

계란의 신선도 평가를 위한 영상분석법의 개발

김남균 · 홍윤기 · 이동구¹ · 조성호¹ · 고경철² · 반상형³ · 황헌¹ · 윤원병*

강원대학교 농업생명과학대학 식품생명공학과
¹성균관대학교 생명공학대학 바이오메카트로닉스학과
²축산물품질평가원
³중앙아이엔티(주)

Development of an Image analysis System to Evaluate the Freshness of Eggs

Nam-Gyun Kim, Yoon-Ki Hong, Dong-Goo Lee¹, Sung-Ho Cho¹, Kyung-Cheol Koh²,
Sang-Hyeong Bahn³, Heon Hwang¹, and Won-Byong Yoon*

Department of Food Science & Biotechnology, Kangwon National University

¹Department of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University

²Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation

³Central Information & Technology Co. LTD

Abstract

An image analysis system was developed to evaluate the freshness of eggs by measuring the height of thick albumen. The non-contacting and continuous measurement of the height of thick albumen is a unique method. For image acquisition and processing, an egg was placed on the glass plate and the image was continuously captured in 2 directions with 0.5 sec of interval. The region of interest (ROI) was extracted and processed to evaluate the height of thick egg albumen. The height and other physicochemical properties, such as weight, pH, viscosity, and Haugh unit, of eggs during storage of 30 days at 20°C were measured and compared to find the correlation. During storage, the height of egg albumen, weight of eggs, and viscosity decreased, while the pH of yolk increased. The changes of Haugh unit during storage showed that the measurements of the height of thick albumen using the image analysis system are useful to evaluate the freshness of eggs.

Key words: egg, image analysis Haugh unit, albumen, yolk

서 론

계란은 좋은 품질의 단백질과 다양한 영양분을 갖는 우수한 축산물로 소비자들에게 인식되어 왔다(Caner, 2005). 그러나 계란은 수분함량이 높아 저장과 유통과정에서 계란의 호흡 및 수분증발 등으로 내부의 품질 변화가 발생할 수 있다(Villeneuve et al., 1994). 이러한 이유로 계란의 내부의 물리적 변화와 화학적 변화를 관찰하여 품질의 변화를 객관적으로 측정하는 방법을 개발할 필요성이 있다.

가장 보편적인 품질 측정법은 신선도를 활용하여 품질을

결정하는 경우이며, 다양한 평가법이 존재하지만(Vadehra et al., 1972; Jeon, 1981), Haugh unit(HU)을 이용한 방법이 가장 널리 사용되고 있다(Williams, 1992; Farran et al., 1995). 이 방법은 계란을 활란(活卵)하여 편편한 바닥에서 내용물의 높이를 측정계(자, 마이크로미터, 기기식 지지대)를 이용하여 측정해 신선도를 결정하는 방법으로 계란의 내부 품질에 대한 가장 정확한 판단을 내릴 수 있다고 알려져 있으며 등급판정의 국제적인 기준중의 하나로 통용되고 있다. 하지만 난백의 높이를 측정하는 방법이 시료에 직접적인 접촉으로 인하여 측정 시 오차가 발생하여 정교함에 문제가 있으며 또한 농후난백의 높이를 측정하는 위치가 측정자의 육안에 따라 달라짐으로 정확도에도 근본적인 문제점을 가지고 있다.

접촉식 측정방법의 문제점들을 개선하여 보다 정확한 측정을 위해서 최근 영상처리 기술을 통한 농산물의 품질 판정, 검사, 수확 작업 등에 적용하려는 시도가 진행되고 있다. 최근 컴퓨터 프로세서 성능의 발달과 함께, 영상 처리

*Corresponding author: Won-Byong Yoon, Department of Food Science and Biotechnology, College of Agriculture and Life Science, Kangwon National Univ., Hyoja 2-dong, Chuncheon-si, Gangwon-do 200-701, Korea

Tel: +82-33-250-6459; Fax: +82-33-241-0508

E-mail: wbyoon@kangwon.ac.kr

Received November 22, 2012; revised February 20, 2013; accepted February 21, 2013

를 위한 주변 하드웨어와 소프트웨어도 크게 발전하게 되었다. 이에 따라 과거에는 실시간으로 처리하기 어렵고, 복잡하고 정교한 영상처리 기술의 적용이 용이해졌다. 현재 세계적으로 영상 처리 기술을 실제 산업에 적용하기 위해서 노력하고 있으며, 주로 과일 종류의 수확과 선별 자동화 그리고 곡물류의 외관검사에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이를 위해서 CCD 카메라를 이용한 영상처리 기술이 사용되고 있다. Noh et al.(1995)은 흑백 영상을 이용하여 다목적 과일 등급판정 알고리즘을 개발에 관한 연구를 수행하였으며, Nakano et al.(1997)은 영상처리를 이용하여 사과와 야채 선별시스템에 관한 연구를 수행하였다. Noh et al.(1990)은 흑백 영상처리시스템을 구성하여 사과의 기하학적 특성을 측정하는 연구를 하였다.

