 전도율을 Fig. 13에 나타내었다. 전류의 세기는 공급되는 전압이 상승함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보여주었다. 하지만 전압 및 전류의 상승과는 다르게 전도율과 비저항의 수치는 유의한 차이가 나타나지 않았다. Fig. 14는 두께에 따른 전기적 특성 비교 결과를 나타낸다. 계란 껍질 두께는 0.32 mm부터 0.45 mm까지 다양했으며, 두께가 두꺼워질수록 비저항이 낮아지고 전도율이 증가하는 경향이 관측되었다. 하지만 각각의 전류 변화 및 저항 값을 비교하였을 때, 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 온도가 증가할수록 전도율이 높아지는 현상에 의한 것으로 판단되며, 즉 껍질의 두께가 두꺼워질수록 전기 공급에 의해 온도 상승이 유리한 것으로 사료된다.

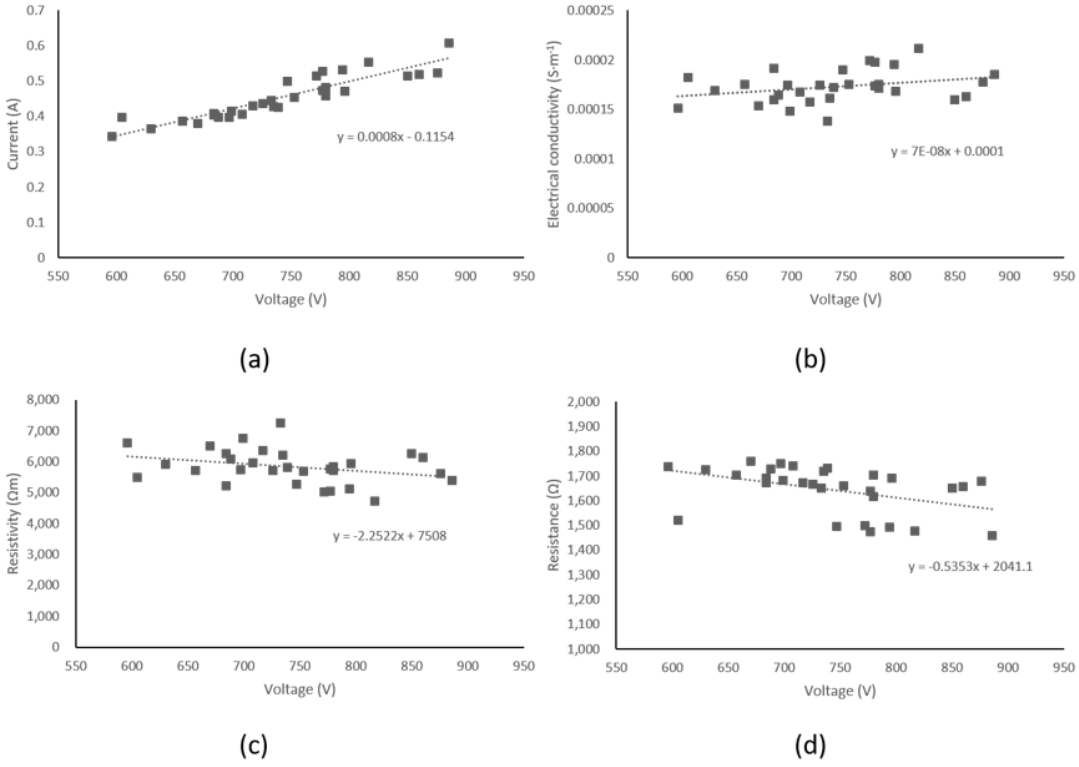

Fig. 13. Electrical properties of eggshells as a function of voltage. (a) Current (A), (b) electrical conductivity ($S \cdot m^{-1}$), (c) resistivity (Ωm), (d) resistance (Ω).

