

계란의 저장 · 보관 조건에 따른 위생적 품질 변화

김종규 · 박정영 · 김종순*†

계명대학교 식품보건학부 공중보건학전공
*계명대학교 경영공학과

Effects of Storage Time and Temperature on the Hygienic Quality of Shell Eggs

Jong-Gyu Kim, Jeong-Yeong Park, and Joong-Soon Kim*†

Major in Public Health, Faculty of Food and Health Sciences, Keimyung University, Korea
*Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea

ABSTRACT

Objectives: This study was performed to examine the effects of storage time and temperature and their interaction on the hygienic quality parameters of shell eggs.

Methods: Eggs from 40-week-old Hy-Line Brown hens were sampled immediately after being laid and subjected to storage periods of four weeks at a refrigerated temperature (4-5°C) or room temperature (13.0-19.7°C). Interior/exterior qualities were examined every one week.

Results: Weight loss was 2.4-3.1%. The initial specific gravity of the eggs was maintained until one week at both temperatures. Air cell size exceeded 4 mm when stored for one week at room temperature, and two weeks at refrigerated temperature. Albumen index and Haugh unit were significantly decreased at both temperatures after one week ($p<0.001$). Rapidly increased pH of the albumen with one week of storage was observed, regardless of temperature ($p<0.001$). Extension of the storage for up to four weeks at room temperature resulted in remarkable deterioration of eggshell quality and instrumental color as redness (a). Air cell size, albumen and yolk indices, Haugh unit, pH of albumen and yolk were found to be influenced by storage time and temperature ($p<0.001$). Interaction effects between storage time and temperature were also significant for air cell size, pH of albumen and yolk ($p<0.001$).

Conclusion: The results suggest that air cell size and pH of albumen and yolk were important parameters influenced by storage time and temperature in shell eggs. Storage time was more influential for air cell size, and temperature for the pH of yolk. Both variables almost equally influenced the pH of albumen.

Key words: Interior/exterior quality, shell eggs, storage, temperature, time

I. 서 론

예로부터 50 g짜리 완전식품으로 불리는 계란은 어느 나라 어느 민족이나 섭취하는 식품이다. 단일식품으로 높은 영양가에 비해 에너지가 낮고 소화 흡

수가 잘 되며 가격이 저렴한 편이므로 식생활에 많이 애용되고 있다.¹⁾ 우리나라에서 계란 소비량을 보면 1인당 연간 소비량은 1975년에 82개였던 것이 1980년 119개, 1990년 167개, 2000년 180개, 그리고 2010년 236개로 꾸준히 증가하였다.²⁾

†Corresponding author: Department of Industrial and Management Engineering, Keimyung University, Daegu, 42601 Korea, Tel: +82-53-580-5289; Fax: +82-53-580-5165, E-mail: jskim@kmu.ac.kr

Received: 14 October 2015, Revised: 13 December 2015, Accepted: 15 December 2015

계란은 대표적인 소비재 농산물로서 원자재 농산물과 달리 한 곳으로 집중되지 않고 다양한 경로로 이루어지기 때문에 안전관리가 취약해질 수밖에 없다. 우리나라에서 소비재 농산물 중 채소나 과일의 경우 도매시장과 대형 소매유통업체를 통해 상당한 물량이 유통되기 때문에 어느 정도 모니터링이 가능하지만, 계란의 경우 도매시장조차 존재하지 않으므로 위생문제가 발생할 가능성이 높은 산업이다. 정부는 2001년 12월부터 품질과 규격에 따른 공정거래와 계란의 유통개선을 위하여 계란등급제를 시범 사업으로 실시하였으며, 축산물가공처리법(현 축산물위생관리법) 개정으로 2002년 7월부터는 계란의 안전성 관리가 강화되었다.^{3,4)}

그럼에도 난가공업에서 때때로 난각이 손상되어 상품성이 없는 계란을 처리하기 위한 방편으로 액란을 가공함으로써 수시로 위생·안전 문제가 발생하게 되는 것이다. 국내에서 제조되는 난가공품은 주로 액란(전란액, 난황액, 난백액)이 주를 이루고 가열성형 제품과 염지란이 뒤를 잇는다. 난가공품이 사회적으로 관심을 불러일으킨 것은 2009년 부화중지란을 액란으로 제조유통시켜 무더기로 적발된 사건 이후이다. 이를 계기로 2010년 알가공품의 가공기준과 품목별 성분규격(검역원 고시 제2010-1호, 2010.3.12)이 설정되었다.⁵⁾ 자료에 의하면 2011년 현재 계란가공업체수는 100여개 인 것으로 나타나며 그 중 HACCP 인증을 받은 사업장 수는 44개에 불과하다.⁶⁾ 인증업체라도 대부분이 영세하며, 정상란 이외의 난각란으로는 유통이 불가능한 파란, 오란 등을 액란의 원료로 사용하는 등 안전성 문제가 잠재되어 있는 실정이다. 2015년에도 깨지거나 분변에 오염되어 폐기 대상 계란으로 제조된 액란이 여러 규모의 제과·제빵 업체, 학교급식 등에 납품 된 것으로 드러나 사회적 물의를 빚었다. 문제가 된 난가공업체는 HACCP 인증을 받은 업소로서 국민들에게 충격을 주었다.⁷⁾

난가공품의 주를 이루는 전란액 등 액란제품은 중간재로서 소비자들이 이들 제품을 직접 구매하는 것이 아니라 제과나 제빵의 원료, 어묵과 육가공품의 결합제, 냉동식품 등 그 용도가 다양하여 수요도 가장 많다. 또 그 사용량은 증가될 전망이다.⁸⁾

계란의 신선도는 저장·보관 조건에 따라 달라진다는 것이 잘 알려져 있다. 또 많은 선행 연구들에서 이를 밝히고 있다. 대표적인 것으로 계란의 보관 온

도 및 보관 기간에 따른 차이, 산란계의 품종이나 계령에 따른 차이, 난각 처리(코팅제 사용)에 의한 품질변화 억제, 특수 저장 시설을 이용한 신선도 억제 및 저장성 향상 등이 지속적으로 탐구되고 있다.^{9,10)} 선행연구들에서 밝히고 있는 것은 계란의 저장·보관 기간이 길어짐에 따라, 그리고 저장·보관 온도에 따라 신선도가 저하된다는 것이 공통적인 견해이다. 특히 보관 방법으로서 온도와 저장 기간에 따라 신선도가 저하된다는 것이 주지의 사실이며, 또 이 두 가지 주요 요인에 따른 신선도 차이를 보는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그럼에도 이 두 가지 요인이 서로 어느 정도로 영향을 미치는 지에 대해서는 국내·외적으로 구체적인 연구결과가 별로 없으며 여전히 논란 속에 있다. 그러므로 본 연구에서는 저장·보관 온도와 기간에 따라 구분하여 계란(난각란)의 내부 및 외부 위생적 품질 변화를 관찰하고 온도와 기간이라는 두 가지 변인이 위생적 품질 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 구득 및 처리

본 연구에서는 우리나라 계란 시장에서 점유율이 가장 높은 하이라인브라운(Hy-Line Brown) 갈색란을 시료로 사용하였다. 경북지역에 위치한 일 농장에서 40주령의 하이라인브라운 산란종계로부터 산란 직후 집란한 50 g 이상의 갈색란을 구득하였다.