본 연구의 목적은 기존의 접촉식 방법의 단점을 극복하기 위하여 계란의 저장 중 농후 난백의 높이의 변화를 비접촉식으로 측정 가능한 영상분석장치(알고리즘, 소프트웨어, 측정기기)를 개발하고자 함이다. 또한 본 연구에서는 계란의 저장기간 중 변화되는 이화학적 특성인 무게, 점도, pH를 측정하여 본 연구에서 개발된 영상분석장치를 통하여 측정된 농후난백의 높이의 변화와 이화학적 특성의 변화간의 상관관계를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 준비

본 실험에 사용된 계란은 양계 농가(Wonju, Korea)에서 생산된 특급 제품을 사용하였고, 육안상으로 아무런 문제가 없는 제품을 골라서 실험을 실시하였다. 각 계란의 신선도 평가를 위하여 시료 150 개를 기준으로 20°C 인큐베이터에서 30 일간 저장 실험을 실시하였다. 저장기간 중의 변화는 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 일, 총 7 회에 걸쳐서 실시하였으며, 계란 샘플을 채취하여 영상분석방법을 이용하여 퍼짐 및 난백 높이를 측정하였다. 이 샘플들을 이용하여 저장 기간에 따른 무게 감소율, Haugh unit, 농후, 수양 난백 및 난황에 대한 pH와 점도를 측정하여 신선도 평가를 실시하였다.

영상처리시스템

Fig. 1은 계란의 농후난백의 높이를 측정하여 신선도를 추정하기 위해서, 자체 개발한 계란 자동 측정기기 시스템을 나타낸다. 이 시스템에서는 2 대의 저조도(0.2 Lx), 고해상도 셔터 속도 조절 기능(1/60-1/100000 s)을 가진 NTSC color camera 방식의 CCD 카메라(GC-435N24G, Honeywell, Louisville, USA)를 사용하였고, 획득한 영상을 디지털 영상으로 만들기 위한 장비인 프레임그래버(Meteor II, Matrox, Quebec, Canada)와 450 MHz CPU를 장착한 컴퓨터를 사

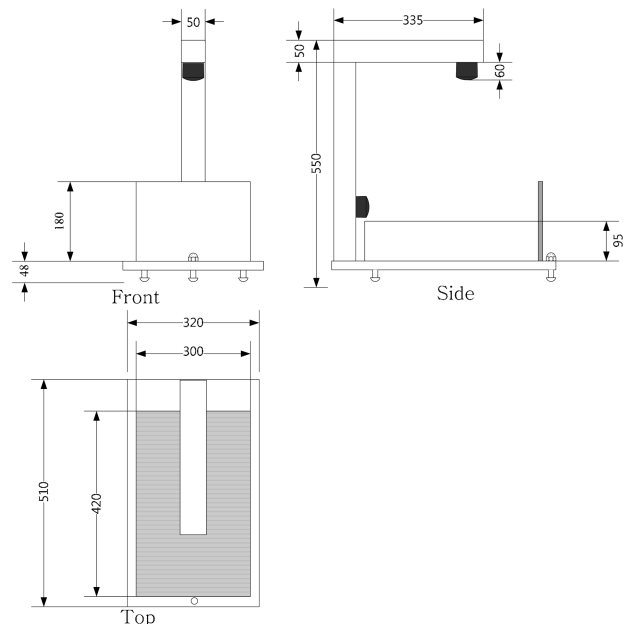


Fig. 1. Schematic diagram of the egg freshness and quality measurement system.

용하였다. 영상처리장치의 광원으로는 20 W 3파장 형광램프를 사용하였다. 이 장치를 이용하여 계란의 신선도 평가 알고리즘과 프로그램이 내장되어 있는 컴퓨터와 연결하여, 선별된 영상 결과를 모니터로 나타내었다.

농후난백 높이 계측 알고리즘

계란의 등급 선별을 위하여 CCD 카메라(GC-435N24G, Honeywell, Louisville, USA)를 사용하여 컬러 이미지인 RGB 이미지를 획득하여 원본 영상에서 관심 영역 이미지 검색 시스템을 이용하여 관심영역이라는 임의 영역 설정을 제외한 이미지를 제외함으로써 데이터 베이스를 간소화 시켜 검색하는 시간도 단축시켰다(Kim, 2007). 또한 ROI (region of interest) 영역은 그림자, 하이라이트 등과 같은 자연광 하에서의 영상 특징으로 인한 객체의 세분화를 막기 위하여 각 관심 영역의 원영상에 대해 노이즈 제거를 수행하였는데, 대상체의 경계를 유지하면서 잡음과 같은 작은 반점을 제거하기 위하여 7×7의 정방형 커널(kernel)에 대하여 공간 필터인 미디언 필터링을 수행하였다. 노이즈 제거 이후 RGB 영역의 색을 HSV(Hue Saturation Value) 영역으로 변환하여 H(색조), S(채도), V(명암)으로 분리한 색 모델로 나타내었다. 채도영상은 난황과 난백 간의 상대적인 빛의 포화도 차이를 이용하여 난황과 난백을 구분하는데 사용하였으며, 명암영상은 배경과 난황 및 난백 간의 명암도 차이를 이용하여 전체 영역을 검출하는데 사용하였다. 채도 영상과 명암 영상은 영상의 히스토그램 분포도를 분석하여 threshold를 이용하여 특정 영역의 밝기를 가지는

픽셀만을 선택하여 라벨링을 통하여 채도 영상은 난황 부위, 명암 영상은 계란 전체 부위의 영역을 분리하였다. 각각 분리된 영역을 이용하여 차영상을 통하여 난백의 영역을 분리하였으며, 분리된 난백의 영역의 윤곽선 추출, 좌표 추출 및 기준선 설정의 과정을 통하여 농후난백의 높이를 측정하였다. 농후난백의 높이를 측정하여 얻은 결과와 계란의 무게를 이용하여 Haugh unit을 통한 등급 판정이 이루어지도록 하였다(Cho et al., 2006).

