

계란의 신선도 결정과 영상분석을 이용한 내부품질 측정

김현태 고한중 김기연 加藤宏郎 喜多裕子 西津貴久

Determination of Egg Freshness and Internal Quality Measurement Using Image Analysis

H. T. Kim H. J. Ko K. Y. Kim K. Kato Y. Kita T. Nishizu

Abstract

Egg quality indices are related with freshness, size of air chamber, loss of weight, and viscosity of the yolk and the protein. However, since the described quality parameters require measured in a destructive way, it is not suitable to inspect the egg quality with complete enumeration. Therefore, this study was performed to investigate the potential of image analysis method for evaluation of internal egg quality. Samples of 90 fresh eggs were collected immediately after laying and stored up to 24 days. Five eggs were randomly drawn from each storage condition (packing vs unpacking) at a regular interval and loss of weight, specific gravity and size of air chamber were measured. The image analysis for nondestructive measurement of size of air chamber was also studied. Results showed that the egg weight and gravity gradually decreased with increasing of storage days, while the size of air chamber linear increased caused by evaporation of water through the shell. A relationship a between conventional method and the image analysis method for measuring the size of air chamber was developed with the correlation coefficient of 0.928. The new finding implied that image analysis might provide a useful nondestructive tool to assess internal egg quality.

Keywords : Egg freshness, Image analysis, Egg quality, Air chamber, Storage condition, Nondestructive inspection

1. 서론

계란은 고단백질 영양원으로써 다른 축산물에 비해서 비교적 안전한 식품으로 많은 소비자에게 우수한 축산물로 인식되어져왔다(FAO, 2003). 그러나 계란의 수분함량이 높아 저장과 유통과정에서 계란의 호흡 및 수분증발 등으로 내부의 품질 저하가 발생할 수 있다(Silverside and Villeneuve, 1994). 따라서 계란의 신선도를 포함한 품질 판정과 등급화 기준에 근거한 품질 요인들의 명확한 기준 설정 등의 지속적 품질관리 체계가 확립되지 않는다면 계란도 안전성 논란에 대해서

결코 자유로운 식품이 아니라 할 수 있다. 또한 계란의 자체적인 품질 요인과 더불어 미생물에 의한 오염 가능성도 제기되고 있는 실정이다. 예를 들어, 살모넬라균의 경우에는 계란의 표면 또는 내부로 침투할 수 있으며(Wang and Slavik, 1998; Chang, 2000), 이러한 계란을 조리하지 않고 섭취할 경우, 식중독에 걸릴 위험성이 언제나 존재한다고 보고되었다(Lee, 2000). 최근 사회적 문제가 되고 있는 조류독감의 경우 바이러스에 의한 전염병으로 계란 내부까지의 침입은 불가능하다고 판단되지만, 표면 등에 유착되어 언제든 인간의 건강을 위협할 수 있는 것으로 나타났다(Theron 등, 2003). 따라서 계란의

This work was supported by the Korea Research Foundation Grant funded by the Korean Government (MOEHRD) (KRF-214-D00212). The article was submitted for publication in November 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2007. The authors are Hyeon T. Kim, Researcher, KSAM member, Han J. Ko, Researcher, K. Kato, Professor, Y. Kita, Researcher, T. Nishizu, Assistant Professor, KSAM member, Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan, and Ki Y. Kim, Research Professor, Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul, Korea. Corresponding author: Hyeon T. Kim, Researcher, Division of Environmental Science and Technology, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, 606-8502, Japan; Fax: +81-75-753-6318; E-mail: <bioani@kais.kyoto-u.ac.jp>.

살균에 대한 여러 가지 방법 등이 제시되었고, 실제 현장에서 적용되고 있는 실정이다(Ferreira and Del Mastro, 1998).

