

최                    중  
연구 보고서

달걀분말의 이화학적 특성 개선을 위한  
액란가공 기술개발

Processing technology for the production of  
functional egg powder

연구기관

국민대학교 식품영양학과  
한경대학교 식품생물공학과  
중앙대학교 식품공학과

농       립       부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “달걀분말의 이화학적 특성 개선을 위한 액란 가공기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006 년 7 월 14 일

주관연구기관명 : 국민대학교

총괄연구책임자 : 임 지 영

연 구 원 : 김 미 라

연 구 원 : 김 선 철

협동연구기관명 : 한경대학교

협동연구책임자 : 심 재 용

협동연구기관명 : 중앙대학교

협동연구책임자 : 박 기 환

# 요 약 문

## I. 제 목

달걀분말의 이화학적 특성 개선을 위한 액란 가공기술 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

달걀은 전세계적으로 가장 널리 사용되는 식품소재의 하나로 제과, 제빵 산업을 비롯하여 다양한 가공식품의 생산에 사용되고 있다. 우리나라의 달걀소비 형태는 대부분 가공되지 않은 통달걀(shell egg)의 형태로 판매되고 있으며 가공란의 생산기술 및 제품의 다양성은 외국에 경우와 비교하여 매우 초보적인 단계에 머무르고 있다.

최근의 가공식품은 편리함을 추구하는 “ready to eat”의 편이적 기능이 증가하는 추세이며 이러한 형태의 제품 제조를 위해서는 유통과 위생의 측면에서 우수한 분말 형태의 식품 소재가 선호 될 수 있으며 난백이나 난황 분말의 이화학적 기능성이 액상 난백이나 난황보다 향상될 경우 그 효용성은 더욱 증가할 수 있다. 현재 난백, 난황분말과 같은 달걀 분말소재의 산업적 활용이 부진한 이유는 국내 생산이 극히 제한적이며, 동일한 조건에서 이화학적 기능성이 통 달걀에 비하여 우수하지 못하다는 인식이 주요한 원인이다.

분말제품의 품질을 좌우하는 달걀단백질의 이화학적 기능성은 가공공정에서 일어나는 단백질의 구조적 특성변화가 매우 중요한 영향을 미치며 바람직한 방향으로 단백질 구조의 변형을 유도할 경우 이화학적 기능성을 향상시킬 수 있다.

한국농촌경제연구원의 산란계 사육과 달걀의 수급전망에 따르면(2001) 달걀의 가공용 수요가 계속 증가함에 따라 산란계 사육두수가 계속 증가할 것으로 예측되어 달걀 생산량은 2004년에는 51만톤으로 2001년 대비 7% 정도 증가하며 2012년까지 증가세가 지속될 것으로 보고하였다.

달걀의 지속적인 소비 활성화와 양계산업의 안정적 발전을 위해서는 소비 및 생산방법의 다각화가 필요하며, 고부가가치 제품의 개발 형태도 브랜드란 일변도로부터

대규모 산업적 소비가 가능한 기능성 달걀소재 생산으로 전환할 필요가 있다. 특히, 대량 소비가 가능한 기능성 소재 생산은 변동의 폭이 큰 달걀 가격에 대하여 완충작용을 할 수 있을 것으로 기대된다.

현대 사회 구조의 변화에 따라 가공 식품의 비중이 높아지고 있으며 보다 다양화, 세분화 된 식품소재 생산기술의 필요성이 증가함은 이론의 여지가 없다. 본 연구에서는 거품형성능력 또는 유화능력이 극대화 된 고기능성 난백 및 난황 분말의 생산 기술을 개발하여 산업적으로 활용하고자 연구를 진행하였다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

**주관과제 : 달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말 소재 생산을 위한 단백질 구조변형 기술 개발**

- 거품생성능력, 유화능력 및 안정성 평가 방법의 표준화
- pH, 염의 첨가, 이온강도의 변형을 통한 단백질 구조의 변형
- 단백질분해 효소를 이용한 난백단백질 구조의 변형
- 각 조건에서 분말화된 난백 단백질의 이화학적 기능성 평가
- 다양한 처리 조건의 조합이 기능특성 개선에 미치는 상승효과 조사
- 특정 용도별 기능성 부여를 위한 가공 처리 조건의 설정
- 건조 가열처리에 의한 난백 단백질 기능성 개선 효과 검증
- 난황단백질의 phospholipase 처리에 의한 이화학적 기능성 향상 조건 설정
- 분말 시제품의 용도별 기능성 평가
- 분말 시제품의 식품으로의 적용과 적용된 제품에서의 기능성 검증 및 관능 평가
- 기능적/관능적 평가를 통한 시제품 생산 조건의 미세 조정

**제 1 협동과제 : 달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관 관계 및 처리조건 최적화**

- NMR을 이용한 달걀 단백질의 구조 변화 측정 방법 습득 및 구조 특성 연구

- 가열에 따른 달걀단백질의 미세 표면구조 변화 측정
- 난백 단백질의 열응고 온도, 표면 소수성 및 변성도 측정
- 난백 단백질의 젤형성 능력 및 젤의 물성 측정
- 구조와 기능성과의 상관관계 규명을 위한 통계처리
- 반응표면분석법을 이용하여 고기능성 분말 생산을 위한 최적 처리조건 설정
- 시제품을 이용하여 제조된 제품의 종류별 물성 및 조직감의 기계적 평가
- 저장 기간 별 분말 시제품의 물성 변화 측정

**제 2 협동과제 : 액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립**

- 건조 조건에 따른 달걀 분말의 기능성 변화 조사
- 사용 용도에 따른 달걀 분말의 건조 특성 검토
- 건조시 첨가제의 영향에 따른 기능성 분석
- 액란의 품질 최소화 살균 조건 검토
- 기능성 향상 달걀의 분말화 조건 최적화
- 시제품생산 및 기능성 향상을 위한 달걀의 살균 조건 검토
- 기능성 향상 달걀 분말 대량 생산 공정 최적화
- 저장 중 품질 변화 최소화 조건 검토

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

**주관과제 : 달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말 소재 생산을 위한 단백질 구조변형 기술 개발**

난백의 거품형성능력 및 안정성을 간편하게 평가하기 위한 표준방법을 제시하고자 시료의 양, whipping 속도 및 시간이 거품형성에 미치는 영향을 조사하고 적합한 거품 형성조건을 선정하였다. 선정된 조건(시료량 70 g, 12000 rpm, 2 분)으로 난백의 거품형성능력 및 안정성을 20 회 반복 측정하여 평가한 결과 높은 재현성을 나타내었으며 시료의 변화(신선한 난백, 동결건조 난백분말, 상업용 난백분말) 및 달걀의 저장기간에 따른 거품형성능력 및 안정성의 유의적 차이를 효과적으로 구별할 수 있었다. 한편, 난황의 유화능력은 실제적으로 유화물 계면적의 증가를 의미하는 흡광도의 변화로 표현이 가능하였으며 난황유화물의 형성 조건은 고형분 함량 0.5% oil volume 20%의 조건이 적합하였다.

난백의 기능성을 향상시키기 위한 구조 변형 방법으로서 pH 조정, 염의 첨가 및 이온강도의 변형, 단백질 분해 효소의 사용 등을 검토하였다. 이들 요인 중 분무 건조 전 난백 pH의 조정과 건조온도는 거품형성 능력에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반응표면분석법으로 예측한 거품 형성 능력 극대화 생산 조건은 난백의 pH 6.34, 건조온도 72.5°C이었으며 이때 예측되는 거품의 overrun은 535.6%였다.

난백 분말의 생산 조건 중 탈당과정을 생략한 경우 거품형성 능력에는 부정적 영향을 미치지 않았으나 건조가열 처리 시 갈색의 형성 및 용해도의 현격한 저하가 발견되었다. 건조 가열 처리는 난백분말의 거품형성능력을 비롯한 이화학적 기능성의 개선 효과를 기대할 수 있으며 더욱이 난백의 살균 처리 공정의 대체 효과가 있으므로 탈당 공정은 건조난백 분말의 생산에 필수적인 것으로 판단된다.

최적화된 생산공정으로 시제품을 제조하고 다양한 온도와 저장기간 동안 일정한격으로 시료를 취하여 거품 형성능력 및 안정성을 측정하여 결과 난백분말의 거품형성 능력과 안정성은 측정된 저장조건에서 모두 유의적 변화를 보이지 않았다. 따라서 최적 조건에서 생산된 시제품의 거품형성 능력은 저장기간 중 변화하지 않을 것으로 예측되며 상온에서 저장하거나, 여름철에 발생할 수 있는 저장온도의 상승에도

변화를 보이지 않을 것으로 판단된다.