난백 높이 계측 소프트웨어

난백 높이 계측 소프트웨어는 개발환경의 운영체계를 Windows 98을 사용하였으며 C 컴파일러(Visual C++ Ver 6.0, Microsoft, Redmond, USA)를 이용하여 개발하였다. 구동 소프트웨어에는 할란 이후 30 초 동안 난백의 퍼짐도를 측정하는 퍼짐 측정모드와 난백의 높이만을 측정하는 수동 측정 모드, 측정 데이터 화면 출력 및 기준 수평선 높이 설정 기능을 포함하였다. 등급판정 시험에 사용한 시료는 20 W 3과장 형광램프를 광원으로 사용하는 유리판 위에서 측정하였다.

계란 무게 측정

분해 능력이 0.1 mg인 정밀전자저울(HM-200, AND, Tokyo, Japan)을 이용해 소수점 4자리까지 측정하였다.

계란 pH 측정

측정 범위(0-14)이며 분해 능력(pH 0.005)인 pH Sensor (PH-BTA, Vernier, Inc., Beaverton, USA)를 사용하여 난백, 농후난백, 수양난백의 pH를 측정하였다. Standard pH buffers로는 citric acid-sodium phosphate buffer(pH 4.0-6.0), Tris-HCl buffer(pH 7.0-9.0)을 사용하였다.

점도 측정

저장 기간에 따른 수양 난백의 점도 측정은 LVDV-Pro(Brookfield Engineering Laboratory Inc., Middleboro, USA)를 이용하여 SC4 sample chamber에 시료 6.7 mL를 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다.

난황의 점도 측정은 RVDV-II Pro Cone and Plate (Brookfield Engineering Laboratory Inc., Middleboro, USA)를 이용하여 standard cup인 CPE-44Y에 시료 0.5 mL를 투입하여 shear rate에 따른 shear stress값을 stress viscometer test를 이용하여 측정하였다. CPE-51 스펀들을 사용하였으며 CPE-51의 coefficient는 4800이며 이 rheometer의 허용 RPM 범위인 0-200 rpm에서 측정하였다.

점성 계수 측정 장치는 측정하는 동안 온도를 일정하게 유지시켜 줄 수 있는 항온 시스템과 데이터를 보다 정확하

게 얻기 위하여 Rheocal(Version 3.2 Build 47-1 software, Brookfield Engineering Laboratory Inc., Middleboro, USA)를 설치한 컴퓨터에 점도계를 연결하여 점도를 측정하였다. Shear rate 구간은 저장 기간에 따라 최대 측정 구간이 증가하므로 torque 값을 기준으로 하여 80%인 shear rate를 최대 수치 기준으로 소프트웨어를 사용하여 20 개의 구간으로 나누어서 3 초 간격으로 측정하였다. 이렇게 구한 난백 구간 65-255, 난황 구간 0-300으로 구분하였다. Herschel-Bulkley, Power Law, Newtonian model (식 (1)-(3))을 이용, shear rate에 따른 shear stress를 상관관계를 구하였으며 각 파라미터 값의 변화를 확인하였다.

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n + \sigma_0 \quad (1)$$

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\sigma = K\dot{\gamma} \quad (3)$$

σ 는 층밀림 변형력(shear stress), $\dot{\gamma}$ 는 층밀림 속도(shear rate), K는 점성계수(consistency constant), n은 유동지수(flow behavior index)를 의미한다.

Haugh unit

Haugh unit의 측정은 영상분석 측정 장치를 이용하여 농후난백의 높이 및 직경의 수치를 측정하여 다음의 식을 이용하여 계산하였다(Rocculi, 2009).

$$HU = 100\log(H - 1.7w^{0.37} + 7.6) \quad (4)$$

H는 농후난백의 높이(mm)이고, w는 계란의 질량(g)을 의미하며, H 값은 영상 분석 측정 기기로 측정된 값을 사용하였다.

통계 분석 및 모델링

본 연구에서 제시된 계란의 품질 변수인 무게는 5개의 계란의 분석 결과 평균을 나타낸 것으로 계란의 저장 기일에 따른 품질 비교는 Excel(Version 14.0, Microsoft, Redmond, USA)을 이용하여 유의차 분석을 실시하였다. 또한 비파괴적인 방법에 의한 계란의 신선도 평가 가능성을 살펴보고자 영상분석에 의한 자료와 물리적 방법에 의한 측정시간의 상관관계를 추정하였다.

난황의 저장 기간이 지남에 따라 유변학적 특성의 변화 및 점도의 변화에 대해 확인하기 위하여 점도모델 (식 (1)-(3))에 대해서 측정된 데이터와 각 모델간의 적합성을 확인하기 위해 Matlab(Version 7.12, MathWorks, Natick, USA)을 사용하였다.

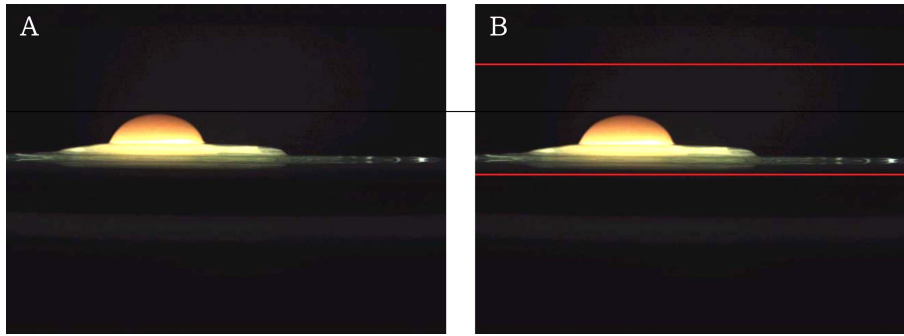


Fig. 2 (A) Original image captured from the side view camera (B) Specified ROI image (area between red lines).