본 연구에서 계란의 저장·보관 기간은 현행 계란의 유통기한인 1달을 고려하여 최대 4주로 하였다. 구득한 계란을 보관 기간에 따라 초기, 1주, 2주, 3주 및 4주의 시료군으로 나누고, 각 주별 시료군을 다시 보관 온도별로 냉장보관, 실온보관으로 하위 시료군을 설정하였다. 이와 같이 10개 시료군으로 각각 20개씩 중량에 따라 무작위 배치(총 200개)하여 실험을 수행하였다.

2. 시료 저장·보관 기간 및 온도

계란의 저장·보관 기간은 4월 중순부터 5월 중순까지 4주간이었다. 저장·보관 중 냉장온도는 4~5°C, 실온은 13.0~19.7°C이었다. 냉장온도 및 실온에 저장·보관한 계란 시료를 1주 간격으로 채취하여 즉시 처리하였다.

3. 측정항목 및 방법

계란의 등급은 일반적으로 품질등급과 중량규격으로 구분된다. 우리나라에서 계란의 위생관련 품질은 세척한 계란에 대하여 외관, 투광 및 할란 판정을 거쳐 품질을 평가하고 있다. 본 연구에서는 계란 시료에 대해 외관을 비롯한 외부적 품질 평가, 그리고 할란을 통한 내부적 품질 평가를 수행하였다. 우리나라 축산물의 가공기준 및 성분규격에서 계란의 등급판정기준이 제시된 항목에 대해서는 이에 따라 품질을 판정하고 제시되지 않은 항목에 대해서는 선행 연구들 및 자료에 의거하여 판정하였다.^{5,15,16)}

1) 외부적 품질평가

외부적 품질 평가로는 외형(난형), 크기(중량), 비중, 난각 상태(질과 색도) 등을 평가하였다. 외형은 둔단부와 첨단부를 연결하는 최대 길이(L)와 이것에 직각인 최대 길이(W)를 눈금자로 측정하여 난형계수(Shape index = $W/L \times 100$)를 산출하였다.

계란의 크기(중량)를 측정하고 우리나라 축산물 등급판정 세부기준에 의하여 구분하였다.^{5,15)} 중량 감소율(감모율)은 초기 중량과 일정 저장·보관 기간 경과 시 측정된 중량의 차이를 초기 중량에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

계란의 비중은 식염수부침법(saline flotation method)을 이용하여 측정하였다. 계란은 산란 후로부터 시간이 경과함에 따라 기실이 발달하여 매일 조금씩 비중이 감소/축소되며 오래 될수록 비중이 저하되므로 비중은 신선도의 평가기준이 된다. 그 판정에 오래 전부터 식염수에 의한 부침법이 활용되고 있다.^{16,17)} 비중 측정에 이용된 식염수 용액은 순도 99.5%의 시약용 NaCl(Dae-Jung Chemicals and Metals, Korea)을 사용하여 조제하였다. NaCl을 증류수에 녹이고, 비중계를 이용하여 5%(비중 1.0354), 6%(비중 1.043), 8%(비중 1.059), 10%(비중 1.073) 및 11%(비중 1.081) 용액을 제조하고, 각 용액에 떠오르거나 가라앉은 현상을 통해 비중을 판정하였다.¹⁵⁻¹⁷⁾

난각의 색은 품종에 따라 다르며 위생적 품질 감정의 주요 요인이 되지는 않으며, 품질 등급판정 기준에는 제시되어 있지 않다. 그렇지만 오래된 난의 난각의 질이나 색은 변화될 수 있으므로 본 연구에서는 난각의 상태를 육안적으로 관찰하고 색차

계(Konica Minolta CR-10, Japan)를 사용하여 난각의 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)를 측정하였다.

2) 내부적 품질 평가

내부적 품질로는 할란검사를 통해 품질 평가의 주요 지표인 기실의 크기, 난황 및 난백계수, 그리고 호우단위를 측정하였다. 더불어 난백 및 난황의 색도와 pH를 평가하였다. 할란하여 기실의 크기(깊이)를 버니어 캘리퍼(Vernier calipers, Jewoo, China)로 측정하였다. 기실의 최저 깊이와 최고 깊이를 평균하여 나타내었다. 우리나라 축산물 등급판정 세부기준에 의하면 기실 깊이가 4 mm 이내 A급, 8 mm 이내 B급, 12 mm 이내 C급, 12 mm 이상은 D급으로 본다.

깨끗한 유리판(50×50 cm)에 계란의 내용물을 옮기고 난황의 색깔을 색차계에 의하여 측정하였다. 난황의 높이 및 직경, 그리고 난백의 높이 및 직경을 Vernier calipers로 측정하여 난황계수(난황의 높이/난황의 직경)와 난백계수(난백의 높이/난백의 직경)를 산출하였다. 또 계란의 중량(W) (g)과 농후난백의 높이(H) (mm)에 의하여 호우단위(Haugh Units)를 산출하였다[호우단위(HU)= $100 \log(H+7.57-1.7W^{0.37})$]. 이 경우 난백의 높이는 Vernier calipers로 난황에서 1 cm 떨어진 지점에서 측정하였다. 신선란의 난황계수는 0.4 정도, 난백계수는 0.06 정도를 나타내며 호우 단위는 72 이상을 A급으로 판정한다.^{1,15,16)}

계란의 pH는 위생적 품질등급 판정 기준에는 제시되어 있지 않으나, 계란과 계란 제품의 pH는 품질과 가공에 있어서도 중요한 요인이므로 신선도 평가의 유용한 지표가 될 수 있다.¹⁶⁾ 계란의 난황과 난백을 분리한 후 각각을 취하여 호모게나이저를 이용하여 2,000×g에서 1분간 균질화하였다. 이 시료를 pH meter(Model 520A, Orion, U. S. A)를 이용하여 pH를 측정하였다.