난황의 유화능력을 개선하기 위하여 phospholipase A<sub>2</sub>(PLA<sub>2</sub>) 로 sn-2 위치의 지방산을 제거하는 효소적 변형을 실시하였다. 반응표면분석으로 추정된 마요네즈 유화안정성을 극대화하기 위한 효소처리조건은 효소농도(Lecitase) 7432 LEU, 반응시간(55℃) 73.5 분, 염의 농도 11.5%로 나타났다. 최적조건에서 생산된 효소처리 난황으로 제조한 마요네즈는 난황 함유량 4%에서 90% 이상의 유화안정성을 나타낸 반면 신선난황의 경우 유사한 유화안정성을 얻기 위해 10% 이상의 난황이 필요하였다.

관능적 특성의 평가 결과 효소처리 난황(6% 난황함량)으로 제조한 마요네즈는 신선난황 (8%)로 제조한 마요네즈와 비교하여 외관, 맛, 전반적 기호도에서 차이를 나타내지 않았다. 관능 특성의 강도 평가에서는 고소한 맛, 신맛, 감칠맛, 산패취 항목의 경우 차이를 나타내지 않았으며 효소처리 난황을 사용하여 마요네즈는 마요네즈의 제조에 필요한 난황의 양이 감소함에 따라 느끼함과 노란색의 강도는 유의적으로 감소하였다.

효소처리 난황을 분말화하여 제조한 효소처리 난황분말은 무처리 대조구에 비하여 유화능력 및 용해도가 유의적으로 향상되었으며, 효소처리난황분말 6%를 첨가하여 마요네즈를 제조한 경우에는 신선난황으로 제조한 마요네즈(8% 난황함량)보다 현저히 우수한 유화안정성을 보였다. 그러므로, 효소처리 난황을 이용하여 마요네즈의 제조 시 가벼운 느낌의 제품을 선호하는 경향을 보이는 소비자들의 기호에 맞는 제품 생산에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 제 1 협동과제 : 달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화

분무건조 난백분말과 동결건조 난백분말로 만든 난백겔의 조직감을 비교한 결과 모든 pH에서 분무건조 난백겔이 동결건조 난백겔보다 높은 견고성, 검성, 씹힘성 및 fracture stress와 strain을 보였다. 조직감의 변화에 대한 pH의 영향은 상대적으로 작았으며 이는 난백 분말을 제조할 때 분무건조 시 가해지는 가열처리에 의해 난백 단백질의 부분 변성으로 인한 결합력 증가가 겔형성에 도움을 주는 것으로 판단된다. 난백분말 용액의 점도는 동결건조 난백분말과 분무건조 난백분말 모두 의가소성 유체의 흐름을 나타내었고 점조도 지수는 동결건조 난백분말 용액이 분무건조

난백분말 용액에 비해 큰 값을 보였다. 또한 가열시간에 따른 점도의 변화는 크지 않았다.

난백액의 pH를 조절 후 분무건조 시켜 만든 난백분말을 이용하여 조직감을 측정할 결과(20% 고형분) pH가 증가할수록 겔의 견고성, 씹힘성 및 감성은 감소하였고 이들 시료 용액 (11% w/v)의 점도는 모든 pH에서 의가소성 유체 흐름을 나타내었으며 pH에 따른 점도도 지수의 선형적인 증감을 보이지는 않았지만 pH 6.5로 조절된 용액에서 가장 큰 점도도 지수값을 나타내었다.

분무건조 난백의 경우 두개의 endothermic peak를 보였으며 pH가 증가함에 따라 변성엔탈피가 증가하였는데 이와 같은 현상은 신선 난백의 pH를 감소시킬수록 단백질의 용해도가 증가되어 높은 변성엔탈피 값을 보이기 때문인 것으로 생각된다. 분무건조 난백분말의 2차 구조변화를 CD 분석으로 관찰한 결과 pH 6.5와 7에서  $\alpha$ -helical구조가 감소하고 상대적으로  $\beta$ -sheet 구조가 증가하였는데 이와 같은 변화는 분자간 수소결합의 형성으로 용이하도록 하여 안정적인 겔 네트워크를 형성하는 것으로 판단된다.

난백분말이 형성하는 겔의 최대 강도(hardness)를 얻기 위한 난백액의 생산 조건을 반응표면분석으로 예측한 결과 pH 8.23과 건조온도 66.38°C로 나타났으며 최적조건에서 만들어진 시료를 건조가열하면 시료로부터 제조된 겔의 강도를 증가시킬 수 있었다.

최적조건으로 만든 난백분말을 첨가하여 만든 수리미(surimi)의 조직감을 측정할 결과 3% 난백분말의 첨가는 수리미의 hardness를 유의적으로 증가시켰으며 탄력성도 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 같은 시료를 국수 제조에 적용한 결과 난백분말의 첨가는 조리 국수의 강도, 씹힘성을 증가시키는 반면 탄력성에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한 최적난백분말의 첨가는 동일한 수준의 생난백액을 첨가하였을때와 유사한 조직감 특성을 나타냈다.

## 제 2 협동과제 : 액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립

난백분말의 이화학적 기능성을 극대화하기 위한 가공 조건 설정을 위하여 난백액 회석비율, 탈당과정, 난백의 pH 조절, 건조 전 열처리, 분무건조 온도, 첨가제,

분무 건조 후 건조가열의 영향을 분석하였다. 다양한 가공 조건 중 기능성에 영향을 주는 핵심 공정은 탈당, 건조 전 난백 pH와 분무건조 온도였으며 난백의 분말화 이후 건조가열에 의하여 거품형성 능력이나 겔의 강도 등의 기능성 향상을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

난백액의 미생물학적 품질 특성을 평가한 결과 총균수는  $2.6 \times 10^6$ 이었으며, *Salmonella*, *E. coli*는 검출한계(검출 한계 <10)에서 검출되지 않았다. 제조된 난백분말의 경우 살모넬라는 모든 건조 시료에서 검출되지 않았으며, 대부분의 시료에서 총균수는  $1 \sim 2 \times 10^2$ 의 분포를 보였다.

거품형성능력의 극대화를 위한 반응표면 분석의 최적 조건에서 시제품을 생산하고 난백의 거품 형성 능력이 품질을 결정하는 angel food cake을 제조하여 품질 특성을 평가하였다. 시제품으로 제조한 angel food cake은 비중, 부피의 일반적인 특성과 맛, 조직감 등의 관능적 특성에서 모두 신선 난백으로 제조한 angel food cake과 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 전반적 기호도 역시 신선난백으로 제조한 angel food cake과 동일하였다. 그러나 현재 시판중인 상업용 수입 난백으로 angel food cake을 제조한 결과 일반적 특성 및 관능적 특성에서 모두 신선난백의 angel food cake과 유의적 차이를 보였으며 전반적 기호도 역시 매우 낮게 평가 되었다. 그러므로 본 연구에서 생산한 시제품은 거품 형성 능력을 극대화함으로써 용도 차별화가 요구되는 제품에 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

## SUMMARY

Egg albumen is one of the widely used ingredients in food formulations. Although fresh egg white has been commonly used in bakery application, the use of dried whole egg or egg white products in the food industry has steadily increased especially in advanced countries. The increased popularity for the dried egg products is probably ascribed to some advantages over traditional liquid eggs in convenience, safety and uniformity of products.

Up to present, the complete pictures of egg processing technologies for the production of powdered egg products with improved functionalities are not available and egg powders has been made based on the empirical procedures. This study has been conducted to suggest suitable processing conditions for the production of highly functional egg powders.

A convenient method for the determination of foaming properties of egg white was suggested. The highly reproducible results was obtained when 70 g of egg white was whipped at 1200 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. It was demonstrated that foaming capacity of egg white was not changed during the storage of fresh egg white up to 4 weeks at 4°C but foaming stability was significantly decreased after 2 weeks of storage. Emulsifying properties of egg yolk can be easily expressed by the modified turbidimetric method of Pearse and Kinsella (1978). The reproducible results were obtained when emulsion was formed by egg yolk concentration of 0.5% and oil volume of 20%.