결과 및 고찰

관심영역 추출

실시간 프로세싱을 위하여 대략적으로 객체가 존재하는 후보영역을 얻어, 후보 영역에서 세분화된 프로세싱을 수행하기 위해서 원 영상의 1/2해상도의 영상을 이용하여 대략적인 후보영역을 추출하였다. 후보 영역을 얻기 위하여 낮은 해상도의 영상에서 계란의 색도좌표 영역과 배경에 대하여 이치화하여 경계에 해당하는 윈도우를 관심영역으로 설정하였다. Fig. 2는 이에 대한 결과로서 원 영상(Fig. 2A)과 관심 영역 추출 영상(Fig. 2B)을 나타낸다.

색 좌표 변환 및 영상 분할

광 환경의 밝기 변화에 대하여 색도 및 채도의 변화가 적고, 배경과 계란, 난백과 난황간의 색도, 채도 및 명도 히스토그램 정보를 얻기 위하여 카메라의 RGB 영상을 식 (5)-(7)을 이용하여 HSV 영상으로 변환하였다.

$$V = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (5)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)}[\min(R, G, B)] \quad (6)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}\{(R - G) + (R - B)\}}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \quad (7)$$

위 식에서 R은 적색, G는 녹색, B는 청색의 데이터를

의미하며, HSV으로 변환된 영상에 대해서 각각 H(색조), S(채도), V(명암) 영상으로 분할하였다. 이에 대한 분할 영상의 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

채도 및 명암 기반 영상을 통한 농후난백 높이 측정

채도 및 명암 기반 영상은 히스토그램을 활용하여 색도 영상에 대해 구간 이치화를 실시하였다. 채도에 대하여 103-160 구간을 붉은색으로, 그 외의 구간을 회색영상으로 표현하였다. 이 영상을 통하여 원 영상에서 배경과 난백 부위가 제거하였다. 이후 윤곽선 추출은 체인 코딩에 의한 윤곽선 검출 방법을 사용하여 계란의 영상 윤곽에 대한 좌표와 방향을 분석할 수 있게 하였다. 추가적으로 작은 영역은 제거하고 경계선을 부드럽게 하는 명령어인 'opening circle'을 사용하였다. 결과 영상은 Fig. 4A에 나타나 있다. 실제 난황의 외곽선 추출의 경우 환경 영향에 의해서 난백 부위가 함께 도출되는 경우가 발생하나, 이는 난백의 높이를 측정하는 원리가 난황 최외각을 기준으로 1 cm 떨어진 지역을 중심으로 최대 난백의 높이를 측정함으로써 보정이 가능하다.

명암에 대한 이치화는 Fig. 4B와 같이 전체 히스토그램 분포에 대하여 70을 기준으로 배경부위를 흑색으로 처리하였으며 결과 영상을 통하여 배경의 일부를 제외하고 대부분이 제거되었음을 알 수 있다. 이후 채도 영상 처리방법과 동일한 방법으로 외곽선을 추출하였다. Fig. 4A와 Fig. 4B의 영상을 통하여 명암 영상에서 추출된 외곽선은 계란 전체를 나타내며, 채도 영상에서 추출된 외곽선은 난

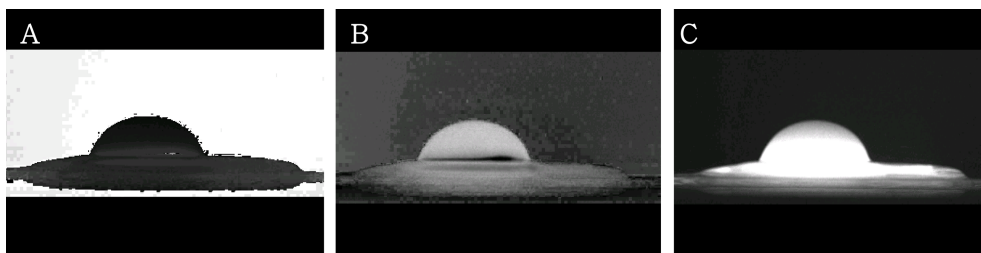


Fig. 3. HIS images converted from RGB images (A) Hue image, (B) Saturation image and (C) Value image.

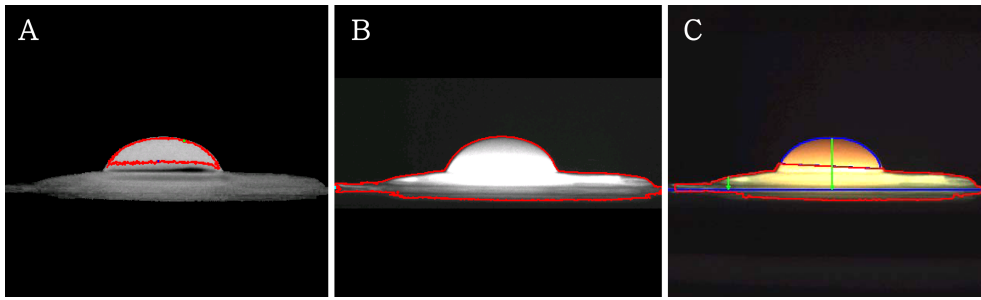


Fig. 4. An example of applying segmentation logical AND (A) saturation image, (B) value image and (C) subtraction images.

황부위를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이 두 영상에 이용, 논리곱셈을 수행하여 농후난백 외곽선을 추출을 실시하여 Fig. 4C와 같은 결과를 얻었다. Fig. 4C에서 확인할 수 있듯이 농후난백이 완전하게 분리되었음을 알 수 있다. 분리된 농후난백의 외곽선을 활용하여 row 명령어를 활용하여 영역이 y축의 시작 값과 y축의 최종 값의 차를 이용하여 두 값의 차이를 활용한 해당 픽셀 값을 통하여 농후난백의 높이가 계산되었다.