生體식품의 안전성은 대부분 신선도라는 개념을 도입하여 맛과 질을 보장하여 왔으며, 유해물질의 함유량을 기준으로 식품으로서의 안전성을 결정하는 요소가 되어 왔다. 계란의 경우에는 신선도를 이용하여 계란의 품질을 결정하는 경우가 가장 보편적이며, 유해물질의 경우에는 소독과 세척과정을 거치면서 식품으로서의 안전성을 확보하도록 하였다. 계란의 신선도를 평가하는 방법에는 여러 가지가 있지만(Baker and Vadehra, 1972; 田名部, 1981) Haugh Unit(HU)을 가장 일반적으로 이용하고 있다(Williams, 1992; Farran 등, 1995). 이 방법은 계란을 활란하여 편편한 바닥에서 내용물의 높이를 측정하여 신선도를 결정하는 방법으로 계란의 내부 품질에 대한 정확한 판단을 내릴 수 있으나, 파괴적인 방법이기 때문에 농장에서 생산된 전체 계란을 대상으로 하거나 유통되고 있는 계란을 대상으로 한 전수조사는 현실적으로 어렵다(Eisen and Bohem, 1963; Arafa 등, 1982). 또한 기존의 파괴적인 신선도 판정법은 측정을 위해 많은 시간과 인력이 필요하며, 전체 개체의 안전성을 예측하기 위해 많은 수의 시료를 대상으로 측정하여 신선도를 유추해야 한다는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하고자 Kim 등(2005)은 근적외선 분광법(NIRS)을 이용한 계란의 신선도 측정 연구를 보고하였고, Laghi 등(2005)은 핵자기공명분광기(NMR)를 이용한 계란의 품질평가 가능성을 제안하였다. 또한 Liu 등(2006)은 가시선투과분광법을 이용하여 비파괴적인 방법으로 계란의 내부 품질을 측정할 수 있고, 적합한 파장대역은 400-600 nm라고 주장하였다. 그러나 앞서 언급한 연구들은 비파괴적인 방법을 적용하여 계란의 품질 평가시 발생하는 파괴적 방법의 단점을 극복할 수 있으리라 사료되지만, 계란의 측정 위치에 따라 발생하는 오차에 대한 언급이 없거나 이를 고려하지 않았다. 즉, 동일한 품질의 계란이라 하더라도 계란 내부의 난황 위치에 따라 다르게 나타날 수 있는 스펙트럼의 반사율이나 투과율에 대한 산란보정이 적절하게 이루어지지 않았다. 그리고, 물리적인 계란 표면의 결함이나 크랙을 검출하기 위하여 영상 및 음향진동 특성에 관한 연구도 보고되어 있다(Cho 등, 1995; Cho 등, 1998; Choi 등, 1999; Choi 등, 2002). 또한 계란의 저장과정에서 품질 변화에 중요한 영향을 미치는 계란의 포장 여부에 따른 품질변수들의 변화에 관한 연구도 미흡한 실정이다(峯木 및 井戸, 1999; FAO, 2003).

따라서 본 연구는 저장과정 중 계란의 포장 유무가 품질 변수인 계란의 무게 손실, 비중 및 기실 변화에 미치는 영향을

관행적인 방법으로 측정하여 계란의 신선도 판정에 기초자료로 활용함과 더불어 난황이 난백내의 위치와 상관없이 기실의 크기를 측정함으로써 계란의 신선도를 측정할 수 있는 영상분석법의 적용 가능성을 평가할 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 공시시료 및 시험설계

본 시험에 이용된 공시시료는 2005년 11월 1일 일본 히로시마현의 양계농가에서 생산된 백색 레그혼종의 흰색 계란을 이용하였다. 총 90개의 계란을 채취하였으며, 각각 45개씩 임의로 추출하여 두군으로 분리하였다. 분리된 하나의 군은 처리구로 저장기간 동안 계란 내부의 수분유지를 위해 비닐 포장처리를 한 반면, 대조구에 속한 계란은 포장처리를 하지 않았다. 두군 모두 상온($26 \pm 1^\circ\text{C}$, 약 40%)에서 저장하였으며, 24일 시험기간 동안 품질관련 변수들의 경시별 변화를 관찰하기 위해 3일 간격으로 각 처리구별로 5개의 계란을 추출하여 품질 변수 및 영상분석 측정에 이용하였다.

Table 1 Statistic data of the egg before storage

Items	Weight (g)			Specific gravity (g/cm^3)	Air chamber (cm^3)
	Total	Packing	Unpacking		
No. of samples	90	45	45	10	10
Mean	66.3224	66.8330	66.1826	1.088	0.36
Max.	69.983	69.983	69.274	1.098	0.46
Min.	64.078	64.097	64.079	1.075	0.30
S.D.	1.7271	1.8304	1.6666	0.007	0.07

Max. = Maximum

Min. = Minimum

S.D. = Standard deviation

2. 계란의 품질 변수 측정

계란의 기실은 산란 후 어미닭의 체온과 외기온의 차이에 의해 외부의 공기가 내부로 유입되면서 생기는 공기주머니이다. 산란 후 저장과정에서 기실의 변화는 계란겉질의 미세한 공극을 통해 내부의 수분이 감소하면서 감소한 수분만큼 외부에서 공기가 유입되면서 점점 기실의 크기가 변하게 된다(FAO, 2003). 따라서 무게, 비중 및 기실의 크기는 계란의 저장과정에서 자연적으로 발생하는 물리적 변수일 뿐더러 상호작용의 결과로서 나타나기 때문에 이를 이용하여 계란의 신선도를 결정할 수 있다.