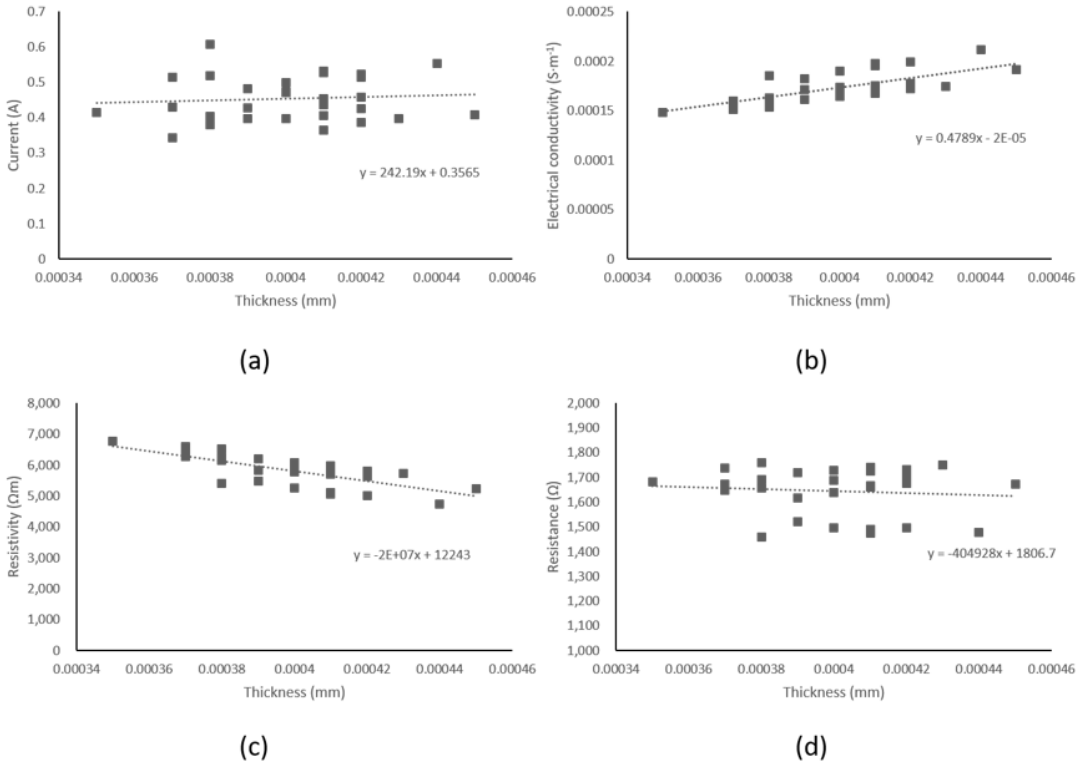

Fig. 14. Electrical properties of eggshells as a function of thickness. (a) Current (A), (b) electrical conductivity ($S \cdot m^{-1}$), (c) resistivity (Ωm), (d) resistance (Ω).

난황, 난백, 혼합 조건에서 계란 내용물의 전기 전도율을 측정하여 Fig. 15 및 Table 1에 나타내었다. 0.1 kHz 주파수에서 난백 및 혼합 조건의 전기 전도율은 선형성을 띄지 않기에 2차 함수식으로 표현하였으며, 이를 제외한 나머지 조건에서의 전기 전도율은 1차 함수식으로 표현하였다. 난황의 경우 모든 주파수에서 거의 동일한 전기 전도율이 관측되었다. 모든 실험 조건에서 난황이 80°C까지 도달하는데 걸린 시간은 대략 120초였으며, 전극의 부식이 일어나지 않았다(Fig. 16a). 난백의 경우 80°C까지 도달하는데 걸린 시간은 난황보다 약 40초 가량 빠르게 측정되었다. 난백의 전기 전도율은 10 kHz 이상의 주파수에서 보다 가파르고 높은 전기 전도율을 나타내었다. 하지만 0.1 kHz주파수에서는 초기부터 특히 낮은 전도율이 측정되었으며, 50°C후로 전도율이 다시 낮아지는 현상이 관측되었다. 또한 0.1 kHz에서 난백의 전기 전도율 측정 후 파울링 현상 및 전극의 부식이 발생하였다(Fig. 16b). 혼합의 경우 80°C까지 도달하는데 걸린 시간은 대략 80초로 난백과 비슷하였으며, 0.1 kHz 주파수에서 40°C 이후로 전기 전도율 상승률이 감소하는 경향을 나타내었다. 혼합 조건 또한 난백 실험 결과와 마찬가지로 전극의 부식을 야기했지만, 파울링 현상은 난백보다 감소하였다. 전극의 부식 및 파울링 현상은 0.1 kHz 주파수의 난백과 혼합 조건에서만 관찰되었으며, 따라서 주로 난백의 구성성분에 의해 발생되는 것으로 판단된다. 0.1 kHz 주파수에서 80°C까지 걸리는데 소요된 시간은 다른 주파수 대역과 동일 하였으나, 파울링 및 전극의 부식에 의해 전기 전도율 상승폭이 감소하여 식품이 불완전하게 가공되었을 것으로 사료된다. 따라서 계란 가공 시 보다 높은 주파수를 사용한 방식의 적용이 적절한 것으로 판단된다.