4. 자료의 처리 및 통계분석

계란의 위생지표 품질 측정 자료는 Minitab(R) 15.1(Minitab Inc., PA, U. S. A.)을 이용하여 분석하였다. 측정항목별로 평균과 표준오차를 계산하여 제시하였다. 저장·보관 기간별로 차이 여부를 알아보기 위하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA,

analysis of variance) 및 Duncan's multiple range test 를 수행하였다. 저장·보관 온도(냉장온도 및 실온) 별 차이 여부를 알아보기 위하여 t-검정(Student t-test)을 수행하였다. 또한 온도 및 기간과 주요 품질 지표와의 연관성을 알아보기 위하여 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 수행하였다. 통계적으로 유의한 차이는 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

III. 결 과

1. 외부적 품질 평가 결과

1) 외형 변화

초기 시료 계란의 난형계수(shape index, SI)는 76.1~77.4%였으며 냉장온도 및 실온에서 모두 1주 경과 시에 SI가 각각 평균 73.9% 및 72.6%로 유의하게 감소하였다($p < 0.001$). 이후에도 감소하는 경향이었지만 더 이상의 유의한 차이는 없었으며, 4주 경과 시 SI는 냉장온도에서 평균 71.9%, 실온에서 70.9%였다. 저장·보관 온도별로 외형에서 유의한 차이는 없었다.

2) 중량 변화

계란의 저장·보관 중 중량을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 초기 시료 계란의 중량은 57.3~57.5 g이었다. 우리나라에서 계란의 중량규격에 대한 축산물 등급판정 세부기준에 의하면 대란(52 g 이상~60 g 미만)에 해당하였다.^{5,15)} 계란의 중량은 냉장온도에서는 3주 경과 시 유의한 감소를, 그리고 실온에서는 1주 경과 시 유의한 감소를 보였다($p < 0.001$). 냉장온도에서는 4주 후 감모율(중량 감소율)이 2.4%였으나 실온에서는 3주 후 2.4%, 그리고 4주 후 3.1%였다. 저장·보관 온도별로 중량에서 유의한 차이는 없었다.

난각 중량은 초기에 7.6~7.7 g이었으며 냉장온도 및 실온에서 모두 약간 감소하는 경향이었으나 4주 경과 시까지 유의한 변화를 보이지 않았다. 난황 중량은 초기에 14.0 g이었으며 냉장온도에서는 4주 경과 시에 13.7 g으로 유의하게 감소하였고, 실온에서는 3주 경과 시에 13.7 g으로 유의하게 감소하였다($p < 0.001$). 난백 중량은 초기에 36.0~35.7 g이었으며 냉장온도에서는 4주 경과 시에 34.7 g으로 유의하게 감소하였고 실온에서는 1주 경과 시에 35.2 g으로 유의하게 감소하였다($p < 0.001$).

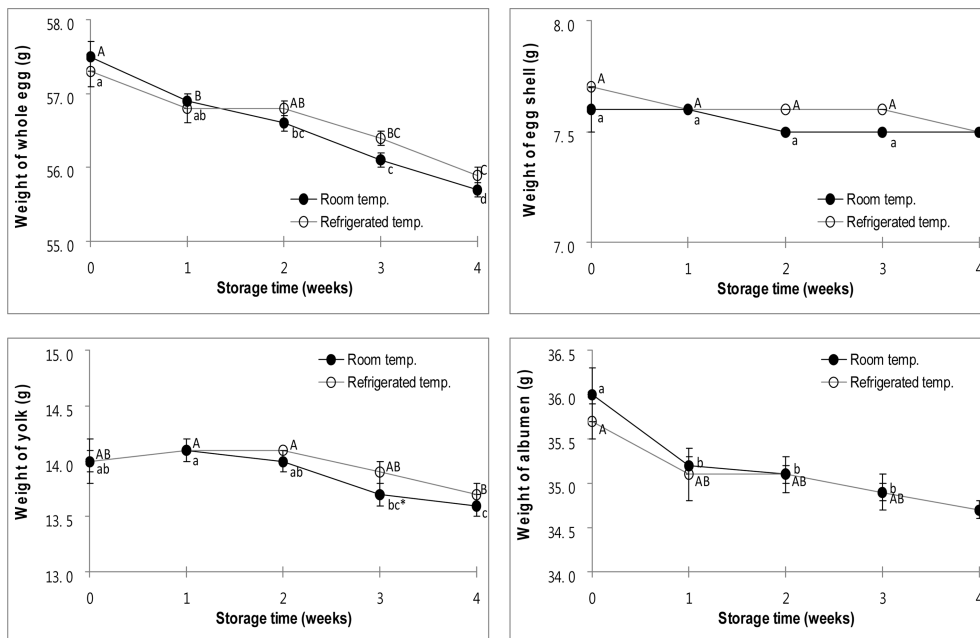


Fig. 1. Changes of weight of whole egg, egg shell, yolk, and albumen during storage at refrigerated temperature or room temperature. Each point represents the mean \pm S.E. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p < 0.001$). The asterisks indicate significant differences between refrigerated temperature and room temperature by t-test (*: $p < 0.05$).

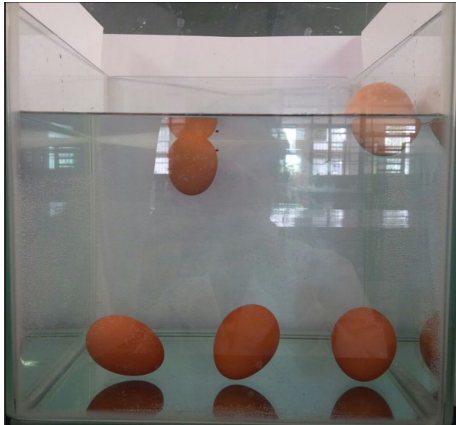


Fig. 2. Determination of specific gravity of eggs using the saline flotation method in 11% NaCl solution.

3) 비중 변화

계란의 저장·보관 중 비중을 식염수부침법에 의하여 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 초기 계란 시료는 모두 11% 식염수에 가라앉아 비중 1.081 이상이였다.

