KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 36, No. 5, pp. 728~732 (2004)

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

난백 거품형성능력 및 안정성 평가를 위한 간편 측정방법과 실용성 검증

김미라 · 임지영*
국민대학교 식품영양학과

Convenient Method for the Determination of Foaming Properties of Egg White and Its Verification

Mi-Ra Kim and Jee-Young Imm*
Department of Food and Nutrition, Kookmin University

Convenient method for determination of egg white foaming properties was suggested. Highly reproducible results were obtained when 70 g egg white was whipped at 1,200 rpm for 2 min. Using standardized testing method, foaming capacity and stability of egg white samples including fresh egg white, freeze-dried egg white and commercial egg white powder were effectively differentiated. Foaming capacity of egg white was not affected during storage of fresh egg white up to 4 weeks at 4ºC, whereas foaming stability significantly decreased after 2 weeks of storage.

Key words: foaming property, method, standardization, egg white

서 론

식품단백질의 물리화학적 기능성은 식품의 품질과 기호성에 직접적인 영향을 미치는 요인으로서 크게 용해도, 보수력 등 단백질과 수분의 상호작용에 의해 결정되는 성질, 유화능력 및 거품형성능력과 같이 액체-액체, 액체-기체의 계면에서 작용하는 성질, 겔형성과 같은 단백질 간의 상호작용에 의해 결정되는 성질로 구분할 수 있다(1). 이와 같은 단백질의 기능적 특성은 단백질의 종류, 크기, 소수성, 아미노산 배열, 구조 등과 같은 단백질의 내재적 요소와 온도, pH, 염의 강도 등 단백질이 접하게 되는 환경 요인에 따라 다르게 표현된다(2).

난백은 거품형성, 겔형성 및 뛰어난 결착능력 등의 다양한 기능성을 보유하고 있는 단백질 소재로써 제과, 제빵 및 육제품 등의 가공식품에 빈번히 사용되고 있으며 특히 거품형성능력은 빵에 부피와 부드러움을 제공하고 향기 성분의 분산에 도움을 준다(3). 최근의 가공식품은 편리함을 추구하는 "ready to eat type"의 편이적 기능의 중요성이 증가하는 추세이며 이러한 형태의 제품 제조를 위해서는 취급과 위생적 측면에서 액상 난백보다 장점을 가진 분말 형태의 식품소재가 선호될 수 있으며 난백분말의 이화학적 기능성이 액상난백보다 향상될 경우 그 효용성은 더욱 증가할 수 있다.

*Corresponding author: Jee-Young Imm, Department of Food and Nutrition, Kookmin University, 861-1 Chongnung-dong, Songbuk-gu, Seoul 136-702, Korea
Tel: 82-2-910-4772
Fax: 82-2-911-4771
E-mail: jyimm@kookmin.ac.kr

난백분말의 거품형성능력을 향상시키기 위해서는 일차적으로 거품형성능력의 정확한 평가방법이 필요하다. 현재까지 난백의 거품형성능력을 평가하기 위한 연구는 지속적으로 진행되어 왔으나 표준화된 방법 및 측정기계는 아직까지 개발되어 있지 않으며 shaking, bubbling/sparging, whipping 등의 다양한 원리를 이용한 측정방법이 보고 되었다(4-6). 그러나 대부분의 방법들은 측정이 복잡하거나 측정과정 중 조절되지 않은 변수로 인하여 상호비교가 불가능하며 고가의 장비를 필요로 하기도 한다. 난백 거품형성능력의 평가방법 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법은 whipping으로써 제과 제빵 등의 실제 식품생산 공정과 높은 유사성을 가지고 있으나 적합한 거품형성 조건이나 측정방법의 재현성에 대한 연구는 보고된 바 없으며 연구자에 따라 임의적으로 변형되거나 많은 부분을 경험에 의존하고 있는 실정이다.