Among the various means to modify functional properties of egg white powder, the combination of pH adjustment and inlet temperature of spray drying

critically influenced functional properties of egg white powder. The pH control of egg white prior to spray drying caused the conformational changes of egg white proteins and. this result was confirmed by circular dichroism spectra analysis. The optimum conditions for maximum foaming and gel strength were predicted by response surface methodology. The maximized foaming can be obtained by pH 6.34, and inlet temperature of 72.5°C while the processing condition for the maximum gel strength was pH 8.23 and 66.38°C. Desugaring process was essential to prevent undesirable brown color formation and insolubility of egg white powder after dry heating process. Foaming ability and gel strength of egg white powder significantly increased by heating in the drying state (dry heating process) without losing solubility.

Total aerobic counts in fresh egg white were  $2.6 \times 10^6$  CFU/g and *Salmonella* and *E. coli* were not detected at the detection limit (<10 CFU/g). After drying, total aerobic counts were reduced to  $1 \sim 2 \times 10^2$  CFU/g and *Salmonella* was not found in egg white powder.

To improve emulsifying property, egg yolk has been modified by phospholipase A<sub>2</sub> (Lecitase). The enzymatically modified egg yolk was produced by the enzyme concentration of 7432 LEU and reaction time of 73.5 min at 55°C in the presence of 11.5% salt.

Pilot products (high foaming, high gelling egg white powder and enzymatically modified egg yolk powder) were prepared and their performances in real food application were tested. The addition of high gelling egg white powder (3%, w/w) in surimi resulted in increased hardness and springiness. The extent of increase by pilot egg white product was similar to commercial egg white powder.

The high foaming egg white powder was used for the preparation of angel food cake. The physical property (pH, specific volume, cell size and uniformity, and color) and sensory attributes (color, taste, off-flavor, hardness) of angel food cake prepared from the pilot product was comparable to those of

fresh egg yolk and did not show any difference including overall acceptance. On the other hand, angel food cake prepared from commercial egg white powder showed significantly lower loaf volume and sensory scores.

The mayonnaise prepared from the pilot egg yolk product did not show any difference in sensory qualities compared to the one from fresh egg yolk. The mayonnaise prepared from the pilot egg yolk powder had greatly improved emulsion stability.

Based on the results, the functionalities of pilot products are superior to commercial products available in the market. In terms of functionality, the pilot products have great potential to replace fresh egg white or egg yolk in the production of processed foods.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	<b>14</b>
1. Justification of research .....	14
2. Objective and scope of research .....	15
<b>Chapter 2. Current status of technique</b> .....	<b>16</b>
<b>Chapter 3. Research contents and result</b> .....	<b>18</b>
1. Development of testing methodologies and functionality modifying technologies for the production of functional egg powders .....	18
2. Characterization of structure functionality relationship and optimization of processing technology .....	110
3. Characterization of critical processing steps for the mass production of functional egg powders .....	164
<b>Chapter 4. Achievements and contributions</b> .....	<b>199</b>
1. Development of testing methodologies and functionality modifying technologies for the production of functional egg powders .....	199
2. Characterization of structure functionality relationship and optimization of processing technology .....	200
3. Characterization of critical processing steps for the mass production of functional egg powders .....	200
<b>Chapter 5. Application</b> .....	<b>201</b>
<b>Chapter 6. International trend and scientific information</b> .....	<b>202</b>
<b>Chapter 7. Reference</b> .....	<b>203</b>

# 목 차

<b>제 1 장</b>	<b>연구개발과제의 개요</b> .....	<b>14</b>
제 1 절	연구개발의 필요성 .....	14
제 2 절	연구개발의 목적 및 범위 .....	15
<b>제 2 장</b>	<b>국내외 기술개발 현황</b> .....	<b>16</b>
<b>제 3 장</b>	<b>연구개발수행 내용 및 결과</b> .....	<b>18</b>
제 1 절	달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말소재 생산을 위한 단백질 구조변형 기술 개발 .....	18
제 2 절	달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화 .....	110
제 3 절	액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립 .....	164
<b>제 4 장</b>	<b>목표달성도 및 관련분야의 기여도</b> .....	<b>199</b>
제 1 절	달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말소재 생산을 위한 단백질 구조변형 기술 개발 .....	199
제 2 절	달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화 .....	200
제 3 절	액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립 .....	200
<b>제 5 장</b>	<b>연구개발결과의 활용 계획</b> .....	<b>201</b>
<b>제 6 장</b>	<b>연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보</b> .....	<b>202</b>
<b>제 7 장</b>	<b>참고문헌</b> .....	<b>203</b>

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

달걀은 우수한 관능적 특성과 풍부한 영양적 가치 뿐만 아니라 주로 달걀의 단백질에서 유래하는 고유한 이화학적 기능성(예를 들어 거품형성, 겔 형성 등) 때문에 제과, 제빵, 식육제품을 비롯한 다양한 가공식품의 원료로 널리 사용되고 있다.

달걀은 다른 축산물에 비하여 가격이 저렴하다는 특징을 가지고 있으나 우리나라의 달걀의 소비 형태는 통달걀에 지나치게 의존적이어서 달걀의 가격은 생산량에 매우 민감하게 반응하며 변동 폭이 크다. 이와 같은 산업적 취약성을 극복하기 위해서는 일차적으로 달걀의 소비 형태를 다원화하는 것이 절대적으로 필요하다.

본 연구과제에서는 산업적으로 대량으로 소비되는 달걀 원료의 생산 기술을 제안하여 달걀 생산과 관련된 산업적 취약성을 극복하고자 하였다. 연구과제에서 생산하고자 하는 원료의 형태는 냉동 및 냉장 유통 시설이 아직도 취약한 국내의 현실과 장기적인 저장이 가능하여 식품원료로서 가격 완충작용이 가능한 분말 소재의 생산 기술에 초점을 두었으며, 난백이나 난황 분말의 이화학적 기능성을 개선하여 신선 난백이나 난황의 기능성을 대체할 수 있는 고 기능성 원료의 생산을 위한 가공 기술을 개발하였다.

### 제 1 절 연구개발의 필요성

식품에 대한 소비자의 욕구가 다양해지고 소득 증대와 함께 소비자들의 건강에 대한 관심이 증가하면서 1990년대부터 오메가 3란, 목초란, 한방란 등 특수 브랜드란이 새로운 판로를 개척하고 있으나 현재 시중에 유통되고 있는 특수란 브랜드의 수는 90여종이 넘는 실정으로 포화 상태에 이르고 있다.

국내 난가공 산업의 규모나 경쟁력은 매우 취약하여 산업적 수요가 있음에도 불구하고 고전을 면치 못하고 있다. 난가공 산업이 부진한 이유는 국내 달걀 가격의 등락폭이 심하여 가공란 생산비가 높은 데 기인하기도 하지만 국내산 난백분이나 난황분이 외국산에 비하여 품질이 떨어지다는 견해도 무시할 수 없다.

난백이나 난황분말의 이화학적 기능성은 할란으로부터 시작하여 최종적으로 분말화 되기까지 거치게 되는 가공 공정에 따라 민감하게 좌우되며 거품형성이나 겔 형성 능력을 극대화하기 위한 가공 처리 조건은 차이를 나타냄에도 불구하고 국내에

서는 이화학적 기능성의 극대화를 위한 가공 처리 조건에 대한 연구가 진행된 바 없으며 난백분이나 난황분의 가공 방법은 경험에 의존하고 있다.

현재 신선한 식란의 소비는 증가 추세로부터 증체상태로 전환 되었으므로 달걀의 지속적 소비를 위해서는 새로운 소비형태와 제품을 모색하여야하며 고부가가치의 제품을 생산하는 가공 산업으로의 전환이 요구된다. 또한 식품 가공산업에서는 신선란을 사용할 경우 난각을 제거하고, 난황과 난백을 분리해야 하는 노동집약적인 처리 공정이나 새로운 시설투자가 필요하므로 분말제품으로 대체하여 생산효율의 증대 효과를 기대할 수 있다.

## 제 2 절 연구개발의 목적 및 범위

본 연구에서는 달걀 분말 제품의 다양한 이화학적 특성 개선을 위한 액란의 가공기술을 개발하고 대량 생산을 위한 최적생산 조건을 확립하여 용도 맞춤형 고기능성 분말 달걀소재를 생산하고자 하였으며 연구의 목적 달성을 위한 핵심기술을 다음과 같이 정하였다.