본 실험에서는 일반적인 계란의 품질 변수일 뿐만 아니라, 대표적인 물리적 변수로 간주되고 있는 무게, 비중 및 기실의 크기를 측정 항목으로 선정하여 각각의 개체에 대해 다음과 같이 측정하였다. 무게는 전자저울(RP-1, Ishida Corp., Japan)을 이용하여 측정하였고, 비중은 수중에서의 무게 측정이 가능하도록 변형된 전자기식 저울(HF400, A&D Company, Japan)을 이용하여 계산하였다(Hamilton, 1982). 또한 계란의 최장축과 최단축의 길이를 버니어캘리퍼스로 측정하였고, 기실의 크기는 앞서 설명한 시험 기간에 따라 처리구별로 5개씩 총 10개의 계란을 임의로 추출하여 동시에 측정하였다. 측정 방법은 기실이 있는 부분의 외부 난각으로 주사기를 이용하여 물을 기실 가득 주입 한 후 주입 전후의 무게 차이로 기실의 크기를 측정하였다.

3. 영상분석 측정

영상분석을 이용한 계란의 기실 크기를 추정하고자 앞에서 언급한 품질 변수들의 측정에 앞서 고해상도 카메라와 광원을 일정거리에 설치하여 계란의 영상을 획득하였다(Fig. 1). 본 영상분석에 사용된 광원은 150 W 할로젠 램프(PCH-HRX, NPI Corp., Japan)를 이용하였다. 카메라 렌즈에 다양한 범위의 간섭필터를 부착하여 예비실험 한 결과를 기초로 기실의 영상획득에 가장 적합하다고 판단한 501.6 nm 간섭필터를 부

착된 고해상도 카메라(C5985, Hamamatsu, Japan)를 이용하여 계란의 기실영상을 획득하였다. 간섭 필터를 부착한 이유는 계란 내부 난황의 영향으로 빛의 투과가 어려워 난황에 대한 간섭을 최소화하기 위함이며, 간섭필터의 사용에 따른 빛의 투과도가 낮아져 짧은 시간으로 계란의 기실의 영상획득이 불가능하여 영상의 노출시간을 8초로 비교적 길게 하였다. 기실의 측정을 위하여 계란의 위치는 기실이 영상내부에 포함될 수 있도록 수동으로 광원 위에 올려놓았다. 영상자료를 통한 계란의 기실을 추정하기 위해 검출된 계란과 기실의 영상 중 수평축으로 가장 긴 부분의 계란 화소수와 기실 화소수를 측정하여 경시별 기실의 변화를 추정하였다. 이는 기실 화소수만을 측정할 경우 카메라와 대상체사이의 측정거리에 따른 오차가 발생할 수 있는 것을 방지하기 위함이다.

4. 통계 분석

본 연구에서 제시된 계란의 품질 변수인 무게, 비중 및 기실의 크기는 5개 계란의 분석결과 평균을 나타낸 것으로, 계란의 포장 유무에 따른 품질 비교는 SAS package program (1999)을 이용하여 검정하였다. 또한 비파괴적인 방법에 의한 계란의 신선도 평가 가능성을 살펴보고자 영상분석에 의한 자료와 물리적 방법에 의한 측정치간의 상관관계를 추정하였다.