본 연구는 난백 거품형성능력 및 안정성의 정확한 평가를 위하여 거품 형성 시 투입된 시료의 양, whipping 시간 및 속도 등을 조절하여 표준화된 측정 방법을 제시하고자 하였으며 측정방법의 재현성을 검증하여 산업체에서 간편하게 적용되는 것을 목적으로 실시하였다.

재료 및 방법

재료

난백은 조인(주)에서 공급한 신선한 달걀을 할란하여 난황을 제거한 후 사용하였으며 동일한 난백을 동결건조하여 동결건조난백을 제조하였다. 분무건조로 제조된 상업용난백분말은 Ovonor(France)사의 제품을 사용하였다.

거품형성능력의 평가

거품측정장치는 시료의 저항에 따른 교반속도의 변화가 보정될 수 있는 electronic heavy duty stirrer(IKA, Nara, Japan)를 사용하였으며 주방용 거품기에 사용되는 것과 동일한 프로펠러를 장착하여 시료의 양(60-80 g), 교반시간(1-3분), 교반속도(1,000-1,400 rpm)를 변화시키며 거품형성의 최적조건을 설정하였다. 거품형성의 측정 시에는 Fig. 1(a)에서 제시된 바와 같이 회전축과 거품형성용기의 벽면 거리 및 프로펠러의 최하단과 바닥면의 거리를 일정하게 유지하여 프로펠라 회전 시 발생하는 원심력에 의한 거품형성 저해를 제거하였다. 형성된 거품의 부피는 거품형성용기 벽면에 표시된 눈금선(100-1,000 mL, 10 mL 간격)을 읽어 측정하였으며 overrun(%)으로 나타내었다.

$$\text{Overrun(\%)} = \left(\frac{\text{시료용액 100 mL의 무게} - \text{거품 100 mL의 무게}}{\text{거품 100 mL의 무게}}\right) \times 100$$

거품안정성 평가

거품형성용기의 바닥면은 Fig. 1(b)와 같이 일정한 크기(2 mm)와 간격의 구멍을 내어 시간의 경과에 따른 거품안정성을 평가하였다. 거품형성 시 용기의 바닥면과 동일한 크기의 실리콘 패드를 용기 바닥에 장착하여 거품형성 중 시료의 유출을 완벽히 차단하였다. 거품 부피의 측정 후 용기 바닥면의 실리콘 패드를 제거하고 drainage testing unit(Fig. 1(c))으로 교체하였으며 일정시간 간격으로 액화된 거품의 무게를 digital balance(Ohaus, USA)를 이용하여 측정하였다. 거품생성능력과 안정성의 평가 시에는 냉장저장 중인 달걀을 상온에 1시간 방치하여 시료의 온도 차이에 의한 거품생성능력 및 안정성의 변화를 최소화하였다. 또한 동일한 조건에서 20회 반복 측정하여 평가방법의 재현성을 검증하였다.