냉장온도에서는 1주 경과 시에도 여전히 초기 비중을 유지하였으며, 2주에는 1.073, 3주에는 1.059, 그리고 4주에 1.043을 나타내었다. 실온에서는 1주 경과 시에 역시 초기 비중을 유지하였지만 2주에는 1.060, 3주에는 1.043, 그리고 4주에는 1.035를 나타내었다. 즉 냉장온도 및 실온에서 모두 1주 경과 시까지 초기 비중(1.081)을 유지하였으나 2주 경과 시부터 각각 1.073 및 1.060으로 현저한 차이를 보였다.

4) 기실 변화

계란의 저장·보관 중 기실의 크기(깊이)를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 초기에는 기실이 거의 발달되지 않았으며 1.4~1.8 mm이였다. 냉장온도에서는 기실이 1주 경과 시에 1.9 mm(A등급)로 유의한 차이가 없었으나, 2주에 8.4 mm(B등급) ($p < 0.001$), 3주에 10.0 mm(C등급) ($p < 0.001$), 4주에 11.1 mm(C등급) ($p < 0.001$)로 점차 증가하였다($p < 0.001$). 실온에서는 기실이 1주 경과 시 4.3 mm(B등급) ($p < 0.001$), 2주에 9.6 mm(C등급) ($p < 0.001$), 3주에 13.4 mm(D등급) ($p < 0.001$), 4주에 14.6 mm(D등급) ($p < 0.001$)로 지속적으로 크게 발달하였다($p < 0.001$). 저장·보관 온도별로 기실의 발달은 1주 경과 시부터 유의한 차이를 보였다($p < 0.001$).

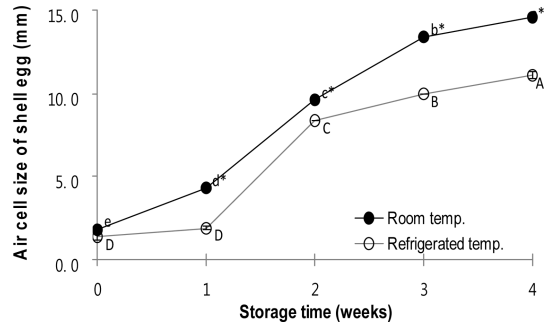


Fig. 3. Changes of air cell size of shell eggs during storage at refrigerated temperature or room temperature. Each point represents the mean \pm S.E. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p < 0.001$). The asterisks indicate significant differences between refrigerated temperature and room temperature by t-test ($p < 0.05$).

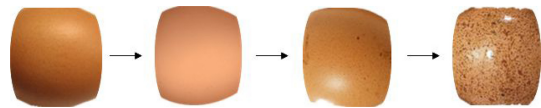


Fig. 4. Deterioration of egg shell according to the storage time (1, 2, 3 and 4 weeks) at room temperature.

5) 난각의 질과 색도 변화

계란의 저장·보관 중 난각의 질을 관찰한 결과, 냉장온도에서는 별다른 변화를 관찰할 수 없었다. 그렇지만 실온에서는 저장·보관 기간 중 난각의 질이 서서히 변화되었으며 4주 후에는 매우 열화되었음이 관찰되었다(Fig. 4).

한편 난각의 색도로서 명도, 적색도 및 황색도를 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. 난각의 명도(L)는 초기 시료에서 56.7~56.9였으며 냉장온도 및 실온에서 저장·보관 기간 중 별다른 변화가 없었다. 난각의 적색도(a)는 초기 시료에서 20.1~20.7이었으며 냉장온도에서는 유의한 변화가 없었으나 실온에서는 4주 경과 시에 유의하게 낮아졌다($p < 0.001$). 난각의 황색도(b)는 25.4~26.0이었으며 냉장온도에서 1주 경과 시에 유의하게 높아졌으며($p < 0.05$) 실온에서는 유의한 차이가 없었다. 또 난각의 적색도와 황색도는 저장·보관 온도별로 기간에 따라 산발적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

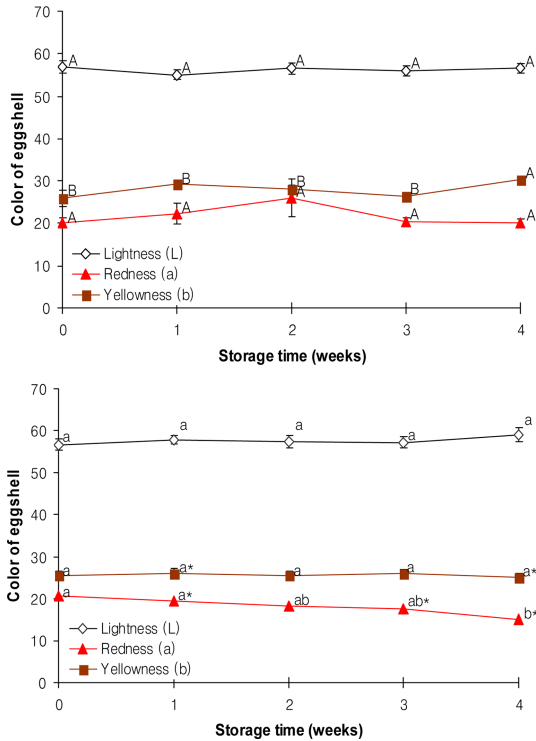


Fig. 5. Changes of color of eggshell during storage. Upper: Refrigerated temp., Lower: Room temp. Each point represents the mean ± S.E. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test (p<0.001). The asterisks indicate significant differences between refrigerated temperature and room temperature by t-test (*: p<0.05).

2. 내부적 품질 평가 결과

1) 난황계수, 난백계수 및 호우단위 변화

할란검사를 통해 난황계수, 난백계수 및 호우단위를 산출한 결과는 Fig. 6과 같다. 난황계수는 초기 시료의 경우 0.55~0.56이었으며 저장·보관 기간이 경과할수록 모두 감소하였다. 냉장온도에서는 2주 경과 시 0.45로 유의하게 감소하였으며, 이후 지속적으로 감소하였다(p<0.001). 실온에서는 1주 경과 시 0.48로 역시 유의하게 감소하였으며, 이후 지속적으로 감소하였다(p<0.001). 4주 경과 후에는 냉장온도 및 실온에서 모두 0.3 정도로 매우 낮아졌다.