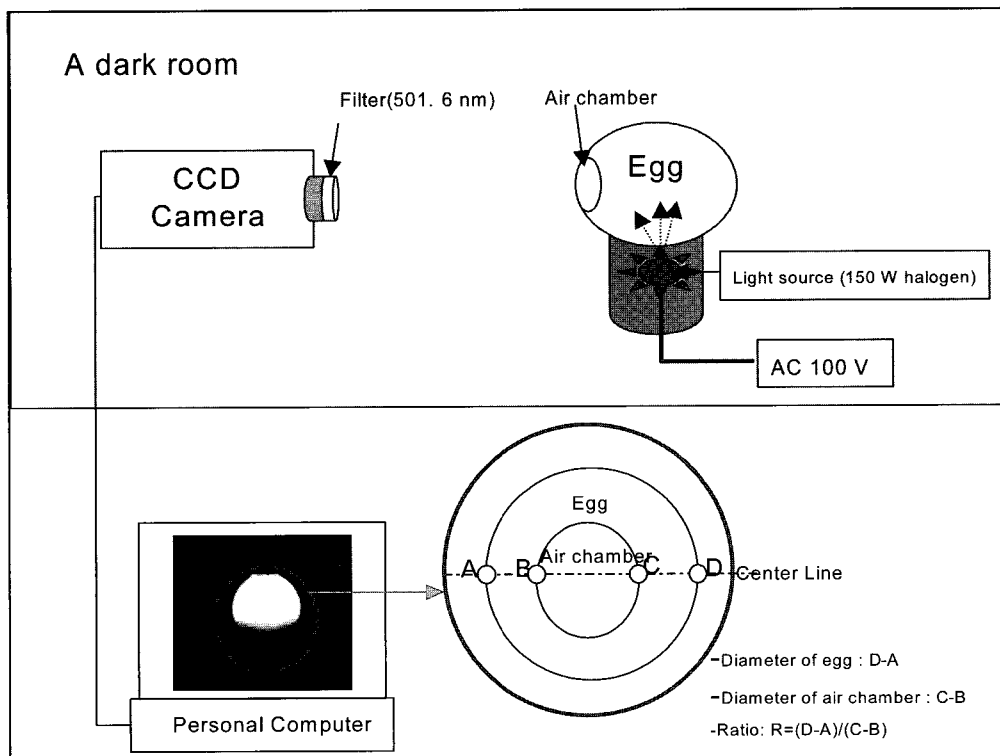


Fig. 1 An outline of test for routine image capture and analysis.

III. 결과 및 고찰

1. 난중(egg weight)의 변화

본 시험의 시작일 부터 총 24일의 저장기간 동안 나타난 계란의 무게 변화는 그림 2에서 보는 바와 같다. 외부와의 공기 흐름이 일어나지 않게 밀폐된 상태의 포장 계란은 저장 기간 동안 약 1.73 g의 무게 손실이 발생한 반면 비닐로 밀폐하지 않고 저장한 비포장 계란은 약 5.63 g의 무게가 감소한 것으로 측정되었고, 계란의 무게 손실은 포장 유무에 따라 통계적으로 유의적인 차이가 인정되었다($p < 0.05$). 즉 비포장 상태의 계란은 자연적인 저장 조건하에서 초기 무게의 7-8%에 해당되는 무게 감소가 발생하게 되는데 이러한 원인은 저장 과정에서 계란 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분 유출 때문인 것으로 사료된다. 본 결과는 계란의 저장과정에서 무게가

감소한다는 田名部(1981)의 연구결과와 일치하였다.

2. 비중(specific gravity)의 변화

저장 기간에 따른 계란의 비중 변화를 그림 3에 나타내었다. 계란의 포장 유무에 따라 저장 기간 중 비중이 차이가 있는 것으로 측정되었고 통계적으로도 큰 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 저장 기간 전후의 비중의 변화를 살펴보면, 포장된 계란의 경우에는 약 2%의 비중이 감소한 반면, 비포장 계란의 경우에는 8% 정도의 비중 감소가 일어나 최종적으로는 비중이 1에 가까운 것으로 조사되었다. 본 시험결과는 저장 기간 중 비중이 직선적으로 감소한다는 연구 보고(Hamilton and Thompson, 1981)에서도 확인 할 수 있었다. 한편 We 등(2005)은 닭의 품종과 사료내 단백질 수준에 따라 계란의 비중이 차이가 있다고 하였지만 그 차이는 시험오차 수준

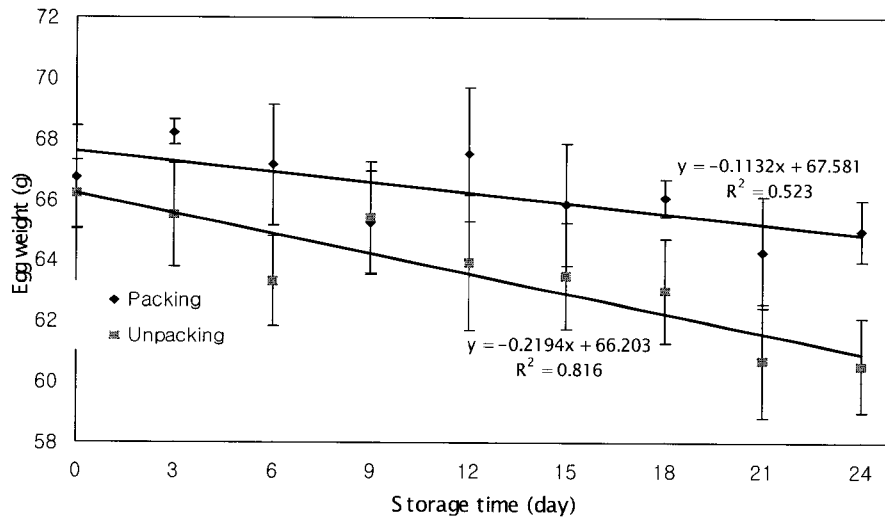


Fig. 2 Changes in egg weight during storage under packing and unpacking conditions.