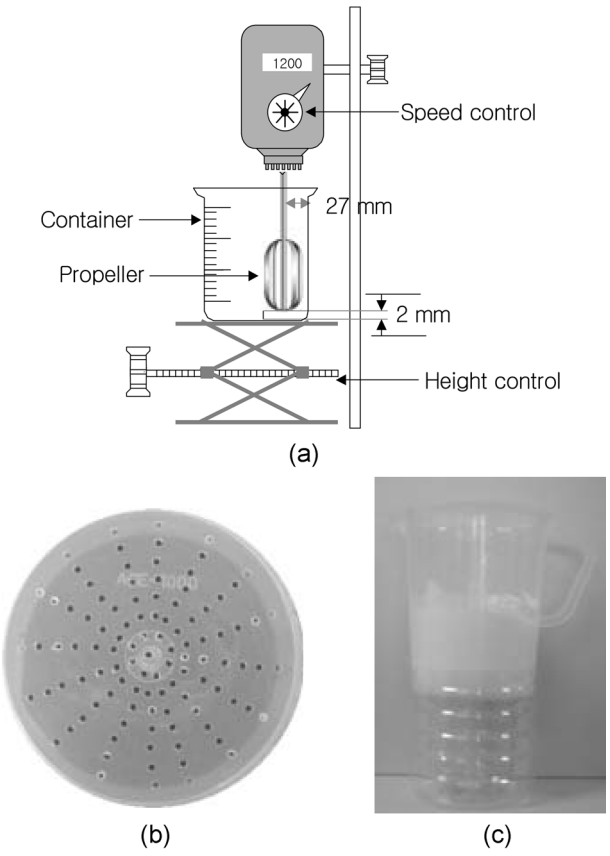

Fig. 1. Schematic presentation of foaming testing unit.
a: foaming apparatus, b: bottom of container, c: drainage testing unit.

표준화된 방법의 실용성 검증

표준화된 방법의 실용성을 검증하기 위하여 신선한 난백, 동결건조난백, 분무건조난백분의 거품형성능력과 안정성의 차이를 조사하였으며, 신선란을 4°C에서 4주간 저장하며 저장기간에 따른 거품형성능력과 안정성의 변화를 측정하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였으며, 결과의 통계분석은 Minitab Ver. 13.1(Minitab inc., USA)을 이용하였다. 처리구간의 유의적 차이($p < 0.05$)는 ANOVA와 Tukey의 다중비교검정법을 사용하였다.

결과 및 고찰

거품형성능력의 평가

초기 시료량의 변화가 거품 overrun에 미치는 효과를 조사하기 위하여 1,000 rpm, 2분으로 whipping 조건을 고정하고 신선한 난백의 거품 overrun을 측정하였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 70 g의 시료를 사용한 경우 60 또는 80 g의 시료와 비교할 때 유의적으로 높은 overrun을 나타내었다. 거품형성의 측정에 사용되는 적절한 시료의 양은 측정용기 및 프로펠라의 dimension에 따라 변화될 수 있으나 본 실험조건의 경우 60 g 이하의 시료를 투입한 경우 프로펠라와 난백과의 접촉면이 감소하여 충분한 whipping이 일어나지 않았으며 80 g 이상의 시료를 사용한 경우 거품이 프로펠라의 최상단까지 형성되어 더 이상의 거품이 생성되지 않았다. 한편 60-80 g의 시료 범위에서는 투입된 시료의 모두가 거품형성에 사용되었으며 whipping 후 액체상태로 존재하는 시료는 관찰되지 않았다.

난백 거품형성과정의 분자적 기전은 아직 명확히 알려져 있지 않으며 단지 난백에 존재하는 단백질의 상호작용의 결과로서 매우 피상적으로 이해되고 있다(7). Johnson과 Jabik(8)은

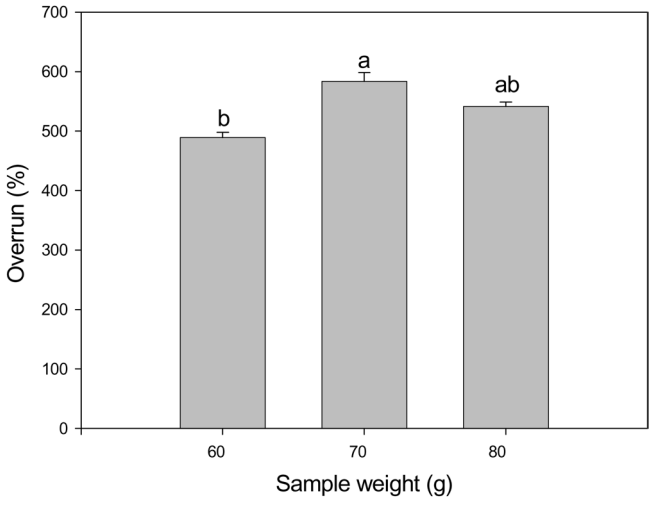

Fig. 2. Foam overrun of fresh egg white determined at various initial sample weights.
[a-b]: Means with different superscript are significantly different ($p<0.05$).