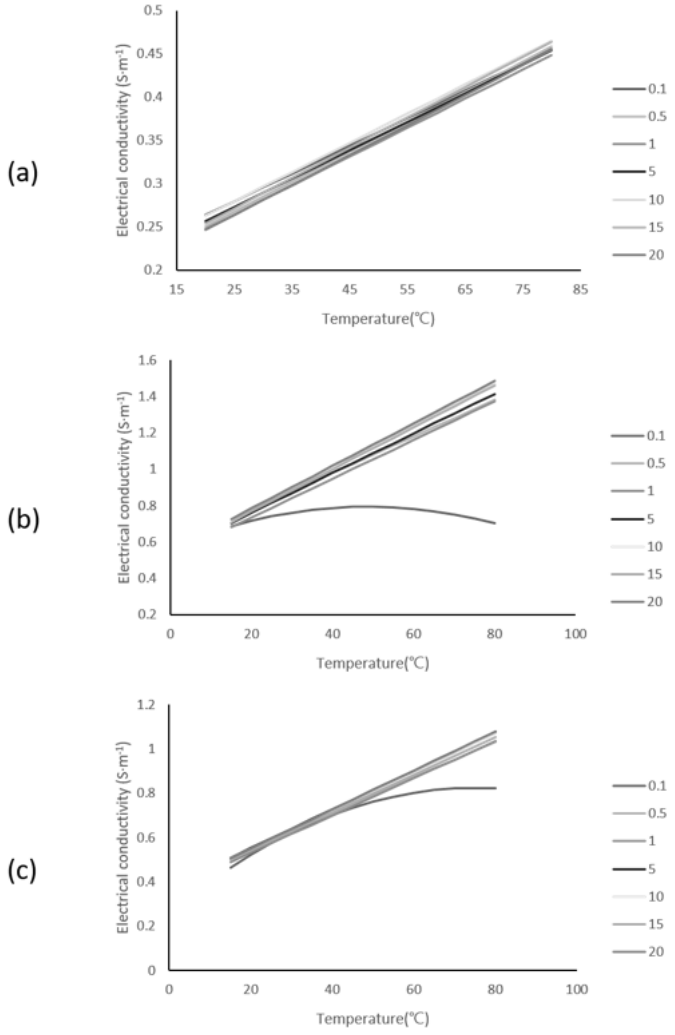

Fig. 15. Electrical conductivity for egg contents. (a) Egg yolk, (b) egg white, (c) egg mixture.

Table 1. Electrical conductivity of egg contents.

Frequency (kHz)	Egg yolk	Egg white	Egg mixture
0.1	$y = 0.0032x + 0.1996$	$y = -0.0001x^2 + 0.0091x + 0.5707$	$y = -0.0001x^2 + 0.0150x + 0.2593$
0.5	$y = 0.0034x + 0.1807$	$y = 0.0101x + 0.5758$	$y = 0.0081x + 0.3871$
1	$y = 0.0033x + 0.1804$	$y = 0.0107x + 0.5210$	$y = 0.0084x + 0.3622$
5	$y = 0.0032x + 0.1914$	$y = 0.0109x + 0.5419$	$y = 0.0088x + 0.3762$
10	$y = 0.0033x + 0.1951$	$y = 0.0114x + 0.5556$	$y = 0.0087x + 0.3741$
15	$y = 0.0035x + 0.1841$	$y = 0.0115x + 0.5365$	$y = 0.0085x + 0.3708$
20	$y = 0.0034x + 0.1771$	$y = 0.0117x + 0.5509$	$y = 0.0088x + 0.3736$