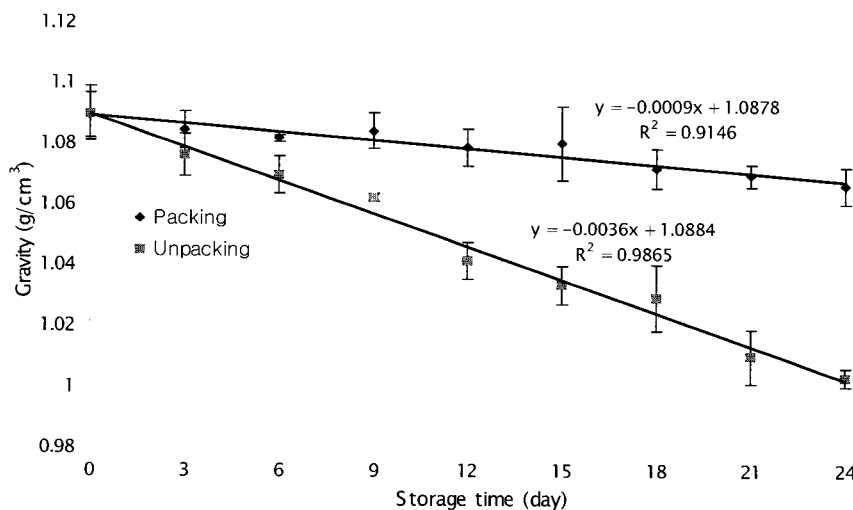


Fig. 3 Changes in gravity during storage under packing and unpacking conditions.

보다 미미하고 일반적인 계란의 비중 범위를 초과한 수준이 아니라 판단되어 비중을 이용한 신선도 측정방법도 가능하리라 사료된다. 저장 기간 중 발생하는 비중의 감소 원인은 저장 기간 동안 수분의 증발에 의한 기실 크기의 증가 때문인 것으로 판단된다.

3. 기실(air chamber)의 체적 변화

그림 4는 저장 기간에 따른 계란의 기실 체적 변화를 경시별로 나타내었다. 앞서 언급했던 무게와 비중의 변화와 같이 계란의 포장 유무에 따라 기실의 체적 변화가 차이를 보이는 것으로 측정되었으며, 통계적으로도 고도의 유의성이 인정되었다($p < 0.01$). 저장 기간 전후의 변화된 기실의 체적 변화를 살펴보면, 포장 상태의 계란은 저장 후 약 3-8배 정도로 기실

이 커진 반면, 비포장 상태의 계란은 약 15-20배 정도로 기실의 크기가 증가한 것으로 나타났다. 현재 계란의 내부 품질 평가 및 등급 결정 시 여러 가지 품질 요인 중 기실의 크기를 보다 중요한 항목으로 간주하고 있는 실정이며, 이는 투광 검사의 간편함과 동시에 기실의 크기에 따른 명확한 구별이 가능하기 때문이다(USDA, 1995).

4. 영상분석을 이용한 기실의 크기 측정

본 실험결과에 의하면 기실의 크기의 변화는 계란의 포장 유무에 따른 차이는 있으나, 외부의 공기가 계란내부로 유입되어 계란의 무게와 비중이 감소하는 동시에 기실의 크기가 커지는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 계란의 기실크기의 변화를 이용하여 신선도를 유추하고자하며, 가장 대표적인