Table 1. Overrun of fresh egg white determined at various whipping conditions

Whipping speed (rpm)	Overrun (%) at whipping time (min)		
	1	2	3
1,000	430±15.5^{b,y}	568±0^{b,x}	574±11.4^{a,x}
1,200	524±12.9^{a,y}	623±15.3^{a,x}	628±12.8^{a,x}
1,400	311±18.7^{c,y}	638±4.4^{a,x}	643±25.7^{a,x}

$^{a-c}$: Means with different superscript within a column are significantly different (p<0.05).
$^{x-y}$: Means with different superscript within a row are significantly different (p<0.05).

angel cake system에서 거품의 형성에 기여도가 높은 단백질은 globulins, ovalbumin, ovotransferrin, lysozyme, ovomucoid, ovomucin의 순이었다고 보고하였다.

거품형성을 위한 최적 시료량(70 g)을 결정한 후 whipping 속도 및 시간에 따른 거품형성능력을 측정하였다. Table 1과 같이 형성된 거품의 overrun은 whipping 속도(1,000-1,400 rpm) 및 시간의 증가(1-3분)에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나 1,200 rpm, 2분 이상의 조건에서는 whipping 속도 및 시간의 증가에 따라 생성된 거품 부피의 유의적인 증가는 나타나지 않았다. 한편, Table 1의 측정 조건보다 더 빠른 whipping 속도 및 시간의 증가 시에는 거품의 깨짐 현상이 관찰되었다. 이러한 난백의 overbeating 현상은 난백에 존재하는 ovalbumin 분자의 변성이 증가하며 기체와 액체의 계면에서 응집되어 두꺼운 lamellae 층을 형성하기 때문인 것으로 보고 되어 있다(9). Whipping이 지속됨에 따라 형성되는 ovalbumin 분자의 응집은 표면활성을 감소시키며 불용성의 입자로 전환되어 거품의 붕괴가 일어나는 것으로 판단되며 거품본래의 촉촉하고 유연한 외관을 상실하였으므로 더 이상의 whipping 시간의 증가는 고려하지 않았다.

거품형성능력 및 안정성의 재현성 평가

평가 방법의 재현성을 검증하기 위하여 위의 실험에서 설정된 whipping 조건(시료량 70 g, whipping 속도 1,200 rpm, whipping 시간 2분)에서 신선한 난백의 거품형성능력을 20회 반복 측정하였다(Fig. 3(a)). 측정된 거품의 평균 overrun은 622.8%, 표준편차는 29.4로서 매우 높은 재현성을 나타내었으며 거품부피의 측정 시 나타난 오차의 일부는 측정과정 중 시료의 방치시간 차이 및 시료의 불균일성에 따른 것으로 판단된다. 따라서 거품형성 전 시료의 온도 및 상온방치 시간을 조절할 경우 보다 정확한 거품형성 능력의 평가가 가능할 것으로 생각된다. 또한 거품의 생성량을 초기시료의 부피에 대한 증가량으로 표현한 경우에도 동일한 결과가 관찰되었으며 따라서 산업적 응용을 위해서는 단순히 생성된 거품의 부피를 측정하여 시료의 거품형성능력을 비교하여도 문제가 없을 것으로 판단된다.

형성된 거품의 안정성은 일반적으로 거품의 생성 후 시간이 경과함에 따라 거품화된 액이 다시 액화되는 량을 측정하는 원리를 사용하고 있다. 배출된 액체량은 중량, 부피 혹은 초기시료의 중량(부피)에 대한 비율(%)로 표현할 수 있으며 Sathe와 Salunkhe(10)은 거품의 형성 후 일정량의 거품을 정량적으로 바닥에 구멍을 가진 용기로 옮겨 거품의 안정성을 측정하였다. 그러나 거품의 정량적 이동은 현실적으로 쉽지 않으며 많은 측정 오차를 일으킬 수 있다. 본 실험에서는 거품의 형성 시 구멍이 뚫린 용기의 바닥면을 동일한 크기의 silicon 마개로 덮어