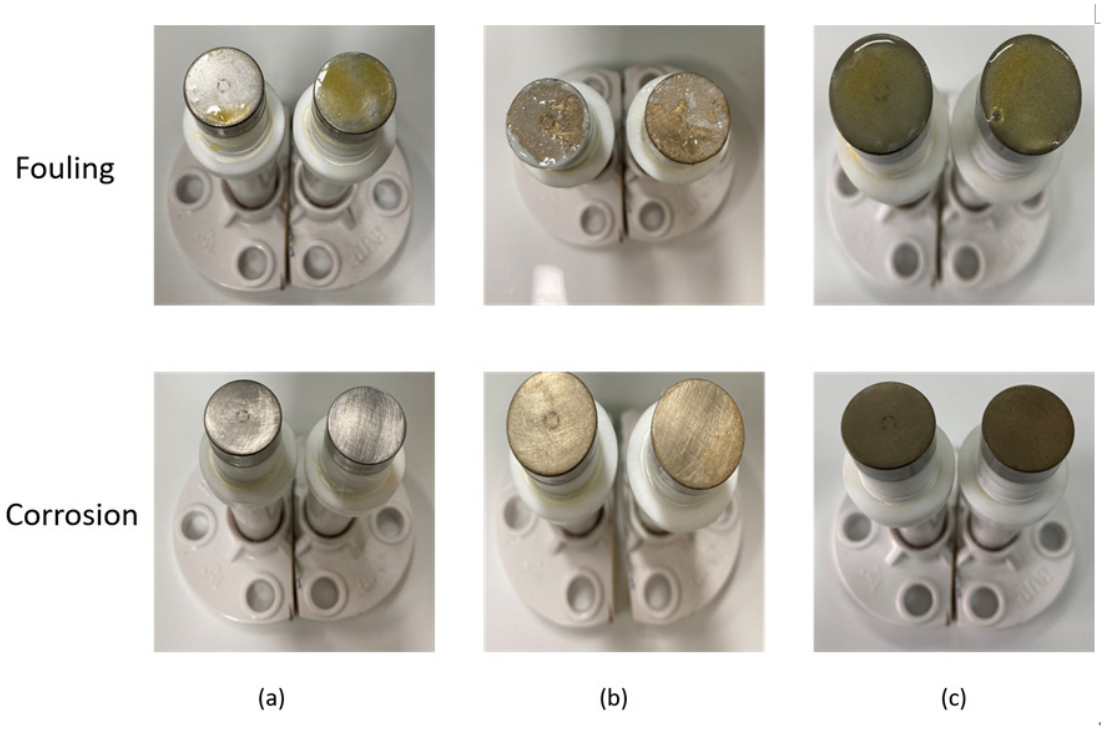

Fig. 16. Corrosion and fouling of the electrode at 0.1 kHz. (a) Egg yolk, (b) egg white, (c) egg mixture.

Conclusion

본 연구는 계란의 기하학적, 전기적 특성을 측정하고 분석하여 다양한 계란 가공품 생산 및 효율적인 가공 방식의 개발에 대한 새로운 지표가 될 수 있는 요소들을 탐색하고자 하였다. 소란의 경우 무게만 아니라 장경 및 단경이 모든 등급 중 가장 낮았으며, 왕란의 경우 모든 등급 중에 장경과 단경이 가장 크게 측정되었다. 장경과 단경의 길이는 체적 및 표면적과 높은 상관관계가 있음에 따라, 체적과 표면적의 크기 역시 소란, 중란, 대란, 특란, 왕란 순으로 증가함을 알 수 있다. 껍질 두께와 밀도의 경우 소란에서 특히 낮은 값이 관찰되었으며, 이는 다른 등급의 계란에 비해 소란의 운송 및 가공에 더욱 세심한 주의가 필요할 것으로 판단된다. 계란 껍질 두께는 0.32 - 0.45 mm로 측정되었으며, 등급에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다. 껍질은 절연체와 비슷한 성질을 나타내었으며, 두께가 두꺼워질수록 전기 공급에 의한 온도 상승에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 계란 내용물에 대한 전기 전도율은 난백, 혼합, 난황 순으로 높았으며, 모든 조건에서 15 kHz 이상의 주파수에서 보다 가파르고 높은 전기 전도율이 관측되었다. 0.1 kHz의 주파수에서는 난백에 의한 파울링 현상 및 전극의 부식이 관찰되었으며 전기 전도율의 감소를 야기하였다. 따라서 신속하고 안전한 계란 가공을 위해서는 보다 높은 주파수를 사용하는 것이 적절하다고 판단된다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 첨단농기계산업화기술개발사업의 지원으로 수행되었음(120104-03-3-HD020).