- 달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말소재 생산을 위한 단백질 구조변형 기술 개발
- 달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화
- 액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립

제품 용도의 설정은 난백의 경우 거품형성용과 겔형성용으로 구분하였으며 난황의 경우 유화용으로 하였다. 또한 생산 된 달걀분말의 응용가능성을 평가하기 위하여 거품형성용 난백분말은 앤젤푸드케익(angel foodcake), 겔형성용은 수리미(surimi), 난황분말은 마요네즈(mayonnaise)에 적용하고 신선한 난백이나 난황의 대체 효과를 평가하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

현재까지 국내에서 달걀 가공과 관련하여 연구된 주요 분야는 달걀로부터 생리활성 물질을 분리하거나 콜레스테롤을 제거하는 등의 생리적 기능성과 관련된 연구가 대부분을 차지하고 있으며(Jang et al., 2005; Huh et al., 2003), 난백의 항원성을 감소시키기 위한 처리 조건에 대한 연구가 진행된 바 있다(Ryu et al., 2004).

본 연구와 직접적으로 관련이 있는 이화학적 기능성의 향상을 위한 난백이나 난황의 생산기술이나 가공공정에 관해서는 단 한편의 학술논문이나 연구보고도 이루어진 바 없으며, 다만 난백단백질을 가수분해할 경우 가열 처리 중 단백질의 응고가 방지할 수 있다는 연구 결과가 보고되었다(Yoo et al., 1999).

해외의 경우 최근 난백의 이화학적 기능성에 영향을 미치는 요인과 기작에 관한 연구가 보고되었다. Liang and Kristinsson(2005)은 난백 pH의 조절에 의하여 난백단백질의 가역적 변성을 유도할 수 있으며 난백단백질의 변화는 난백의 거품 형성 능력에 결정적인 영향을 미칠 수 있다고 하였다. Hammershøj et al.(2004)은 난백분말의 생산 과정 중 거품 형성 능력과 겔 형성 능력에 영향을 미치는 중요한 공정을 조사하였다. 거품형성능력은 분무건조의 효율을 높이기 위하여 실시되는 한외여과, 분무건조, 건조가열의 세 가지 공정에 의하여 영향을 받았으며, 겔 형성 능력은 원심분리와 난백으로부터 lysozyme의 분리를 위하여 실시되는 이온교환 크로마토그래피에 의하여 감소하였다. 한편, 건조가열은 겔형성 능력이나 거품형성능력을 향상시키는데 모두 도움을 주는 것으로 나타났다. 이들의 연구는 주요 기능성의 공정별 변화를 파악하는데 그 목적이 있었으며 기능성의 극대화를 위한 가공 조건의 변형은 실시하지 않았다.

Franke and Kießling(2002)은 건조 과정 중 일어나는 단백질의 변화가 전란분말(dried whole egg)의 기능특성과 밀접한 관계가 있음을 보고하였다. 기능특성 중 단백질의 용해도는 겔 형성능력과 높은 상관관계를 나타냈으며 용해도가 높을수록 높은 강도의 겔을 형성하였다. 전란분말의 유화능력은 상대적으로 단백질 변화에 대한 의존성이 약하였으며 이는 단백질 이외에 인지질 등의 성분의 유화능력에 대한 기여도가 높기 때문인 것으로 분석하였다.

난황의 기능성을 향상시키기 위한 방법으로 phospholipase A<sub>2</sub>에 의한 인지

질의 가수분해가 제안되었다(Harrison and Cunningham 1986). 이론적으로 난황 인지질이 가수분해 되면 지방산이 인지질로부터 분리됨에 따라 lysophosphatidylcholine 또는 lysophosphatidylethanolamine으로 전환되어 친수성이 증가함으로써 효율적으로 수중유적형(O/W) 유화물을 형성할 수 있는 것으로 보고되었다(Nieuwenhuyzen and Szuhai, 1998). 그러나 효소변형 난황 생산을 위한 가공 조건이나 그 결과물의 기능 특성 변화는 실제적으로 보고된 바 없다.

이와 같은 조사결과를 근거로 할 때, 국내 달걀 소재의 다양한 이화학적 기능성에 관한 연구는 체계적으로 진행된 바 없으며, 특히 단백질의 분자구조와 이화학적 기능성과의 상관관계에 관한 연구는 매우 미흡한 실정으로서 난가공의 산업적 발전을 위한 관련 기술의 개발이 요청된다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 주관과제 :

#### 달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말 소재 생산을 위한 단백질 구조 변형 기술의 개발

##### 1. 연구수행방법

##### 가. 거품형성능력 및 안정성 평가 방법의 표준화

###### 1) 시료

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

###### 2) 거품형성능력의 평가

거품 형성 능력의 측정장치는 시료의 저항에 따른 교반속도의 변화가 보정될 수 있는 Electronic heavy duty stirrer(IKA, Japan)를 사용하였으며 주방용 거품기에 사용되는 것과 동일한 프로펠러를 장착하여 시료의 양(60-80 g), 교반시간(1-3분), 교반속도(800-1600 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 프로펠러 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.

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

### 3) 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 1 시간 방치하여 시료의 온도 차이에 의한 거품생성 능력 및 안정성의 변화를 최소화하였다. 또한 동일한 조건에서 20회 반복 측정하여 평가방법의 재현성을 검증하였다.

### 4) 표준화된 방법의 실용성 검증

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

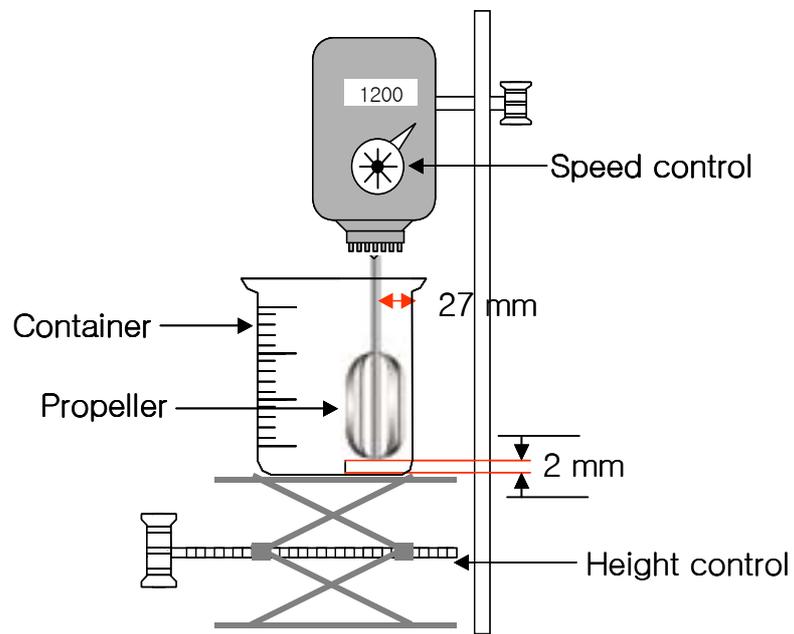
## 나. 난백단백질의 구조변형에 따른 거품형성능력 및 안정성의 변화

### 1) pH의 조정

신선한 난백, 동결건조 난백, 상업용난백분말 의 pH를 1 N 의 HCl 과 NaOH를 이용하여 7, 8, 9, 10으로 조정한 후 최적거품형성조건(시료양 70 g, 교반속도 1,200 rpm, 교반시간 2분)에서 거품을 형성하였다. 각 시료의 고형분 함량은 10.5%(w/v)로 고정하였으며 형성 된 거품의 overrun 및 안정성의 변화를 측정하였다.

### 2) 염의 종류 및 이온강도 조정

각 시료에 NaCl과 CaCl<sub>2</sub>를 100-400 mM의 농도가 되도록 각각 첨가한 후 앞서 기술한 방법으로 거품형성능력및 안정성의 변화를 측정하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1. Schematic presentation of foaming testing unit.

(a) Foaming apparatus, (b) Bottom of container, (c) Drainage testing unit

### 3) 열처리

진탕배양기(Vision Scientific, Korea)를 이용하여 다양한 조건(50-70°C, 30 분; 50°C, 15-60 분)에서 시료의 열처리를 실시하였다. 열처리의 종료 후, 얼음을 이용하여 시료의 온도를 신속하게 상온으로 낮추고 거품형성능력 및 안정성의 변화를 측정하였다.