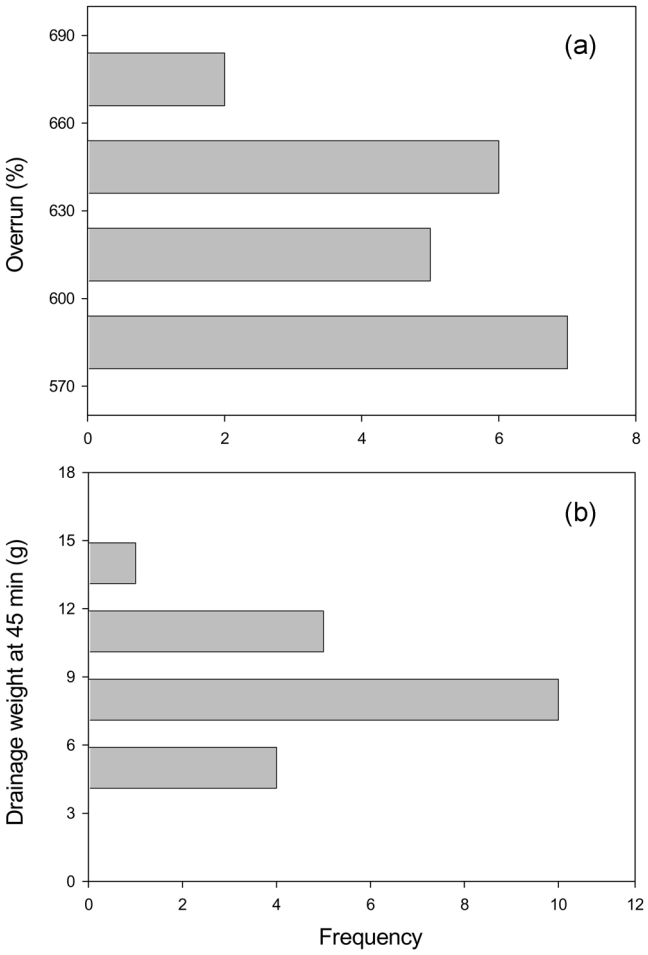

Fig. 3. Frequency distribution of foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white during 20 times repeated measurements.

시료의 손실 없이 거품을 형성하였으며 거품의 형성 후 마개를 제거하고 Fig. 1(c)와 같은 drainage test unit으로 옮겨 신속한 거품안정성 측정이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 거품안정성 평가의 모든 경우 거품형성직후부터 90분까지 15분 간격으로 drainage weight의 변화를 모두 측정하였으나 결과의 표현 시에는 45분 후 측정한 drainage weight로 나타내었다. Fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 약 45분의 경과 시에는 액화된 거품의 평균무게는 8.6 g 표준편차 2.7을 나타내어 반복 측정 시 높은 재현성을 나타내었으며 대부분의 시료에서 사용된 시료무게의 약 20% 이상이 액화되는 것으로 나타났다.

거품안정성의 측정방법에 있어서 Zhu와 Damodaran(11)은 폐쇄된 column 시스템 내에서 거품의 붕괴로 야기되는 압력의 증가를 측정하여 거품안정성의 변화를 제시하였다. Davis와 Foegeding(12)은 본 실험에서와 같이 foam lamellae를 통하여 구멍난 용기의 바닥면으로 유출되는 시료의 양을 측정하였으며 액화된 시료가 전체거품무게의 50%가 되는데 소요되는 시간으로 표현하였다. 본 연구에서 제시한 표현 방법은 거품의 안정성과 실제 가공공정 시 소요되는 시간을 고려하여 특정시간 내의 안정성 지표로 활용할 수 있을 것으로 생각되며 30분 이상의 경과 시에는 모두 높은 재현성이 관찰되었다(결과 미제시).