저장기간에 따른 퍼짐 측정

저장 기간 별로 영상 분석이 측정된 5 개의 샘플에 대해서 할란 시점으로부터 30 초간 0.5 초 간격으로 농후 난백의 높이의 변화를 조사하였다. 저장기일별 퍼짐 측정된 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 0 일차 시료에서는 초기 난백 높이가 가장 높게 측정되었으며, 이러한 초기 난백 높이는 할란 시의 계란 내부의 농후난백의 비율을 나타내는 지표로서 농후난백은 ovomuchin-lysozyme 상호 작용에 의해서 농후 난백을 형성하나 저장 기간 동안 기실을 통한 난백 내부에 용해된 CO₂의 배출로 인한 pH의 증가로 인해 농후 난백의 수양화가 진행되어 농후 난백의 비율이 감소하게 된다. 저장 0일차의 높은 초기 농후 난백 높이는 높은 농후 난백 비율로 인한 것으로서 저장 0-5 일차 사이에서 발생하는 난백의 급격한 pH의 변화는 이러한 농후 난백의 비율을 급격하게 감소시킨다. 따라서 5 일차 초기 농후 난백 높이가 0 일차에 비하여 낮아지는 것으로 추정된다. 또

한 측정시간에 따른 농후 난백의 퍼짐 현상은 겔 형태의 농후 난백의 응집력의 차이에 의해서 퍼짐 정도가 다르게 나타난다. 저장 기간이 증가함에 따라 농후 난백의 수양화로 인하여 농후 난백을 이루고 있는 ovomuchin-lysozyme 복합체의 S-S결합(disulfide bond)이 해리되어 농후 난백의 겔이 분해되어 그 사이에 존재하는 수분이 유리되면서 분획물이 용해되어 농후 난백의 비율이 감소된다. 이에 따라 농후 난백의 높이가 감소하고, 농후 난백의 응집력이 감소하게 된다. 따라서 저장기간 동안 퍼지는 정도가 증가한다. 각각의 저장 기일에 따른 농후 난백의 퍼짐 현상에 대한 값은 식 (8)을 이용하여 곡선 적합하였다.

$$y=ae^{-bx} \tag{8}$$

이 식에 따라 곡선 적합한 결과는 Table 1에 나타내었으며, R² 값이 0.91에서 0.98까지 높은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 식 (8)에서의 a값은 초기 측정시간 즉, 0 초일때의 농후 난백의 높이를 나타내는 값을 의미한다. 측정 초기 농후 난백의 높이에 대한 저장 기간에 따른 변화는 저장 초기 구간이 0 일에서 5 일 사이에서 가장 큰 변화가 나타난 것을 확인하였다. 이는 저장 기일에 따른 난백 높이의 변화에서와 같이 초기 저장 기간 중에 농후 난백의 수양화가 가장 급속히 진행되는 것으로 인한 결과이다. 저장 20 일차 이후에는 퍼짐 측정이 불가능 하였는데 이는 농후난백의 높이 변화를 측정하는 기기적인 민감도가 낮아 측정이 불가능한 것으로 생각된다.

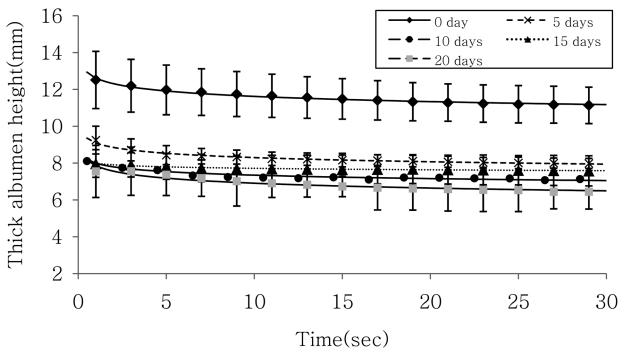


Fig. 5. Changes in the height of thick albumen using continuous measurement during 20 days of storage at 20°C.

저장기간에 따른 난백 높이 변화

저장 기간에 따른 난백 높이의 변화는 Fig. 6에 나타내

Table 1. Exponential decay model parameters from the continuous measurement of the height of thick albumen.

Storage time (d)	a value	b value	R ²
0	12.62	-0.04	0.97
5	9.10	-0.04	0.98
10	8.00	-0.04	0.91
15	7.99	-0.02	0.94
20	7.86	-0.06	0.92

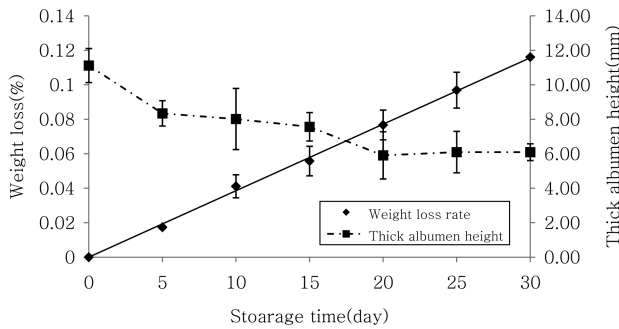


Fig. 6. Changes in the weight loss and the thick albumen height of egg samples during 30 days of storage at 20°C.

었다. 초기 5 일 동안에 매우 급격하게 난백 높이가 변화하는 것을 확인하였다. 이는 저장 기일이 증가함에 따라서 농후 난백의 수양화로 인하여 농후 난백의 비율이 감소하며, 농후 난백의 겔 구조는 응집력의 약화로 인하여 전체적인 농후 난백의 높이가 감소한 결과로 추론된다. 이러한 농후 난백의 변화는 저장 기일 20 일까지 지속적으로 이루어졌으며, 20 일 이후에는 난백 높이의 변화가 크게 감소하는 것을 확인하였다.