Authors Information

Sung Yong Joe, https://orcid.org/0000-0002-8482-9777

Jun Hwi So, https://orcid.org/0000-0001-9479-6000

Seon Ho Hwang, https://orcid.org/0000-0002-0736-0370

Soon Jung Hong, Department of Liberal Arts, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Professor

Seung Hyun Lee, Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Professor

References

Altuntaş E, Şekeroğlu A. 2008. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. Journal of Food Engineering 85:606-612.

Anderson KE, Tharrington JB, Curtis PA, Jones FT. 2004. Shell characteristics of eggs from historic strains of single comb white leghorn chickens and the relationship of egg shape to shell strength. International Journal of Poultry Science 3:17-19.

Banti M. 2020. Review on electrical conductivity in food, the case in fruits and vegetables. World Journal of Food Science and Technology 4:80-89.

Castro I, Teixeira JA, Salengke S, Sastry SK, Vicente AA. 2004. Ohmic heating of strawberry products: Electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. Innovative Food Science & Emerging Technologies 5:27-36.

Freni F, Quattrocchi A, Di giacomo A, Piccolo SA, Montanini R. 2018. Assessment of eggs freshness by means of pulsed infrared thermography. pp. 25-29. In Proceedings of the 14th Quantitative Infrared Thermography Conference, Berlin, Germany.

Ju JJ. 2021. Status of poultry industry and development plan-status of laying poultry industry and development plan. Korean Poultry Journal 53:156-158. [in Korean]

Kim DH, Ji IB. 2021. Effects of storage time and temperature on the hygienic quality of shell eggs. Korea Journal of Agricultural Management and Policy 48:467-486. [in Korean]

Kim JG, Park JY, Kim JS. 2015. Effects of storage time and temperature on the hygienic quality of shell eggs. Journal of Environmental Health Sciences 41:438-448. [in Korean]

Kim KD, Bok JS. 2000. Study on precision improvement in weight measurement of an egg for the automatic egg sorting system. Korean Journal of Agricultural Science 27:48-53. [in Korean]

Lee YK, Lee SH. 2015. Egg and egg processing industries in the US and EU. pp. 83-104. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. [in Korean]

Narushin VG, Lu G, Cugley J, Romanov MN, Griffin DK. 2020. A 2-D imaging-assisted geometrical transformation method for non-destructive evaluation of the volume and surface area of avian eggs. Food Control 112:107112.

Polat R, Tarhan S, Cetin M, Atay U. 2007. Mechanical behaviour under compression loading and some physical parameters of japanese quail (Coturnix coturnix japonica) eggs. Czech Journal of Animal Science 52:50-56.

Poojitha P, Athmaselvi KA. 2018. Influence of sucrose concentration on electric conductivity of banana pulp during ohmic heating. Food Science and Technology International 24:664-672.

Van der plancken I, Van loey A, Hendrickx ME. 2006. Effect of heat-treatment on the physico-chemical properties of egg white proteins: A kinetic study. Journal of Food Engineering 75:316-326.
Yoon CS. 1998. A study on eggshell thickness (1). pp. 115-119. Korean Poultry Association, Seoul, Korea. [in Korean]
Yu IJ. 1990. Egg processing. Bulletin of Food Technology 3:5-11. [in Korean]