난백계수는 초기 시료의 경우 0.19~0.20이었으며 저장·보관 기간이 경과할수록 모두 감소하였다. 냉장온도에서는 2주 경과 시 0.17로 유의하게 감소하였으며,

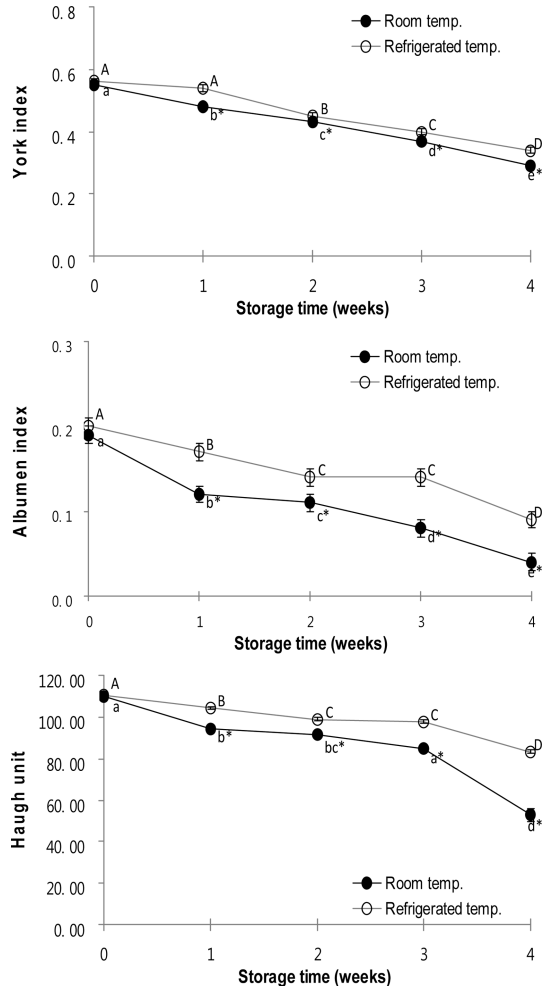


Fig. 6. Changes of yolk index, albumen index and Haugh unit of shell eggs during storage at refrigerated temperature or room temperature. Each point represents the mean ± S.E. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test (p<0.001). The asterisks indicate significant differences between refrigerated temperature and room temperature by t-test (*: p<0.05).

이후 지속적으로 감소하였다(p<0.001). 실온에서는 1주 경과 시 0.12로 역시 유의하게 감소하였으며, 이후 지속적으로 감소하였다(p<0.001). 4주 경과 시에는 냉장온도에서 0.09, 실온에서 0.04로 매우 낮아졌다.

호우단위는 초기 시료의 경우 109.9~110.6로 우수하였으며 저장·보관 기간이 경과할수록 모두 감소

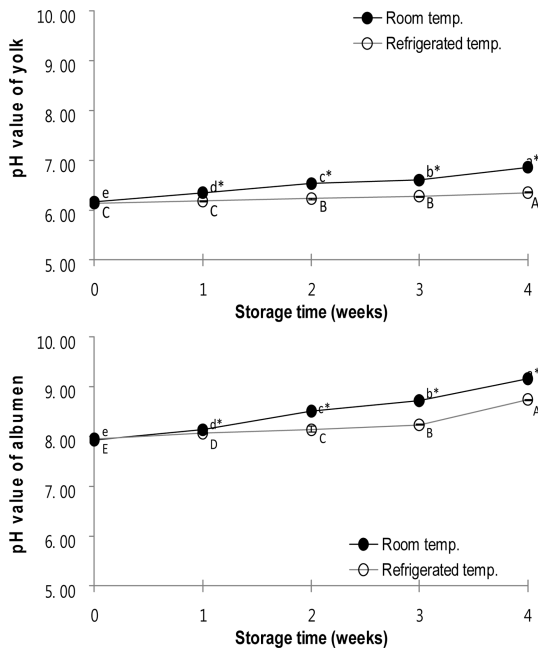


Fig. 7. Changes of pH of yolk and albumen during storage at refrigerated temperature or room temperature. Each point represents the mean \pm S.E. Means with different letters are significantly different by ANOVA and Duncan's multiple range test ($p < 0.001$). The asterisks indicate significant differences between refrigerated temperature and room temperature by t-test (*: $p < 0.05$).

하였다. 냉장온도에서 1주 경과 시 104.5로 유의하게 감소하였으며, 이후 지속적으로 감소하였다 ($p < 0.001$). 실온에서도 역시 1주 경과 시 94.5로 유의하게 감소하였으며, 이후 지속적으로 감소하였다 ($p < 0.001$). 4주 경과 시에 냉장온도 및 실온에서 각각 83.4 및 52.8로 낮아졌다.

이와 같이 실온에서는 신선도가 매우 저하되었음을 여실히 나타내었다. 저장·보관 온도별로 난황계수, 난백계수 및 호우단위 모두 1주 경과 시부터 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$).

2) pH 변화

계란을 난황 및 난백으로 구분하여 pH를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 난황의 경우 초기 시료의 pH는 6.15~6.16이었으며 냉장에서는 2주 경과 시에 유의하게 증가하고 이후 계속 증가하였다($p < 0.001$). 실

온에서는 1주 경과 시에 유의하게 증가하였으며 이후 지속적으로 증가하였다($p < 0.001$). 4주 경과 시에 냉장온도에서는 6.36이었지만 실온에서는 6.85이었다.

난백의 경우 초기 시료의 pH는 7.94~7.95이었으며 냉장 및 실온에서 모두 1주 경과 시에 유의하게 증가하였으며 이후 지속적으로 증가하였다($p < 0.001$). 4주 경과 시에 냉장온도에서는 8.74이었지만 실온에서는 9.16이었다.

저장·보관 온도별로 난황 및 난백의 pH 모두 1주 경과 시부터 유의한 차이가 있었다($p < 0.001$). 즉 실온에서는 냉장온도에 비하여 높은 값을 보였다.

3) 난황의 색도 변화

난황의 색도에 대하여 명도, 적색도 및 황색도를 측정된 결과, 난황의 명도(L)는 초기 시료에서 64.1~64.2였으며 냉장온도에서는 2주에 유의하게 낮아졌다가 3주에 다시 높아졌고, 실온보관에서는 1주 경과 시 유의하게 낮아졌다가 2주에 다시 높아졌지만($p < 0.001$) 일정한 경향을 보이지 않았다. 난황의 적색도(a)는 초기 시료에서 11.3이었으며 냉장 및 실온 모두 1주 경과 시에 유의하게 낮아졌다가 이후 높아졌다($p < 0.001$). 난황의 황색도(b)는 초기 시료에서 56.2~56.3이었으며, 냉장온도에서는 1주 및 2주 경과 시 유의하게 낮아졌다가 3주에 다시 높아졌고($p < 0.001$), 실온에서는 1주 경과 시 낮아졌다가 2주에 다시 높아졌다($p < 0.001$). 이와 같이 난황의 색도는 L, a, b 모두 전체적으로 일정한 경향을 보이지 않았다(Data not shown).