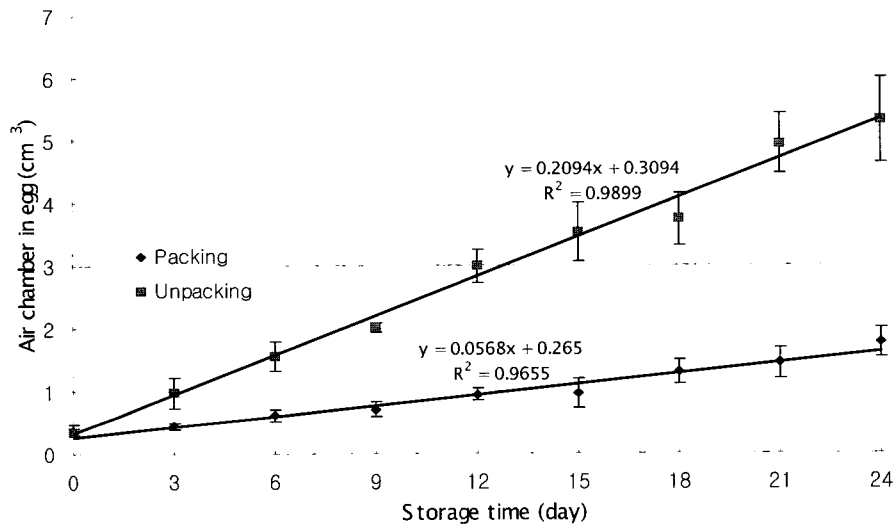


Fig. 4 Changes in volume of air chamber during storage under packing and unpacking conditions.

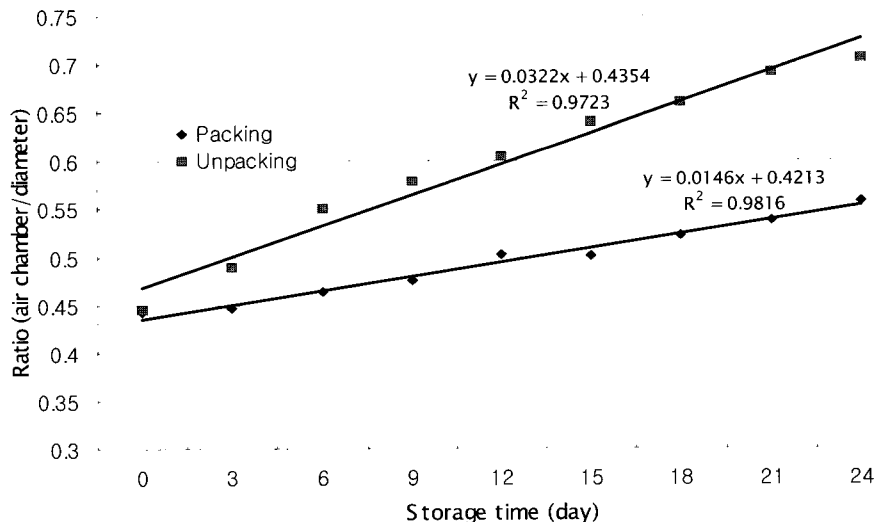


Fig. 5 Changes in ratio of air chamber to diameter during storage under packing and unpacking conditions.

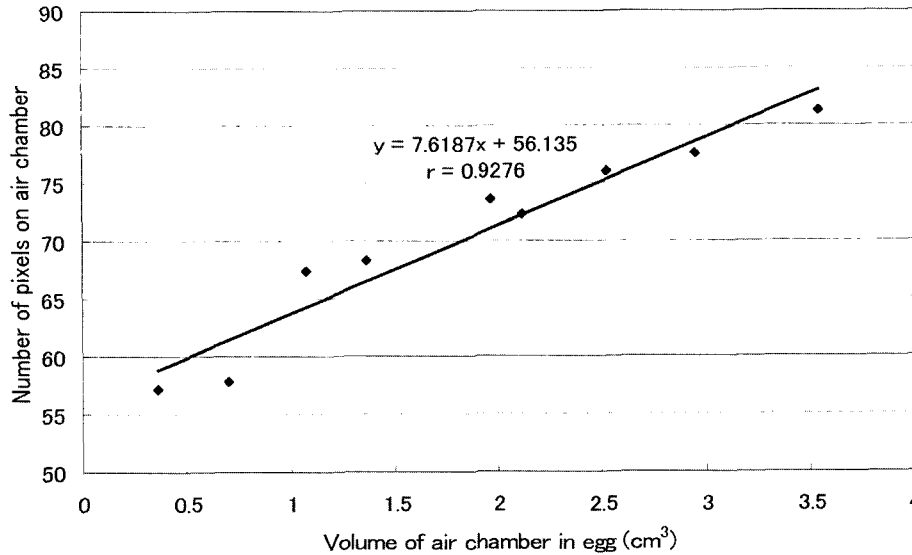


Fig. 6 Relationship between conventional and image analysis method for measuring size of air chamber in egg.