다양한 난백 시료의 거품형성능력 및 안정성 변화 측정

앞서 제시한 거품형성능력 및 안정성 평가방법의 유용성을 조사하기 위하여 신선한 난백, 신선한 난백을 동결건조하여 제조한 동결건조 난백분말 및 상업용 난백분말의 거품형성능력과 안정성을 측정하였다(Fig. 4). 신선한 난백과 동일한 고형분 함량을 가지도록 분말을 증류수에 용해시켜 측정한 시료의 거품형성 능력은 신선한 난백, 동결건조난백, 분무건조 난백의 순으로 높은 것으로 나타났으며 형성된 거품의 overrun을 기준으로 하였을 때 동결건조 분말의 거품형성 능력은 신선 난백의 80%, 분무건조 난백은 40% 수준으로 유의적으로 감소하였다 ($P < 0.05$). 거품안정성의 경우에도 신선한 난백이 일정시간 내 액화된 양이 가장 작아 유의적으로 높은 안정성을 나타냈으며 동결건조난백과 분무건조 난백 간에도 유의적인 차이가 관찰되었다($P < 0.05$). 이 결과는 본 연구에서 사용한 평가방법을 이용하여 각 시료의 거품형성 능력 및 안정성의 차이를 효과적으로 구별해 낼 수 있음을 의미하며 건조과정 중 거품형성에 중요한 역할을 수행하는 단백질의 변화가 일어나는 것으로 생각할 수 있다.

건조 조건이 우유단백질의 기능 특성에 미치는 효과에 대한 연구들과 비교할 때 달걀단백질의 기능특성 변화에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어졌다. Franke and Kie ling(13)는 건조온도나 시료의 분무 시 가해지는 압력에 따라 분무건조전란분말의 기능특성이 달라질 수 있음을 보고하였으나 변화된 기능특성을 설명할 수 있는 난백단백질들의 구조적 변성이나 소수성, SH 함량 등의 변화는 조사하지 않았다. 현재 본 연구팀에서는 건조과정에서 일어나는 단백질의 변화가 거품형성능력 및 안정성에 미치는 영향을 조사하고 있다.

계란의 저장기간에 따른 거품형성능력 및 안정성변화

신선한 계란을 4주까지 4°C에서 저장하며 저장기간에 따른 거품형성능력 및 안정성의 변화를 측정하였다. 난백의 거품형성능력은 조사된 저장기간 동안 유의적인 차이가 나타나지 않은 반면 거품안정성의 경우 저장 2주 경과 후부터 유의적으로 감소하였다($p < 0.05$). 이와 같은 결과는 냉장 저장 시 저장기간의 증가에 따라 foam overrun에는 차이를 보이지 않았으나 안정성은 유의적으로 감소하였다는 기존의 보고와 일치하였다(14). 난백의 거품형성능력 및 안정성은 난백을 구성하는 단백질의 전하특성과 밀접한 관계가 있으며 특히 등전점이 10.7인 lysozyme과 정상적인 달걀의 pH(9.0)에서 음으로 하전된 다른 단백질과의 상호작용이 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(15). 거품형성 시 계면에서 일어나는 lysozyme과 다