3. 온도 및 기간이 계란의 품질에 미친 영향

계란의 주요 외부적 품질지표(중량)와 내부적 품질지표(기실, 난황계수, 난백계수, 호우단위 및 pH)에 저장·보관 온도 및 기간이 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 계란 중량(무게)에 대해서는 저장·보관 기간이 유의한 영향을 미쳤으나($p < 0.05$) 온도는 유의한 영향을 미치지 않았으며 또 교호작용도 영향을 미치지 않았다. 난황 및 난백계수와 호우단위에는 온도와 기간의 주작용만이 각각 영향을 미쳤다($p < 0.001$). 기실, 그리고 난황 및 난백의 pH에 대해서는 저장·보관 온도와 기간 모두 유의한 영향을 미쳤으며, 온도와 기간의 교호작용 또한 영향을 미쳤다($p < 0.001$).

Table 1. Interaction effect of storage time and temperature on the quality indices of eggs

Items	Source of variation	Sum of squares	df	MS	F	p value
Weight	Constant	170383.198	1	170383.198	856776.548	0.000***
	Storage time (P)	2.552	3	0.851	4.277	0.009**
	Air temperature (T)	3.312	26	0.127	0.641	0.890
	P × T	0.712	7	0.102	0.511	0.822
	Error	10.341	52	0.199		
	Sum	170400.114	90			
Air cell size	Constant	3602.606	1	3602.606	24702.499	0.000***
	Storage time (P)	276.433	3	92.144	631.820	0.000***
	Air temperature (T)	150.919	26	5.805	39.801	0.000***
	P × T	3.471	7	0.496	3.400	0.005**
	Error	7.584	52	0.146		
	Sum	4041.014	90			
Yolk index	Constant	10.030	1	10.030	32084.158	0.000***
	Storage time (P)	0.124	3	0.041	132.695	0.000***
	Air temperature (T)	0.043	26	0.002	5.294	0.000***
	P × T	0.002	7	0.000	0.949	0.478
	Error	0.016	52	0.000		
	Sum	10.216	90			
Albumen index	Constant	0.747	1	0.747	15680.788	0.000***
	Storage time (P)	0.019	3	0.006	136.014	0.000***
	Air temperature (T)	0.044	26	0.002	35.180	0.000***
	P × T	0.000	7	4.050E-05	0.850	0.551
	Error	0.002	52	4.763E-05		
	Sum	0.813	90			
Haugh unit	Constant	434098.611	1	434098.611	21550.011	0.000***
	Storage time (P)	2921.344	3	973.781	48.342	0.000***
	Air temperature (T)	5809.579	26	223.445	11.093	0.000***
	P × T	241.476	7	34.497	1.713	0.126
	Error	1047.476	52	20.144		
	Sum	444118.486	90			
pH of yolk	Constant	2210.332	1	2210.332	3083632.608	0.000***
	Storage period (P)	0.301	3	0.100	139.898	0.000***
	Air temperature (T)	2.323	26	0.089	124.633	0.000***
	P × T	0.058	7	0.008	11.586	0.000***
	Error	0.037	52	0.001		
	Sum	2213.051	90			
pH of albumen	Constant	3781.286	1	3781.286	15002049.678	0.000***
	Storage time (P)	2.535	3	0.845	3352.431	0.000***
	Air temperature (T)	2.552	26	0.098	389.477	0.000***
	P × T	0.179	7	0.026	101.302	0.000***
	Error	0.013	52	0.000		
	Sum	3786.565	90			

df: degrees of freedom, MS: mean square. **:p<0.01, ***:p<0.001

IV. 고 찰

계란은 산란 직후로부터 신선도가 저하되는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 계란의 보관 중 신선도 저하와 품질의 열화를 위생적 품질지표를 중심으로 관찰하였다.

외부적 품질 평가로는 외형, 중량, 난각의 질과 색도 등을 관찰하였다. 계란의 보관 중 SI 값의 변화를 관찰한 보고는 없지만, 본 연구대상과 유사한 브라운계(Brown Isa Waren Layers)의 경우 75.6%, 또는 76.3~78.4%였다는 보고가 있었다.^{18,19)} 본 연구에서 사용한 시료 계란의 SI 값은 70.9~77.4%로 이와 유사하였다. 본 연구에서 계란의 저장·보관 기간이 경과할수록, 그리고 냉장온도 보다는 실온에서 중량 감소가 많았다. 이는 계란의 저장 온도가 높을수록 중량이 감소하거나 감모율이 증가한다고 하는 선행 연구들의 결과와 일치한다.^{8-10,13,20-22)} 계란의 저장 과정 중 중량 감소는 자체적으로 발생하는 호흡에 의한 수분 유출로 인한 것으로 설명되고 있다.^{16,20)} 한편 본 연구에서 계란을 난각, 난황 및 난백으로 나누어 중량을 측정된 결과 난황보다는 난백의 중량 감소가 빠름을 알 수 있었다. 선행연구들에서도 저장 중 난백의 중량이 주로 감소하는 것으로 보고하였으며 이는 난백의 수양화에 의한 것으로 설명되고 있다.^{20,22)} 한편 난각의 중량은 저장·보관 기간 중 별다른 변화를 보이지 않았으며 전체 중량의 13.2~13.5%를 차지하였다. 난각의 중량은 전체 중량 11% 이상을 차지한다는 자료들과 부합하였다.^{1,16)} 계란의 비중은 냉장 및 실온에서 모두 1주 경과 시까지는 비슷하게 유지되는 것으로 보이며 2주 경과 시부터 확연하게 차이를 보였다. 계란의 비중은 초기에 1.0814~1.0914이었으며 냉장온도에서는 2주까지 1.081을 유지하였으나 실온에서는 2주후 1.073으로 급격하게 감소하였으며 또 4주 후에는 저장·보관 온도와 관계없이 모두 1.058 미만으로 감소됨을 알 수 있었다. 계절에 따라 달라질 수 있지만 계란의 비중에 의한 신선도 유지는 1주 정도가 바람직하다고 본다. 계란을 20°C와 30°C에서 저장한 경우에는 비중이 급격하게 감소하였으나, 0°C와 10°C에서는 완만하게 감소하는 경향을 보여 보였다는 보고는 본 연구결과와 유사하였다.²⁰⁾ 계란의 저장, 유통 중 발생하는 비중의 감소 원인은 중량 감소와 수분 증발에 의해 기