품질변화를 추정할 수 있는 변수중의 하나로 기실의 크기를 영상을 통해서 측정하였다. 그림 5는 시험기간 동안 계란의 기실의 변화를 고감도 CCD 카메라를 통해서 측정한 결과로서 저장기간에 따라 계란이 차지하는 영상내의 화소수와 기실이 차지하는 영상내 화소수의 비로서 나타내었다. 기실의 체적 영상은 다른 품질 변수들과 같이 포장 유무 및 저장 기간에 따라 확연한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

5. 기실의 크기와 영상화소수의 상관

본 연구는 호우유닛(HU)과 같은 기존의 파괴적인 방법에서의 계란의 신선도 측정 방법을 대체할 수 있는 비파괴적 측정법을 모색하고자 계란에 대한 영상분석을 실시하였고, 기실의 체적과 영상내의 기실의 크기(화소)를 비교하였다. 그림 6은 시험기간 중 매 3일마다 포장 유무에 관계없이 각각 5개씩 10개의 계란에 대한 평균값을 비교한 그래프이다. 영상내 화소수와 실제 물을 이용하여 측정한 기실의 체적사이에는 0.928의 높은 상관을 가지는 것으로 분석되었다. 또한 영상측정거리에 따른 오차발생을 최소화하기 위해서 계란의 직경과 기실의 직경의 비를 영상을 이용하여 구하여 기실의 체적과 상관관계를 분석한 결과 0.8774의 상관을 나타내었다. 이는 영상내 화소는 2차원적 해석값인 반면, 기실의 체적은 3차원 물리값이기 때문에 약간의 오차가 발생한다는 것을 고려하더라도 영상분석을 이용한 계란의 기실 체적의 측정이 가능하다고 판단된다. 또한 기실의 크기가 계란의 신선도를 결정하는 하나의 변수인 것을 고려한다면, 기실의 크기를 영상을 통한 측정함으로써 비파괴적인 방법으로 신선도의 유추가 가능

할 것으로 판단된다. 따라서 추가연구를 통해 이러한 2차원적인 영상해석에서 발생하는 오차를 입체 3차원 영상 등의 보완을 통하여 기실의 변화를 통한 계란의 신선도를 비파괴적으로 측정하는데 적용 가능할 것으로 사료된다.

IV. 요약 및 결론

계란은 다른 농축산물에 비해 상대적으로 안전하다고 알려져 있으나 유통과 저장과정에서 품질 저하가 발생할 수 있고, 살모넬라나 조류독감에 의한 오염 가능성에 노출되어 있기 때문에 지속적인 품질관리가 필수적이다. 현재 계란의 품질을 평가하기 위해 다양한 품질 평가법이 이용되고 있으나 이들 대부분은 파괴적인 방법으로 계란의 품질을 측정하기 때문에 농가 단위에서나 유통되고 있는 계란을 대상으로 한 전수조사에는 적합하지 않다. 따라서, 본 연구는 계란의 저장과정에서 발생하는 품질 변수의 변화를 파악하고, 비파괴적인 방법으로 계란의 신선도를 측정할 수 있는 영상분석법의 적용 가능성을 평가하고자 수행되었다. 총 90개의 계란을 수집하여 24일간 보관하였으며, 저장기간 및 포장유무에 따른 계란의 품질 변화를 조사하고자 3일 간격으로 계란의 무게, 비중 및 기실의 크기를 측정하였다. 또한 파괴적인 측정에 앞서 비파괴 분석법인 영상분석을 실시하였다. 본 연구 결과 계란의 저장기간이 증가함에 따라 계란의 무게와 비중이 감소한 반면 기실의 크기는 직선적으로 증가하는 것으로 나타났다. 기실의 크기가 증가하는 이유는 계란의 수분이 난각을 통해 외부로 증발하였기 때문이다. 계란의 기실 크기를 측정하