### 4) 난백단백질의 가수분해

난백단백질의 가수분해는 식품제조에 사용이 가능한 상업용 단백질 분해효소인 Flavourzyme, Protamex, Neutrase 0.8L, Alcalase 2.4L(Novo Nordisk, Denmark) 및 시약등급인 pepsin과 papain(Sigma, USA)를 사용하였으며 적합한 단백질분해효소의 1차적 선별을 위하여 최적반응 pH 영역 및 온도조건에서 충분한 양을 첨가한 후 진탕배양기에서 가수분해를 실시하였다.

#### 가) 난백단백질 가수분해를 위한 단백질분해효소의 선별

단백질분해효소의 선별을 위한 기질은 동결건조난백분말(고형분함량 11%, w/w)을 증류수에 환원하여 이용하였으며 필요시 시료의 pH를 조정하고 **Table 1**에 제시된 조건에 따라 가수분해를 실시하였다. 가수분해 후 시료 용액의 pH를 9로 조정하여 효소반응을 정지시키고 가수분해에 따른 거품형성능력 및 안정성의 변화를 측정하였다.

#### 나) 선별된 효소를 이용한 난백단백질의 가수분해

난백의 가수분해 효과가 우수한 Flavourzyme을 이용하여 다양한 조건(효소활력: 10-50 LAPU, 가수분해시간: 1-4 시간)에서 가수분해를 실시하였다. 난백의 가수분해 시에는 가수분해 전 난백을 증류수와 8:2 (w/w)의 비율로 혼합하여 점도를 감소시킴으로써 가수분해반응을 용이하도록 하였다. 거품형성능력 및 안정성의 측정 시에는 대조구의 고형분 함량도 처리구와 동일하도록 조정하여 고형분 함량에 따른 영향을 배제하였다.

#### 라) 효소처리에 따른 가수분해율(degree of hydrolysis) 측정

시료의 가수분해정도는 Nielsen et al.(2001)의 방법에 따라 dithiotreitol의 존재 하에 일어나는 아미노기와 o-phthalaldehyde(OPA)간의 발색반응을 이용하여

**Table. 1. Hydrolysis conditions for reconstituted freeze-dried egg white and fresh egg white.**

Protease	Temperature (°C)	pH	Time (h)	Concentration (%) <sup>1</sup>
Flavourzyme	50	6	2	10
<sup>2</sup> Flavourzyme	50	6	1-4	2-10
Protamex	40	6	2	10
Neutrase 0.8 L	40	6	2	10
Alcalase 2.4 L	40	7	2	5
Pepsin	40	3	2	5
Papain	25	6.2	2	0.5

<sup>1</sup>Each enzyme was added based on the protein content of substrate.

<sup>2</sup>Flavourzyme indicates hydrolysis conditions used for fresh egg white. Others indicated hydrolysis conditions for reconstituted freeze-dried egg white powder (11% solid, w/w).

340 nm에서 흡광도를 측정하였으며 전체 peptide 중 가수분해된 peptide의 %로 표현하였다.

#### 마) Gum류 첨가에 따른 거품형성능력 및 거품안정성의 변화

가수분해 시 일어나는 거품안정성의 저하를 개선하기 위하여 여러 가지 검류 (k-carrageenan, sodium alginate, xanthan)을 첨가한 후 거품형성능력 및 안정성의 개선효과를 조사하였다.

#### 다. 건조조건의 변화에 따른 단백질의 이화학적 특성 평가

##### 1) 용해도(solubility)

제 2 협동기관에서 제조한 단백질의 용해도는 Mine(1997)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 시료(1%)를 sodium phosphate buffer(100 mM, pH 7.2)에 동일한 조건에서 완전히 용해시킨 후 원심분리(15,000 × g, 30 분)하고 상등액을 membrane filter (0.45 μm)로 여과하였다. 원심분리 전후의 시료의 단백질 함량은 Lowry assay(Lowry et al., 1951)를 이용하여 측정하였으며 용해도는 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{용해도} = (\text{원심분리 후 시료의 단백질함량} / \text{원심분리 전 시료의 단백질 함량}) \times 100$$

##### 2) Total SH group/available SH group content

제조된 단백질의 Total SH group과 Available SH group의 함량은 Beveridge et al.(1974)의 방법과 LeBlanc et al.(1992)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. Total SH 그룹은 0.5 mg/mL EDTA와 2% SDS를 함유한 sodium phosphate buffer(80 mM, pH 8) 10 mL안에 시료를 고형분 함량이 0.1%가 되도록 용해하여 제조된 시료용액 3 mL에 0.1 mL의 Ellman 시약을 첨가한 후 15분간 방치하여 412 nm에서 흡광도를 측정하였다. Available SH group은 Tris-Gly 완충용액 2 mL에 고형분 함량이 10%가 되도록 희석한 시료를 100 μl를 넣은 후 20 μl의 Ellman 시약을 넣고 2분 후 412 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 3) 표면소수성(surface hydrophobicity)

제조된 난백분말의 표면소수성은 Lechevalier et al.(2005)의 방법을 일부 변형하여 다음과 같이 측정하였다. 난백 분말을 sodium phosphate buffer(20 mM, pH 7.0)에 40-200 ug/mL의 농도가 되도록 각각 용해시킨 후 8-anilino-naphthalene sulfonic acid (ANS, 8 mM, 5 uL)를 시료 3 mL에 첨가하고 형광강도(ANS fluorescence intensity)를 spectrofluorometer(Kontron Instrument, Milan, Italy)를 이용하여 485 nm emission, 374 nm excitation에서 측정하였다. 최종적으로 단백질 농도에 대한 형광강도 함수의 기울기를 계산하여 표면소수성의 지표로 사용하였다.

### 4) 색도(color)

제조된 난백 분말의 색도는 Hunter colorimeter(Minolta, Japan)를 이용하여 Lightness(L), Redness(a), Brownness(b)를 측정하였다.

### 5) 수분함량(moisture content)

시료의 수분함량은 Karl fisher titrator(787 KF, Metrohm, Switzerland)를 이용하여 측정하였다.

## 라. 반응표면분석법에 의한 고기능성 분말 생산의 최적화

난백의 분무건조 시 기능성에 영향을 미치는 pH와 건조온도를 독립변수로 설정하여 반응표면분석의 실험영역을 **Table 2**와 같이 5 개의 수준으로 code화 하고 독립변수와 code를 이용하여 중심합성계획(central composite design)에 따라 12 개 군의 분무건조 조건을 작성하였으며 foam overrun, drainage weight at 45 min, available SH, Lightness, Brownness의 값이 최대, 혹은 최소로 나타나는 반응표면식(Y)은 다음과 같은 다중 회귀식에 적용시켰다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_1 X_1^2 + \beta_2 X_2^2 + \beta_{12} X_{12} + \epsilon$$

Y: response variables,  $\beta_0$ : intercept,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ : regression coefficient,  $X_1$ ,  $X_2$ : independent variables,  $\epsilon$ : random error.

**Table 2. Levels of independent variables for experimental design.**

X <sub>i</sub>	Independent variables	Levels				
		-1.414	-1	0	1	1.414
X <sub>1</sub>	pH	6	6.44	7.5	8.56	9
X <sub>2</sub>	Temperature (°C)	65	68	75	82	85

Data 분석은 SAS system(Statistical analysis system, ver 6.08)을 이용하였으며 반응표면분석은 RSREG procedure를, 회귀분석은 REG procedure를 각각 사용하였고, 회귀분석 결과 임계점이 최대이거나 최소점이 아니고 안장점일 경우에는 능선분석(ridge analysis)을 하여 최적점을 구하였으며 3차원 반응도는 G3D procedure를 사용하였다. 그리고 최종적으로 예측된 조건에서 난백분말을 제조하여 예측된 난백분말 생산 조건의 유효성을 검증하였다.

**마. 건조 가열 처리에 의한 난백분말의 이화학적 특성 변화**

반응표면분석에서 예측된 조건으로 제조된 난백분말 및 상업용 난백분말을 수분함량이 약 9%가 되도록 증류수를 분무하여 가수한 후 수직형 반죽기로 충분히 교반을 실시하였다. 가수된 난백분말은 plastic bag에 넣어 밀봉한 후 다양한 온도 및 기간 동안 dry oven에서 넣어 건조 가열을 실시하고 건조가열 후 시료의 이화학적 특성 변화를 앞서 제시한 방법으로 측정하였다.

**바. 저장기간 중 난백분말의 이화학적 특성변화**

최적 조건에서 생산된 시제품을 밀봉하여 다양한 온도(0, 20, 30, 40°C)에 저장한 후 저장기간(4 주)의 변화에 따른 난백분말의 거품형성능력과 안정성을 평가하였다.