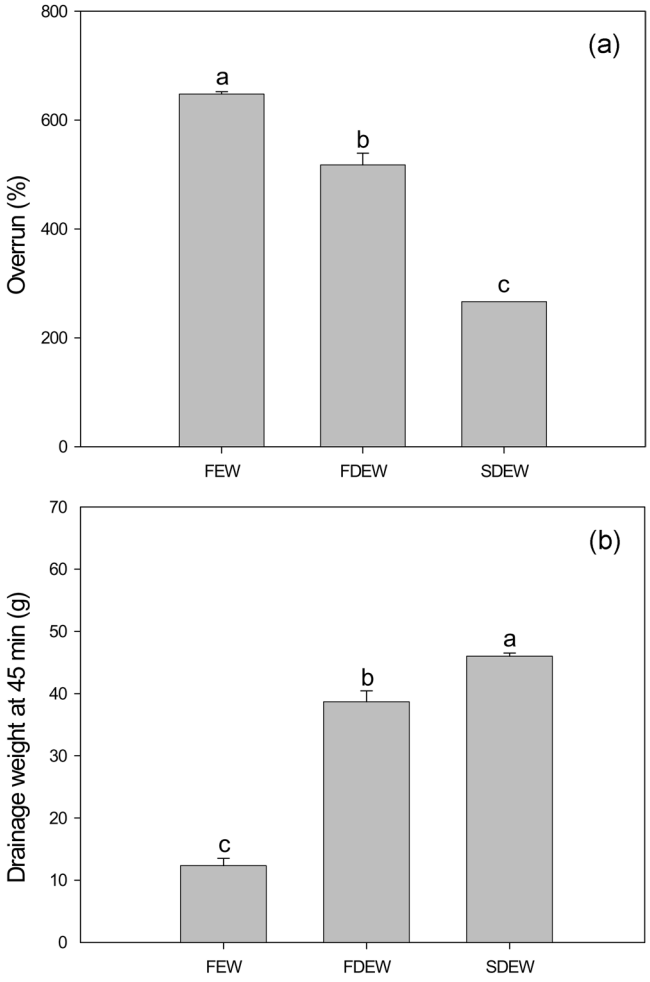

Fig. 4. Foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white (FEW), freeze-dried egg white (FDEW) and commercial spary-dried egg white powder (SDEW).
[a-c]: Means with different superscript are significantly different ($p<0.05$).

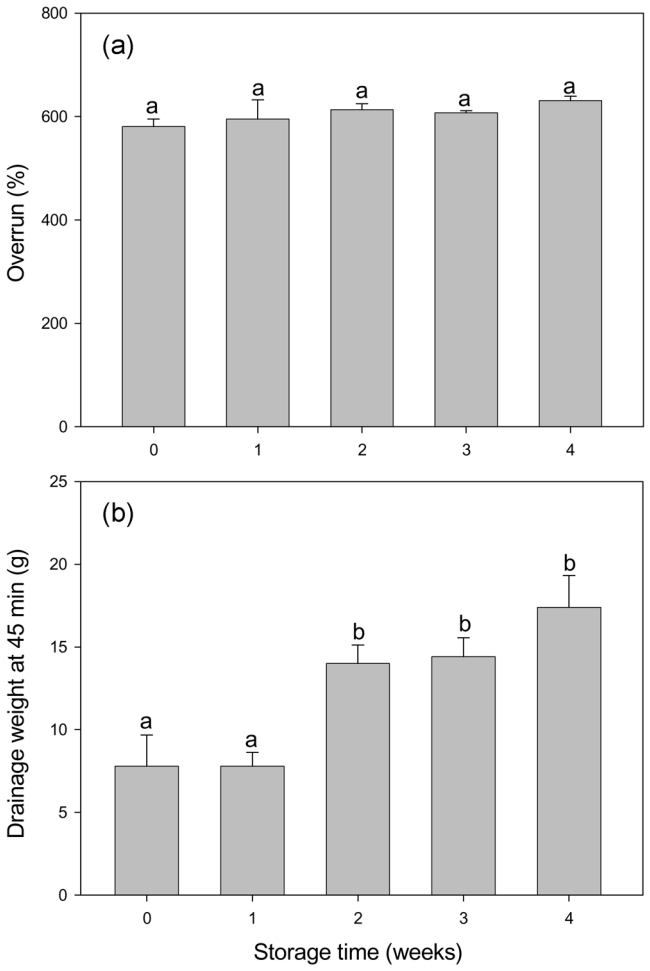

Fig. 5. Changes in foam overrun (a) and drainage weight (b) of egg white during storage at 4°C.
[a-b]: Means with different superscript are significantly different ($p<0.05$).