기 위해 이용한 관행적인 방법과 영상분석 방법 간에는 0.928의 높은 양의 상관관계를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 기실의 크기 변화가 계란의 신선도를 나타내는 하나의 변수로 고려한다면, 계란 내부의 기실 크기 변화를 측정할 수 있는 영상분석법은 계란의 신선도나 내부 품질 판정에 유용하게 적용할 수 있는 비파괴적인 방법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. Arafa, A. S., R. H. Harms, R. D. Miles, R. B. Christmas and J. H. Choi. 1982. Quality characteristics of eggs from different strains of hens as related to time of oviposition. *Poult. Sci.* 61(5):842-847.
2. Baker, R. C. and D. V. Vadehra. 1972. Comparison of candling eggs with other methods of determining internal egg quality. *Poult. Sci.* 51(3):991-994.
3. Chang, Y. H. 2000. Prevalence of *Salmonella* spp in poultry broilers and shell eggs in Korea. *J. Food Protect* 63:655-658. (In Korean)
4. Cho, H. K. and Y. Kwon. 1995. Detection of surface defects in eggs using computer vision. *Journal of Biosystems Engineering* 20(4):368-375. (In Korean)
5. Cho, H. K., W. K. Choi and J. H. Paek. 1998. Crack detection in eggshell by acoustic responses. *Journal of Biosystems Engineering* 23(1):67-74. (In Korean)
6. Choi, W. K., H. K. Cho, J. H. Paek, Y. C. Chang and K. S. Yon. 1999. On-line detection of cracks in eggshell. *Journal of Biosystems Engineering* 24(3):253-258. (In Korean)
7. Choi, W. K. and H. K. Cho. 2002. The acoustic vibration properties for chicken eggs. *Journal of Biosystems Engineering* 27(4):283-300. (In Korean)
8. Eisen, E. J. and B. B. Bohem. 1963. Some problems in the evaluation of egg albumen quality. *Poult. Sci.* 42:74-83.
9. FAO. 2003. Egg marketing-A guide for the production and sale of eggs. pp. 29-93.
10. Farran, M. T., M. G. Uwayjan, A. M. Miski, F. T. Sleiman, F. A. Adada and V. M. Askikarian. 1995. Effects of the feeding raw and treated common vetch seed on the performance and egg quality parameters of laying hens. *Poult. Sci.* 74:1630-1635.
11. Ferreira, L. F. S. and N. L. Del Mastro. 1998. Rheological changes in irradiated chicken eggs. *Radiat. Phys. Chem.* 52:59-62.
12. Hamilton, R. M. G. 1982. Method and factors that affect the measurement of egg shell quality. *Poult. Sci.* 57:1192-1197.
13. Hamilton, R. M. G. and B. K. Thompson, 1981. The effects of storage duration on nondestructive deformation, quasi-static compression strength, impact fracture strength, and specific gravity of eggs from white leghorn hens. *Poult. Sci.* 60: 517-522.
14. Kim, S. H., S. J. Lee, D. S. Lee, W. B. Cho, S. H. Lee, S. Borden, Y. A. Woo and H. J. Kim. 2005. Non-destructive measurement of the egg freshness by near infrared spectrometry. *Journal of the Korean Chemical Society* 49(6):531-536. (In Korean)
15. Laghi, L., M. A. Cremonini, G. Placucci, S. Sykora, K. Wright and B. Hills. 2005. A proton NMR relaxation study of hen egg quality. *Magn. Reson. Imaging* 23:501-510.
16. Lee, J. 2000. New *Salmonella* finding-inter-bacterial communication. *Agr. Res.* 48(1):10-11.
17. Liu, Y., Y. Ying, A. Ouyang, and Y. Li. 2006. Measurement of internal quality in chicken eggs using visible transmittance spectroscopy technology. *Food Control* 18:18-22.
18. SAS. 1999. SAS user's guide : Statistics, SAS Inst., Inc., Gary, NC., USA.
19. Silverside, F. G. and P. Villeneuve. 1994. Is the Haugh unit correction for egg weight valid for eggs stored at room temperature. *Poult. Sci.* 73:50-55.
20. Theron, H., P. Venter and J. F. R. Lues. 2003. Bacterial growth on chicken eggs in various storage environments. *Food Res. Int.* 36:969-975.
21. USDA. 1995. Egg and Poultry Production. Agricultural Marketing Service. Washington D.C.
22. Wang, H. and M. K. Slavik. 1998. Bacterial penetration into eggs washed with various chemicals and stored at different temperatures and times. *J. Food Protect.* 61:276-279.
23. We, G., Z. Liu, M. Bryant and D. A. Roland. 2005. Performance comparison and nutritional requirements of five commercial layer strains in phase IV. *Int. J. Poultry Sci.* 4:182-186.
24. Williams, K. C. 1992. Some factors affecting albumen quality with particular reference to Haugh unit score. *World's Poultry Sci. J.* 48:5-16.
25. 峯木 眞知子, 井戸 明美. 1999. 卵の貯蔵による品質の變化. *青葉學園短期大學紀要* 24:73-81.
26. 田名部 尚子. 1981. タマゴの利用學. *鶏の研究* 56(1):64-68.