질이 크게 변화하기 때문인 것으로 설명된다.^{1,16)}

본 연구에서 계란의 내부적 품질 평가로는 기실, 난백 및 난황계수, 호우단위, 난백 및 난황의 pH 등을 관찰하였다. 계란의 저장, 유통 중에 난각의 미세한 공극을 통해 내부의 수분이 증발하면서 그만큼 외부의 공기가 유입되어 기실이 점점 크게 변화하게 된다.^{16,23)} 본 연구에서 냉장온도에서는 1주 경과 시 아직 A급에 해당하였으나 실온에서는 1주 경과 시에 이미 4 mm를 초과하여 B급에 해당하였다. 4주 경과 시 냉장온도에서는 C급, 실온에서는 D급에 해당하였다. 계란을 4°C 또는 20°C에 보관하였을 때, 7일 경과 시 기실이 5 mm 이상으로 발달하였다는 보고가 있었다.²⁴⁾ 본 연구와 비교하여 계란의 기실 발달이 더 빠르지만 이는 품종이나 보관 조건이 다름에서 나타나는 차이로 보인다. 계란은 산란 수집 후 시간이 경과하면서 난황계수, 난백계수 및 호우단위가 낮아지는 것으로 알려져 있다.²⁵⁾ 본 연구결과 호우단위는 냉장온도에서는 4주 경과 시에도 A급이었으나 실온에서는 C급으로 나타났다. 난황계수는 4주 경과 시에 냉장온도에서 0.34, 실온에서 0.29로 품질이 매우 낮아졌다. 또 난백계수는 냉장온도에서 0.09, 실온에서 0.04로 매우 낮아졌다. 이와 같은 결과는 저장 온도가 높을수록 저장 기간이 경과함에 따라 난황계수, 난백계수, 호우단위 등 품질 저하가 더 컸다고 보고한 결과들과 유사하다.^{12,24)} 또 0°C와 10°C에서는 105일까지 난황계수가 0.42와 0.31로 신선도를 유지하였다고 하며, 또 난백계수가 0.08로 비교적 신선한 상태임을 나타내었다는 보고가 있었다.²⁰⁾ 이는 본 연구의 냉장온도에서 결과와 유사하다. 일반적으로 신선한 계란의 pH는 난백 7.6~7.9, 난황 6.0이지만, 저장 중에 증가한다고 알려져 있다.^{1,16)} 본 연구에서도 난황의 pH는 냉장온도에서는 2주 경과 시에, 실온에서는 1주 경과 시에 유의하게 증가하였으며 난백의 경우 저장·보관 온도에 관계없이 1주 경과 시에 유의하게 증가하였다. 계란을 몇 가지 온도에서 저장하는 동안 난백과 난황의 pH가 증가와 감소를 반복하는 경향을 보였으나, 대체적으로 증가하는 경향을 나타내었다는 보고가 있었다.²⁰⁾ 이처럼 저장·보관 중 계란의 pH가 상승하는 이유는 산란 후 시간이 경과됨에 따라 난각 표면의 기공을 통하여 CO₂ 가스가 유출되기 때문인 것으로 설명된다.¹⁾

난각과 난황의 색은 대개 산란계의 종에 따라 달라지며 향미, 영양가 및 품질과는 관련이 없는 것으로 알려져 있다.^{1,16)} 이러한 이유로 선행연구들에서는 대개 난황의 색도를 품질지표로 인정하지 않거나 측정하지 않았다. 본 연구에서 난황의 색도는 저장 기간 동안 증가 또는 감소를 나타내어 전반적으로 일정한 경향을 보이지 않았다. 그렇지만 난각의 경우 냉장온도에서는 1주 경과 시 황색도가 높아지고 반면 실온에서는 4주 경과 시 적색도가 유의하게 낮아졌다. 이는 광선 등 외부 환경의 영향도 있었지만, 갈색란의 경우 오래되면 색이 옅어지는 것으로 해석할 수 있다. 선행연구들에서 난각의 색과 질을 중시하지 않았으나 본 연구결과 실온 보관된 계란에서 난각의 적색도 저하와 더불어 난각의 질이 매우 열화되었음이 드러났다. 난황의 색은 할란 이후에만 평가할 수밖에 없지만, 난각의 경우 유통기한 내이라도 점진적으로 미세하게 색도 변화가 있음을 감지할 수 있을 것이다. 색도에 민감한 소비자라면 이를 인지할 수 있을 것으로 본다. 이는 이미지 분석 등 새로운 기기의 도입 등으로 더 구체적인 분석을 시도할 필요가 있다.²³⁾

본 연구결과와 여러 선행연구들의 결과는 서로 일치되지 않는 부분이 있다. 냉장 저장·보관인 경우 비교적 일관된 결과를 보이고 있으나, 실온 저장·보관인 경우 연구자에 따라 결과가 상이하여 온도에 따라 신선도 저하 정도가 상당히 달라지는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서의 실온은 비교적 낮은 온도 조건(13.0~19.7°C)이었다. 이에 비하여 높은 온도에서 시험을 수행한 선행연구에서는 기실 발달이나 난백계수 및 난백의 pH 변화가 더 심하였다. 본 연구결과와 여러 연구결과를 종합하여 계란의 실온 저장·보관에 있어 20°C 미만과 그 이상 온도에 의한 영향이 다르게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

한편 본 연구에서 계란의 주요 위생적 품질지표에 미치는 저장·보관 온도 및 기간의 영향을 분석한 결과 중량에는 기간의 주작용만이, 난황 및 난백계수와 호우단위에는 온도 및 기간의 주작용만이 영향을 미쳤다. 기실, 난황 및 난백의 pH는 온도 및 기간의 주작용뿐만 아니라 온도-기간의 교호작용 영향을 받는 것으로 나타났다. 기실에는 기간이 더 많이, 그리고 난황의 pH에는 온도가 더 많이 영

향을 미치는 것으로 나타났다. 난백의 pH에는 온도와 기간의 영향이 비슷함을 보였다. 그러므로 온도 조건을 좀 더 세분하여 기간별로 비교해 볼 필요가 있다. 그렇지만 선행연구들에서는 품질에 미치는 온도와 기간의 교호작용을 분석하지 않았으므로 이를 정확하게 해석하기 어렵다. 앞으로 다양한 온도 조건에서 계란의 품질 열화를 더 탐구한다면 정확한 정보를 얻을 수 있을 것이며, 이는 차기 연구에 기대한다.