## 사. 유화능력 및 안정성 평가 방법의 표준화

난황의 유화능력 및 안정성 평가방법의 표준화를 위하여 다음의 방법으로 유화능력을 측정 한 후 재현성과 시료 간 차이의 구별 능력을 토대로 적절한 평가 방법을 선정하였다.

### 1) Emulsifying Activity Index (EAI)

EAI는 Pearce and Kinsella (1978)의 방법을 변형하여 측정하였다. 난황분말을 100 mM sodium phosphate buffer(pH 7.0, 0.1 M NaCl)에 고형분 함량이 0.1-1%(w/v)가 되도록 용해시킨 후 다양한 비율(10-40%, w/v)의 시료와 corn oil (Sigma, USA)을 혼합하고 PH 91 homogenizer (EYELA, Japan)를 이용하여 18,000 rpm 에서 1 분간 유화하여 유화물을 형성하였다. 유화물의 형성 즉시 0.1% SDS 용액으로 적절하게 희석 한 후 500 nm에서 흡광도를 측정하였으며 다음의 corrected EAI (Cameron et al., 1991) formula를 이용하여 유화능력을 표현하였다.

$$\text{Corrected EAI (m}^2/\text{g)} = 2T / c(1-\emptyset)$$

T :  $2.303 \times \text{OD}_{500} \times \text{dilution factor} / 0.01 \text{ m light path}$

c : proteins adsorbed in interface

$\emptyset$  : oil volume fraction

### 2) 계면에 흡수된 단백질의 양

유화물을 25,000 x g 에서 15 분간 원심분리 하여 크림층과 수용액층을 분리 한 후 pasteur pipet을 이용하여 수용액층을 조심스럽게 회수하고 glass wool을 통과 시켜 여과하였다. 유화물의 형성 전 후의 단백질 양을 Lowry 법((Lowry et al., 1951)을 이용하여 측정 한 후 크림층에 흡수된 단백질 양을 %로 표현하였다.

### 3) Emulsifying Activity (EA)

EA는 Neto et al. (2001)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료를 EAI의 측정 시와

동일한 조건으로 준비하여 유화물을 제조한 후 원심분리(1,100 × g, 5 min)하고 다음의 식으로 계산하였다.

$$EA(\%) = (\text{튜브 내 유화물층의 높이} / \text{튜브 내 전체 내용물의 높이}) \times 100$$

#### 4) 유화안정성의 평가방법의 설정

유화안정성의 평가방법으로 Pearce and Kinsella (1978)의 방법을 일부 변형한 Emulsifying Stability Index (ESI)를 사용하였다. 유화물의 형성 후 500 nm에서 시간의 경과에 따른 흡광도의 변화를 모니터하고 시료 간 유화 안정성의 차이를 구별할 수 있는 적정 시간 및 조건을 결정하였다.

### 아. Phospholipase A<sub>2</sub> 처리에 난황의 이화학적 기능성 향상

#### 1) Phospholipase A<sub>2</sub> 처리

신선한 달걀을 할란하여 난백을 제거하고 난황을 분리하였다. 분리된 난황을 거즈에 여과하고 교반하여 균일한 난황액을 조제한 후, 난황과 물을 7대 3의 비율로 섞어 효소반응을 용이하게 하였다. phospholipase A<sub>2</sub>에 의한 가수분해반응은 55℃에서 Lecitase 10L(Novozymes, Denmark)을 첨가하여 실시하였으며 효소농도, 반응시간 및 첨가되는 소금의 양을 변형시키며 인지질의 가수분해율과 효소변형 난황액의 이화학적 특성 변화를 측정하였다. 주어진 조건에서 효소반응의 종료 후에는 염의 농도가 10%가 되도록 소금을 첨가하고 즉시 냉동하였다.

#### 2) 효소변형난황 생산 조건의 최적화

난황의 이화학적 특성 개선을 위한 효소처리 반응 조건의 최적화를 위하여 반응표면분석법을 이용하였다. 효소반응의 독립변수로서 효소의 농도, 반응시간, 반응 시 염의 농도를 설정하고 **Table 3**과 같이 각각 5단계로 부호화하여 중심합성 계획에 의해 20개 군의 반응 조건을 설계하였다.

**Table 3. Levels of independent variables for experimental design.**

X <sub>i</sub>	Independent variables	Levels				
		-1.682	-1	0	1	1.682
X <sub>1</sub>	Enzyme Concentration (LEU)	0	2000	5000	8000	10000
X <sub>2</sub>	Time (min)	0	35	60	95	120
X <sub>3</sub>	Salt (%)	0	3	7.5	12	15

각 조건에서 얻어진 종속변수(마요네즈의 유화안정성, 혼탁도, 가수분해율)의 값이 최대 혹은 최소가 되는 반응표면식(Y)는 다음과 같은 다중 회귀식에 적용하여 산출하였다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 + \varepsilon$$

Y: response variables,  $\beta_0$ : intercept,  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ : regression coefficient, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>: independent variables,  $\varepsilon$ : random error

회귀분석에 의한 최적 조건의 예측은 SAS program을 이용하였다.

### 3) 난황인지질의 가수분해율

난황 인지질의 가수분해율은 효소반응 종료 후 시료를 에탄올(95%, v/v)과 진탕시키고 10,000 × g에서 10분간 원심분리 하여 회수 된 상정액에 포함 된 지방산을 0.02 M NaOH로 적정하여 측정하였다. 지방산 농도의 표준곡선은 oleic acid를 이용하여 작성하였으며 가수분해율은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

가수분해율(%) = (유리지방산의 농도 / 난황 내 존재하는 인지질의 농도) × 100  
단, 난황 내 존재하는 인지질의 농도는 난황 무게의 6.2%로 간주하였다.

#### 4) 마요네즈(mayonnaise)의 제조 및 안정성 평가

신선한 난황과 효소변형 난황을 주원료로 사용하여 **Table 4**에 제시한 성분표에 따라 마요네즈를 제조하였다. 마요네즈의 제조 시에는 대두유를 제외한 모든 원료를 넣고 mixer(IKA, Japan)를 이용하여 500 rpm에서 30초간 예비 교반하였다. 대두유(백설식용유, CJ)는 peristaltic pump(Vision Scientific, Korea)를 이용하여 4분 동안 일정속도로 첨가하였으며 교반속도는 일정 간격으로 500 rpm에서 1,000 rpm까지 증가시켰다. 총 교반시간은 예비교반 및 마무리교반을 포함하여 총 5분간 실시하였다. 마요네즈의 유화안정성 측정을 위하여 25g의 마요네즈를 원심분리 용기에 담아 고온에서 (65-95℃) 일정시간(30분, 1시간)동안 방치한 후, 15,000 × g에서 30분간 원심분리를 실시하였다. 유화안정성(%)은 원심분리 후 마요네즈로부터 분리되는 기름을 Pasteur pipet으로 조심스럽게 회수한 후 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{안정성(\%)} = (\text{분리되지 않고 남아 있는 마요네즈의 무게} / \text{초기마요네즈의 무게}) \times 100$$

#### 5) 난황의 혼탁도(turbidity)

효소처리 전 후 난황의 혼탁도는 Dahim et al. (1998)의 방법에 따라 난황을 (0.2%, w/v) 증류수에 용해한 후 400 nm에서 흡광도를 측정하였다.

#### 차. 효소변형 난황으로 제조한 마요네즈의 관능적 특성

반응표면분석으로 예측된 최적 효소처리 조건을 이용하여 효소변형난황을 생산하고 마요네즈를 제조하였다. 마요네즈는 전술한 방법에 따라 제조하였으며 마요네즈에 포함된 난황의 농도는 효소변형 난황의 경우 6%, 대조구의 경우(신선 난황)는 8%, 10%로 제조하였다. 세 가지 시료는 3 단위의 임의의 숫자를 부여하여 표시하였으며 동반시료로 신선한 샐러리를 제공하였다. 관능검사를 위한 ballot은 **Fig. 2**에 제시하였다. 기호도의 경우 척도의 양끝을 매우 싫다(1)에서 매우 좋다(9)로 표시하였으며 강도 측정의 경우 매우 약함(1)에서 매우 강함(9)으로 지정하였다. 제시된 시료의 온도는 상온으로 유지하였으며 한 가지 시료의 평가가 끝날 때마다 물로 입을 헹구고 다음 시료를 평가하도록 하였다. 패널은 국민대학교의 학부 및 대학원생 51명(18-30세, 남 20, 여 31)을 대상으로 하였다.