계란의 무게 변화

본 시험의 시작부터 총 30 일의 저장 기간 동안 나타난 계란의 무게 변화는 Fig. 6에 나타내었다. 저장한 계란의 30 일 저장 기간 동안 약 11.5%의 무게가 감소한 것으로 측정되었다. 저장 기간 동안 5 일 간격으로 측정된 데이터 값을 통하여 선형 모델 식(9)를 이용하여 모델링을 실시하였다.

$$y = a_1 \cdot x \quad (9)$$

모델링을 실시한 결과, R^2 값은 0.99가 나왔으며 a_1 값은 0.0039가 측정되었다. 이는 저장기일 동안 1 일간 초기 무게의 0.39%가 감소하여 저장기간이 지남에 따라서 선형적으로 감소하는 것을 나타낸다. 또한 이러한 무게감소의 원인은 저장 과정 중에 계란 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분과 CO_2 유출 때문이며, 본 결과는 계란의 저장과정에서 무게가 감소한다는 Caner(2005)의 연구 결과와 유사한 패턴을 나타내었다.

pH의 변화

저장기간에 따른 난백의 pH의 변화는 Fig. 7에 나타내었다. 저장 초기에서부터 5 일까지 급격하게 증가 이후 30 일까지는 비슷한 수치를 기록하였다. 이는 난백에 녹아있던 CO_2 가 난각을 통해서 방출됨에 따라서 나타나는 현상임을 확인 할 수 있었다(Li et al., 1985; Keener et al., 2000). 신선한 계란의 초기 난백 평균 pH 값은 8.72였으며, 5 일

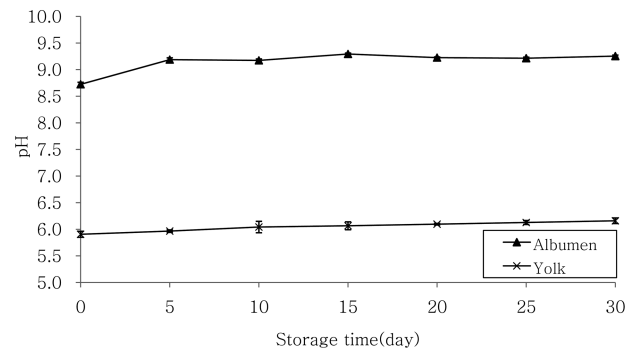


Fig. 7. Changes in pH of yolk and albumen during 30 days of storage at 20°C.

까지 급격하게 증가하고 이후 지속적으로 증가하여 최종 저장일인 30 일에 9.14-9.32까지 도달하였다. 이는 Rocculi et al.(2009)의 연구결과와 유사한 것을 확인 할 수 있다. 저장 기간에 따른 난황의 pH의 변화는 Fig. 7에 나타내었다. 난황의 경우 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 패턴을 나타내었다(Severa et al., 2010). 이는 난백 내 또는 난백과 난황 사이에서도 부위별 수분함량이 각각 다르기 때문에 삼투압의 작용으로 고농도에서 저농도로 수분이 이동하게 된다. 저장 중에 난백의 수분이 난황으로 이동하고, 반대로 난황성분이 난백으로 이동한다. 이러한 과정에서 저장 기간에 따른 pH가 증가된 난백이 난황으로 유입됨으로 인해서 난황의 pH도 저장 기간이 증가함에 따라 지속적으로 pH가 증가하게 된다.

난황 점도의 변화

저장 기간에 따른 난황의 점도의 변화를 shear rate 구간별 shear stress의 변화를 조사하였다. 신선한 난황의 경우 비 Newtonian 유체로서 가장 널리 사용되며, 항복응력(yield stress)가 존재하는 식 (1)인 Herschel-Bulkley model을 따른다(Steffe, 1996).

저장 기간에 따른 난황의 점도의 변화는 shear rate에 따른 shear stress의 변화에 대해서 조사하였으며 shear rate는 34-300구간에서 실험을 실시하였다(Fig. 8A). 실험 데이터를 기반으로 하여 커브 피팅을 실시하여 각 모델에 대하여 얻어진 유변학적 매개변수들을 Table 2에 정리하였다. Table 2에서 확인 할 수 있듯이 Herschel-Bulkley 모델은 매우 높은 적합도를 나타내었으나, 실제 실험에서 항복응력 값이 0.01보다 낮은 값들을 나타내었으며 이는 매우 낮은 수치였으며 단위환산 과정에서 이들은 0.00을 기록하였다. 이를 근거하여 Power-law 모델을 적용하였다. 저장기간별 유동지수 수치는 0.9 이상의 매우 높은 수치를 기록하였다(Table 2). 이러한 데이터를 기반으로 하여 Newtonian model에 실험 데이터를 적용한 결과 R^2 값이 모두 0.95 이상의 수치를 나타내었다. 이는 실제 난황은 비 Newtonian