른 난백단백질과의 정전기적결합은 정전기적 반발력의 감소를 일으킴으로써 거품의 안정성을 향상시킬 수 있음이 보고 되었으며(16,17) 저장기간 중 일어나는 pH 상승은 저장기간의 증가에 따라 나타나는 거품안정성의 감소와 관계가 있을 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 난백의 거품형성능력 및 안정성을 간편하게 평가하기 위한 표준방법을 제시하고자 시료의 양, whipping 속도 및 시간이 거품형성에 미치는 영향을 조사하고 적합한 거품형성조건을 선정하였다. 선정된 조건(시료량 70 g, 1,200 rpm, 2분)으로 난백의 거품형성능력 및 안정성을 20회 반복 측정하여 평가한 결과 높은 재현성을 나타내었으며 시료의 변화(신선한 난백, 동결건조 난백분말, 상업용 난백분말) 및 계란의 저장기간에 따른 거품형성능력 및 안정성의 유의적 차이를 효과적으로 구별할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 연구비의 일부와 시료를 제공해 준 조인주식회사에게 감사드립니다.

문 헌

1. Kinsella JE. Functional properties of food proteins: A review. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 7: 219-280 (1976)
2. Damodaran S. Functional properties. pp. 167-234. In: Food Proteins. Nakai S, Modler HW (eds). VCH Publishers Inc., New York, NY, USA (1996)
3. Kinsella JE. Functional properties of protein: Possible relationships between structure and function in foams. Food Chem. 7: 273-288 (1981)
4. Halling PJ. Protein-stabilized foams and emulsions. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 15: 155-203 (1981)
5. Baniel A, Fains A, Popineau Y. Foaming properties of egg albumen with a bubbling apparatus compared with whipping. J. Food Sci. 62: 377-381 (1997)
6. Hagolle N, Relkin P, Popineau Y, Bertrand D. Study of the stability of egg white protein-based foams: effect of heating protein solution. J. Sci. Food Agric. 80: 1245-1252 (2000)
7. Mine Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. Trends Food Sci. Technol. 6: 225-232 (1995)
8. Johnson TM, Zabik ME. Response surface methodology for analysis of protein interactions in angel cakes. J. Food Sci. 46: 1226-1230 (1981)
9. Lau K, Dickinson E. Structural and rheological properties of aerated high sugar systems containing egg albumin. J. Food Sci. 69: 232-239 (2004)
10. Stahe SK, Deshpande SS, Salunkhe DK. Functional properties of lupin seed proteins and protein concentrates. J. Food Sci. 47: 491-497 (1982)
11. Zhu HM, Damodaran S. Heat induced conformational changes in whey protein isolate and its relation to foaming properties. J. Agric. Food Chem. 42: 846-855 (1994)
12. Davis JP, Foegeding EA. Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. J. Food Sci. 69: 404-410 (2004)
13. Franke K, Kieβling M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. J. Sci. Food Agric. 82: 1837-1841 (2002)
14. Hammershøj M, Qvist KB. Importance of hen age and egg storage time for egg albumen foaming. Lebensm. Wiss. Technol. 34: 118-120 (2001)
15. Poole S, West SI, Walters CL. Protein-protein interactions: The importance in the foaming of heterogeneous protein systems. J. Sci. Food Agric. 35: 701-711 (1984)
16. Clark DC, Mackie AR, Smith LJ, Wilson D. The interaction of bovine serum albumin and lysozyme and its effect on foam composition. Food Hydrocol. 2: 209-223 (1988)
17. Damodaran S, Anand K, Razumovsky L. Competitive adsorption of egg white proteins at the air-water interface: Direct evidence for electrostatic complex formation between lysozyme and other egg proteins at the interface. J. Agric Food Chem. 46: 872-876 (1998)

(2004년 9월 3일 접수; 2004년 10월 12일 채택)