**Table 4. Formula used for the preparation of mayonnaise.**

Ingredients	Concentration of egg yolk (%)		
	6	8	10
Egg yolk	6	8	10
Soybean oil	78	78	78
Vinegar	3	3	3
Salt	1.5	1.5	1.5
Sugar	1	1	1
Water	10.5	8.5	6.5
Total	100	100	100

제품 : 마요네즈

연령 :

성별 : 남 / 여

이름 :

외관 기호도 (색상, 탁한 정도 등)

매우싫다 매우좋다

맛 기호도 (고소함, 맛의 조화, 불쾌취 등)

매우싫다 매우좋다

전반적 기호도 (외관, 맛, 냄새, 기름기의 잔존감 등)

매우싫다 매우좋다

고소한 정도 (강도)

매우약하다 매우강하다

신맛 (강도)

매우약하다 매우강하다

느끼한 정도(기름기) (강도)

매우약하다 매우강하다

노란색 (강도)

매우약하다 매우강하다

감칠맛 (강도)

매우약하다 매우강하다

산패취(오래된 기름 냄새) (강도)

매우약하다 매우강하다

Fig. 2. Ballot for the sensory evaluation of mayonnaise.

### 카. 효소변형 난황분말의 제조 및 이화학적 특성 평가

예측된 최적 효소처리 조건으로 난황인지질의 가수분해를 실시한 후 제2협동 기관에 의뢰하여 효소변형 난황의 분무건조를 실시하였다. 제조된 효소변형 난황분말의 용해도는 Guilmineau and kulozik(2005)의 방법을 변형하여 측정하였으며 유희능력은 전술한 표준 조건을 이용하였다. 효소변형 난황 분말의 이화학적 특성 개선 효과는 동일한 조건으로 분무 건조하여 제조된 신선난황분말을 대조구로 하여 비교 평가하였다.

### 타. 통계분석

모든 분석 실험은 3회 이상 반복 측정하였으며, 결과의 통계분석은 Minitab Ver. 13.1(Minitab inc., USA)을 이용하였다. 처리구간의 유의적 차이( $p < 0.05$ )는 일원 분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey의 다중비교 검정법을 이용하였다.

## 2. 연구개발수행내용 및 결과

### 가. 거품형성능력 및 안정성 평가 방법의 표준화

#### 1) 거품형성능력 및 안정성 평가

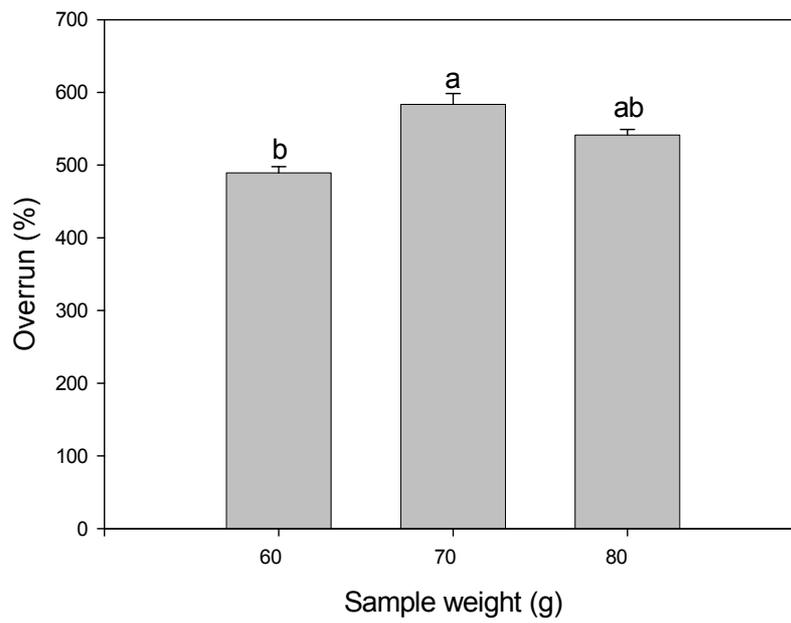
현재까지 난백을 포함한 식품단백질의 거품형성능력을 평가하기 위한 표준화된 방법 및 측정기구는 제시되어 있지 않으며 연구자에 따라 whipping, sparging, shaking 등 서로 다른 원리를 이용하여 식품단백질의 거품형성능력을 평가하고 있다. 이 중 whipping에 의한 거품형성은 단백질 용액을 mixer로 교반하여 생성된 거품의 부피를 측정하는 방법으로써 제과 제빵 등의 실제식품생산 공정과 높은 유사성을 가지고 있으나 재현성을 확보하기 위해서는 mixer의 종류, whipping속도 및 시간, 프러펠러의 dimension, 시료의 양 등 거품형성조건에 세심한 설정이 반드시 필요하다.

난백의 거품형성능력 평가를 위한 표준방법을 설정하기 위하여 연구수행방법에서 제시한 조건에서 시료의 양, whipping속도, whipping시간의 변화가 거품형성에 미치는 영향을 조사하였다. 본 연구에 사용한 mixer는 투입된 초기 시료 양의 변화 및 whipping과정 중 나타날 수 있는 저항의 변화를 자동적으로 보정하여 교반속도를

일정하게 유지하도록 하였으며, 일반적으로 거품생성을 위해 사용되는 프로펠러를 장착함으로써 산업적으로 손쉽게 응용이 가능하도록 하였다. 시료의 whipping을 시작하기 전 프로펠러의 위치는 재현성을 얻기 위해 필수적으로 프로펠러의 정중앙축과 용기의 벽면, 프로펠러의 최하단과 용기의 바닥면의 거리를 일정하게 유지할 경우 매우 높은 재현성을 나타내었다.

초기 시료량의 변화가 거품 overrun에 미치는 효과를 조사하기 위하여 1,000 rpm, 2분으로 whipping 조건을 고정하고 신선한 난백의 거품 overrun을 측정된 결과, **Fig. 3**에 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 프로펠러의 dimension에 따라 변화될 수 있으나 본 실험조건인 경우 60 g 이하의 시료를 투입한 경우 프로펠러와 난백과의 접촉면이 감소하여 충분한 whipping이 일어나지 않았으며 80 g 이상의 시료를 사용한 경우 거품이 프로펠러의 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.

거품형성을 위한 최적 시료량(70 g)을 결정한 후 whipping속도 및 시간에 따른 거품형성능력을 측정하였다. **Table 5**와 같이 형성된 거품의 overrun은 whipping 속도(1,000-1,400 rpm) 및 시간의 증가(1-3 분)에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나 1,200 rpm, 2 분 이상의 조건에서는 whipping 속도 및 시간의 증가에 따라 생성된 거품부피의 유의적인 증가는 나타나지 않았다. 한편, **Table 5**의 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 (Lau and Dickinson, 2004). 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.



**Fig. 3. Foam overrun of fresh egg white determined at various initial sample weights.**

<sup>a-b</sup>: Means with different superscript are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 5. 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 <sup>b,y</sup>	568 ± 0 <sup>b,x</sup>	574 ± 11.4 <sup>a,x</sup>
1,200	524 ± 12.9 <sup>a,y</sup>	623 ± 15.3 <sup>a,x</sup>	628 ± 12.8 <sup>a,x</sup>
1,400	311 ± 18.7 <sup>c,y</sup>	638 ± 4.4 <sup>a,x</sup>	643 ± 25.7 <sup>a,x</sup>

<sup>a-c</sup>: Means with different superscript within a column are significantly different (p<0.05).

<sup>x-y</sup>: Means with different superscript within a row are significantly different (p<0.05).