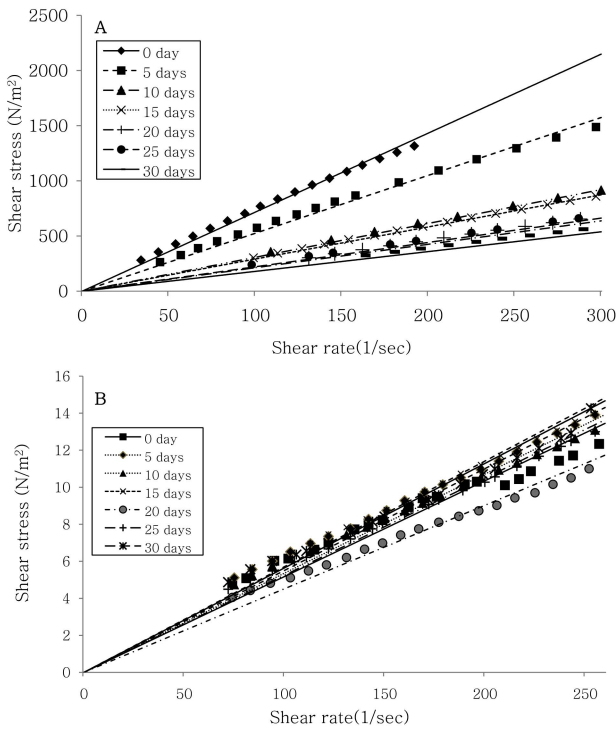


Fig. 8. Change in shear stress vs. shear rate of (A) yolk and (B) albumen during 30 days of storage at 20°C.

유체의 유변학적 거동을 나타내지만 이는 거의 Newtonian 유체의 거동과 유사하다는 것을 나타낸다. 또한 이러한 Newtonian model에서 저장 기간에 따른 점성 계수의 변화는 초기 0-10 일 동안 매우 급격하게 감소하였으며 추후 지속적으로 감소하는 패턴을 나타내었다.

난백 점도의 변화

저장 기간에 따른 난백의 점도의 변화를 shear rate 구간별 shear stress의 변화를 조사하였다(Fig. 8B). 그 결과 shear rate 구간 60-255 구간에 대하여 조사하였으며, 각각의 실험 결과는 Fig. 8B와 같으며 저장 기간 동안 유의차 있는 변화를 나타내지 않았다. 이는 수양 난백의 점도가 물과 유사할 정도로 점도가 낮으며, 저장 기간 동안 매우 적은 변화가 이루어 지기 때문이다(Kemps et al, 2010).

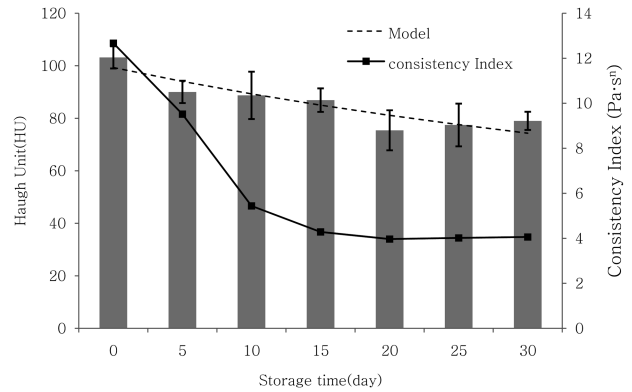


Fig. 9. Changes in consistency index of yolk and Haugh unit (HU) of egg during 30 days of storage at 20°C.

Haugh unit의 변화

저장 기간에 따른 Haugh unit의 변화는 Fig. 9에 나타내었다. 저장 0 일차인 가장 신선한 계란에 대한 Haugh unit이 103으로 측정되었는데 이는 Caner(2005)의 실험값과 유사하였다. 저장 기간이 지남에 따라서 Haugh unit이 초기 0 일차에 비하여 급격하게 낮게 계측이 되는데 이는 Haugh unit의 수치가 농후 난백의 높이와 계란의 무게와 연관되기 때문이다. 저장 기간이 증가함에 따라서 농후 저장 초기 기간 동안 농후 난백의 높이가 급격하게 감소하고 무게에 관해서는 선형적으로 지속적으로 감소하기 때문에 이에 따른 Haugh unit 또한 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다(Jones et al., 2002). 이러한 현상에 대해서는 저장 기간이 증가함에 따라서 pH가 증가하고 이에 따른 ovomuchin-lysozyme 복합체가 분리됨에 따라 ovomuchin의 탄수화물 함량이 감소하는 등 다양한 가설들이 제시되고 있다(Thesmar & Kerr, 2005). 이러한 원인으로 인한 Haugh unit을 통한 신선도 평가 지표는 grade A, HU >55; B, 31 < HU < 54; C < 30 을 기준으로 측정하고 있다(Caner, 2005). 20°C 저장 기간에 따른 신선도 등급의 변화는 저장 기간 20 일차 시기부터 등급이 B등급으로 감소였다. 이는 0-20 일 기간 사이에서 급격한 신선도 변화가 일어나는 것이다.

Table 2. Model parameters for viscosity models to describe changes in the viscosity egg yolk during storage.

Time (d)	Herschel-Bulkley				Power law			Newtonian	
	K (Pa·s ⁿ)	n	σ_0 (Pa×10 ⁻⁶)	r ²	K (Pa·s ⁿ)	n	r ²	K (Pa·s ⁿ)	r ²
0	1259.00	0.89	0.14	1.00	12.67	0.88	1.00	7.16	0.99
5	966.00	0.89	0.27	1.00	9.52	0.89	1.00	5.25	0.99
10	490.80	0.92	0.14	1.00	5.44	0.90	1.00	3.07	0.99
15	428.20	0.93	0.01	1.00	4.28	0.93	1.00	2.91	1.00
20	396.50	0.90	0.99	1.00	3.97	0.90	1.00	2.12	0.99
25	384.20	0.91	0.51	1.00	4.01	0.90	1.00	2.21	0.99
30	405.80	0.87	0.12	1.00	4.06	0.87	1.00	1.79	0.98

Table 3. Model parameters for viscosity models evaluated to describe changes of viscosity egg albumin during storage.