V. 결 론

본 연구는 계란(난각란)의 저장·보관 중 온도와 기간에 따른 위생적 품질 특성 변화를 관찰하고 온도와 기간의 영향을 알아보고자 수행되었다. 하이라인 브라운(Hy-Line Brown) 40주령 산란종계로부터 산란 직후 집란한 갈색란(200개)을 냉장보관(4~5°C) 및 실온보관(13.0~19.7°C)으로 구분하여 저장·보관하고 1주 간격으로 4주간 외부적 및 내부적 품질 평가를 수행하였으며 저장·보관 온도와 기간의 영향을 분석하였다. 계란의 중량은 시간이 경과하면서 점차 감소하였으며($p < 0.001$) 감모율은 2.4~3.1%였다. 계란의 비중은 냉장온도 및 실온에서 모두 1주까지 초기 비중(1.081)을 유지하였으나 이후 감소되었으며 실온에서 비중 감소가 빠르게 나타났다. 기실은 냉장온도에서는 2주 경과 시에, 실온에서는 1주 경과 시에 4 mm를 초과하여 B급으로 낮아졌다. 난백계수와 호우단위는 냉장온도 및 실온에서 모두 1주 경과 시에, 난황계수는 1주(실온) 또는 2주(냉장) 경과 시에 유의하게 감소하였다($p < 0.001$). 난백의 pH는 냉장온도 및 실온에서 모두 1주 경과 시부터 유의하게 증가하였다($p < 0.001$). 실온에서 4주 경과 시 난각의 질이 매우 열화되었으며 적색도(a)가 유의하게 낮아졌다($p < 0.001$). 이상을 토대로 분석한 결과, 계란의 중량은 저장·보관 기간의 주작용 영향만을 받는 것으로 나타났다. 기실, 난황 및 난백계수, 호우단위, 난황 및 난백의 pH가 온도 및 기간의 주작용 영향을 받으며 또 기실, 난황 및 난백의 pH는 온도-기간 교호작용의 영향도 함께 받는 것으로 나타났다. 기실에는 기간이, 난황의 pH에는 온도가 더 많이 영향을 미치며, 난백의 pH에는 두 가지 변인이 미치는 영향이 비슷한 것으로 제시되었다.

References

1. American Egg Board. Incredible Egg. <http://www.incredibleegg.org/egg-nutrition/>. [accessed 03 Aug. 2015].
2. Hyunchuk News. Per capita egg consumption in Korea. Available: <http://www.hyunchuk.co.kr/news/5161>. [accessed 03 Dec. 2010].
3. Korea Ministry of Government Legislation. Livestock Products Sanitary Control Act. 2015. <http://www.law.go.kr/main.html>. [accessed 03 Aug. 2015].
4. Korea Ministry of Government Legislation. <http://oneclick.law.go.kr/CSP/Main.laf>. [accessed 03 Aug. 2015].
5. QIA (Animal, Plant and Fisheries Quarantine and Inspection Agency). The Processing Standards and Ingredient Specifications for Livestock Products. available: http://www.qia.go.kr/viewwebQiaCom.do?id=7659&type=1_41jgbz. [accessed 17 Dec. 2010].
6. Korea Livestock Products HACCP Accreditation Service. Available: <http://www.ihaccp.or.kr/site/haccp/main.do>. [accessed 03 Aug. 2015].
7. Waste eggs were used for bakery and others. http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002087101, 15.03.05 [accessed 03 Aug. 2015].
8. Koppel K, Suwonsichon S, Chitra U, Lee J, Edgar Chambers E. Eggs and poultry purchase, storage, and preparation practices of consumers in selected Asian countries. *Foods* 2014;3:110-127.
9. Carr RH. The measurement of freshness of unbroken eggs. *Poult Sci.* 1968;18(3):225-230.
10. Lee YW. An experimental study on the sanitary conditions of eggs. *Korean J Env Hlth Soc.* 1974;1:9-13.
11. Lee SM, Kim KH, Lee JG, Park EJ, Kim JI. Changes of egg quality during storage. *Korean J Vet Serv.* 2002;25(1):15-22.
12. Suk, YO, Kwon JT. Effects of egg storage, storage temperature, and insemination of hens on egg quality. *Korean J. Poult. Sci.* 2004;31(4):203-212.
13. Lee SM, Hong CH. Changes of egg quality according to eggshell treatment and storage condition. *Korean J Vet Serv.* 2005;28:225-234.
14. Chang YI, Yoo JH, Han SW, Chang KS. Quality characteristics of shell eggs stored in the artificial cave for energy saving. *Food Engineering Progress.* 2011;5(4):202-211.
15. Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation(KAPE). Grade Information 365+. Grade Information 365+. Available: https://www.ekape.or.kr/view/user/institution/standard_egg_01.asp. [accessed 03 Aug. 2015].
16. Kim JG. Food Hygiene and Sanitation. Seoul; Shinkwang Publishing Co. 2006; pp. 671-677.
17. Hempe M, Lauxen RC, Savage JE. Rapid determination of egg weight and specific gravity using a computerized data collection system. *Poult. Sci.* 1988;67:902-907.
18. Brand HVD, Parameter HK, Kemp B. Effects of housing system out door vs cages and age of laying hens on egg characteristics. *Br Poult Sci.* 2004;45:745-752.
19. Rayan GN, Galal A, Fathi MM, El-Attar AH. Impact of layer breeder flock age and strain on mechanical and ultrastructural properties of egg-shell in chicken. *Int J Poult Sci.* 2010; 9(2):139-147.
20. Lee HO, Kim JY, Kim BS. Choosing quality indicators for quality prediction of egg in circulation. *J Food Preserv.* 2014;21(5):609-617.
21. An JH, Park JM, Gu JG, Yoon SJ, Lee JS, Kim JM, et al. A study of establishment and exploitation of bio-markers for determination of shelf-life of eggs and egg Products. *Korean J Food Sci Ani Resour.* 2012;32(3):354-363.
22. Silversides FG, Scott TA. Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poult Sci.* 2001;80(8):1240-1245.
23. Kim HT, Ko HJ, Kim KY, Kato K, Kita Y, Nishizu T. Determination of egg freshness and internal quality measurement using image analysis. *Korean J Biosystems Eng.* 2007;32:166-172.
24. Akyurek H, Okur AA. Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *J Ani Vet Advances.* 2009;8(10):1953-1958.
25. Williams KC. Some factor affecting albumen quality with particular reference to Haugh unit score. *World's Poult Sci J.* 1992;48:5-16.