Time (d)	Herschel-Bulkley				Power law			Newtonian	
	K (Pa·s ⁿ)	n	σ_0 (Pa)	r^2	K (Pa·s ⁿ)	n	r^2	K (Pa·s ⁿ)	r^2
0	21.55	0.73	0.00	0.99	12.67	0.73	0.99	5.17	0.89
5	3.48	1.06	1.84	1.00	9.52	0.84	1.00	5.64	0.97
10	5.30	0.98	1.21	1.00	5.44	0.84	1.00	5.36	0.97
15	5.15	1.00	1.21	1.00	4.28	0.86	1.00	5.71	0.98
20	5.41	0.94	0.89	1.00	3.97	0.82	1.00	4.51	0.96
25	2.81	1.08	1.60	1.00	4.01	0.87	1.00	5.25	0.98
30	0.40	1.42	3.35	1.00	4.06	0.86	0.99	5.50	0.97

요 약

본 연구는 영상 분석을 활용하여 비접촉 방식으로 난백 높이를 측정하여 저장 품질 변화를 측정하는 알고리즘을 개발을 시도하였다. 본 연구에서는 계란의 영상 추출 알고리즘 영상분석을 통하여 난백높이를 비 접촉 방식으로 측정할 수 있었다. 이를 통한 저장 기간별 농후난백의 퍼짐 측정과 Haugh unit 및 무게 감소율, pH, 점도의 결과를 측정하였다. 저장 기간별 퍼짐 측정 및 Haugh unit은 저장 초기에 0-5 일차 구간에서 가장 급격한 변화를 보였다. 이는 저장 초기에 농후 난백의 수양화가 가장 빠른 속도로 진행됨에 따라서 농후 난백의 높이가 급격히 변하여 신선도 지표로 사용하는 Haugh unit에 영향을 미쳤다. 저장 기간별 무게 감소율은 0.39%로서 일정한 감소율을 나타내었다. 최종 저장 기간 30 일 동안 초기 무게를 기준으로 하여 30 일 차에서는 약 11.5%의 무게가 감소하였다. 이러한 무게 감소는 계란 내부에서 발생하는 호흡에 의한 수분과 CO₂ 유출로 인한 것이다.

저장 기간별 pH의 변화는 난백에서 저장 초기에 급격하게 증가하였다. 이는 계란 내부의 높은 농도의 CO₂가 외부 공기의 CO₂ 간의 극심한 농도 차로 인하여 유출 속도가 빨랐지만 저장 기간이 증가함에 따라 평형 상태에 도달함으로써 pH의 변화가 미미하였다. 이는 농후 난백의 높이 데이터에서의 패턴과 유사하며, 이를 통하여 pH의 변화가 농후 난백 내의 겔 구조물인 ovomuchin-lysozyme의 결합체의 결합력에 영향을 미침으로서 결합력이 낮아져 나타나는 현상임을 확인할 수 있었다. 저장 기간별 난황의 점도의 변화는 기본적으로 Newtonian 모델에 대하여 R² 값이 0.95 이상을 나타내었다. 또한 저장 기간이 증가함에 따라 난황의 점도가 감소하였는데, 이는 난황과 난백간의 부위별 수분 함량의 차이로 인하여 난백의 수분이 난황으로 이동하여 이로 인해 저장 기간이 증가함에 따라 점도가 감소하는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 농림수산물부 농림기술개발사업(과제번호

C1008491-01-01)와 농림수산물부 기술기획평가원(과제번호 111168-1)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Abu-Jdayil B. 2003. Modelling the time-dependant rheological behavior of semisolid food stuffs. *J. Food Eng.* 57: 9-102.
- Alamprese C, Iametti S, Rossi M, Bergonzi D. 2005. Role of pasteurisation heat treatments on rheological and structural protein structural characteristics of fresh egg pasta. *Eur. Food Res. Technol.* 221: 759-767.
- Atilgan MR, Unluturk S. 2008. Rheological properties of liquid egg products (LEPs). *Int. J. Food Prop.* 11: 296-309.
- Bhale S, No HK, Prinyawiwatkul W, Farr AJ, Nadarajah K, Meyers SP. 2003. Chitosan coating improves shelf life of eggs. *J. Food Sci.* 68: 2378-2383.
- Brake J, Walsh TJ, Benton CE, Petite JN, Meijerhof R, Penala G. 1997. Egg handling and storage. *Poultry Sci.* 76: 144-151.
- Brooks J, Pace J. 1938. The distribution of carbon dioxide in the hen's egg. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biol. Sci.*, 126: 196-210.
- Cornford SJ, Parkinson TL, Robb J. 1969. Rheological characteristics of processed whole egg. *J. Food Technol.* 4: 353-361.
- Caner C. 2005. The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *J. Sci. Food Agr.* 85: 1897-1902.
- Dauphas S, Beaumal V, Gunning P. 2007. Structures and rheological properties of hen egg yolk low density lipoprotein layers spread at the air-water interface at pH 3 and 7. *Colloid. Surface. B* 57: 124-133.
- Dimonte G, Nelson D, Weaver S, Schneider S. 1998. Comparative study of viscoelastic properties using virgin yogurt. *J. Rheol.* 42: 727-743.
- Dong UL, Volker H, Knorr D. 1999. Evaluation of processing criteria for the high pressure treatment of liquid whole egg: rheological study. *Lebensm. Wiss. Technol.* 32: 299-304.
- Haugh RR. 1937. The Haugh unit for measuring egg quality. *U.S. Egg Poul. Mag.* 43: 552-555, 572-573.
- Jones DR, Musgrove MT. 2005. Effects of extended storage on egg quality factors. *Poultry Sci.* 84: 1774-1777.
- Jones DR, Tharrington JB, Curtis PA, Anderson KE, Keener KM, Jones FT. 2002. Effects of cryogenic cooling of shell eggs on egg quality. *Poultry Sci.* 81: 727-733.