## 2) 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 2 분)에서 신선한 난백의 거품형성능력을 20 회 반복 측정하였다. **Fig. 4**에 제시한 바와 같이 측정된 거품의 평균 overrun은 622.8%, 표준편차는 29.4 로서 매우 높은 재현성을 나타내었으며 거품 부피의 측정 시 나타난 오차의 일부는 측정과정 중 시료의 방치 시간 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 양을 측정하는 원리를 사용하고 있다. 배출된 액체량은 중량, 부피 혹은 초기시료의 중량(부피)에 대한 비율(%)로 표현할 수 있으며 Sathe and Salunkhe (1982)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 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 거품 안정성 평가의 모든 경우 거품형성직후부터 90분까지 15분 간격으로 drainage weight의 변화를 모두 측정하였으나 결과의 표현 시에는 45분 후 측정된 drainage weight로 나타내었다. **Fig. 4(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 Zhu and Damodaran(1994)은 폐쇄된 column 시스템 내에서 거품의 붕괴로 야기되는 압력의 증가를 측정하여 거품안정성의 변화를 제시하였다. Davis and Foegeding(2004)은 본 실험에서와 같이 foam lamellae를

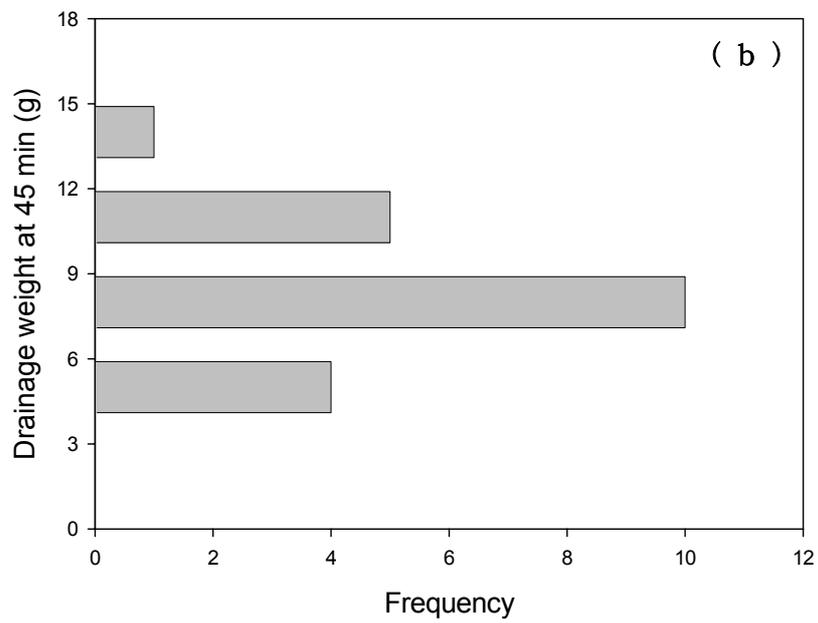
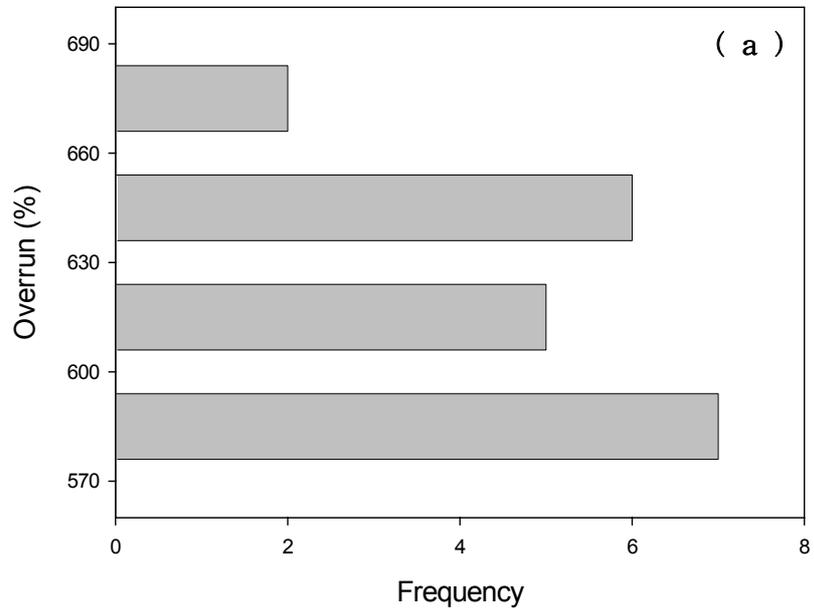


Fig. 4. Frequency distribution of foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white during 20 times repeated measurements.

통하여 구멍 난 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).

### 3) 다양한 난백 시료의 거품 형성능력 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. 5).

신선한 난백과 동일한 고형분 함량을 가지도록 분말을 증류수에 용해시켜 측정된 시료의 거품형성 능력은 신선한 난백, 동결건조난백, 분무건조 난백의 순으로 높은 것으로 나타났으며 형성된 거품의 overrun을 기준으로 하였을 때 동결건조분말의 거품형성 능력은 신선난백의 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 건조과정중 거품형성에 중요한 역할을 수행하는 단백질의 변화가 일어나는 것으로 생각할 수 있다. 건조조건이 우유단백질의 기능특성에 미치는 효과에 대한 연구들과 비교할 때 달걀단백질의 기능특성변화에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어졌다. Franke and Kiepling(2002)는 건조온도나 시료의 분무 시 가해지는 압력에 따라 분무건조진란분말의 기능특성이 달라질 수 있음을 보고한 바 있다.

동일한 방법을 이용하여 신선한 계란을 4 주까지 4°C에서 저장하며 저장기간에 따른 거품형성능력 및 안정성의 변화를 측정하였다(Fig. 6). 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(Hammershøj and Qvist, 2001).

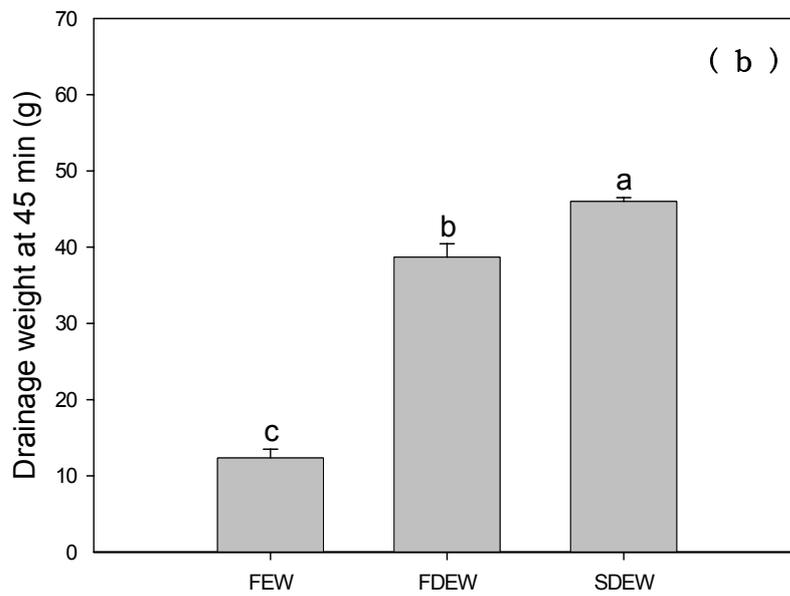
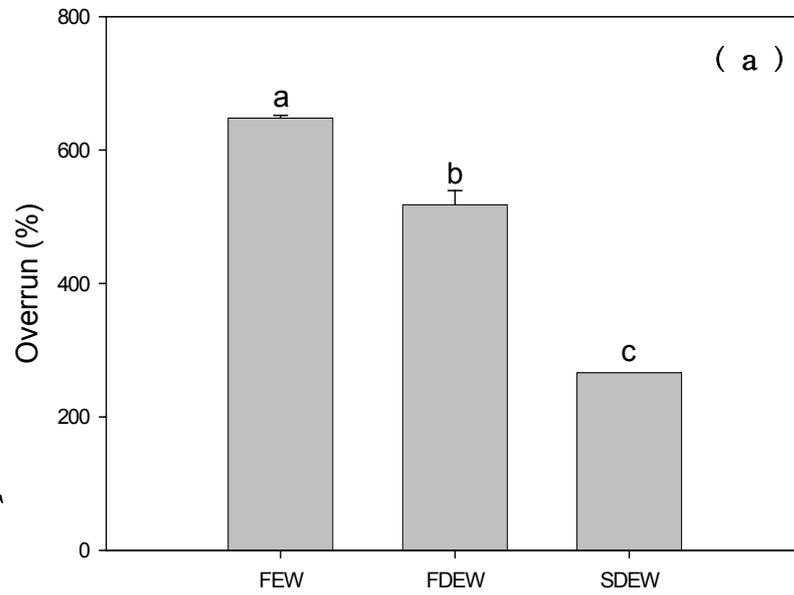


Fig. 5. Foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white (FEW), freeze-dried egg white (FDEW) and commercial spray-dried egg white powder (SDEW).

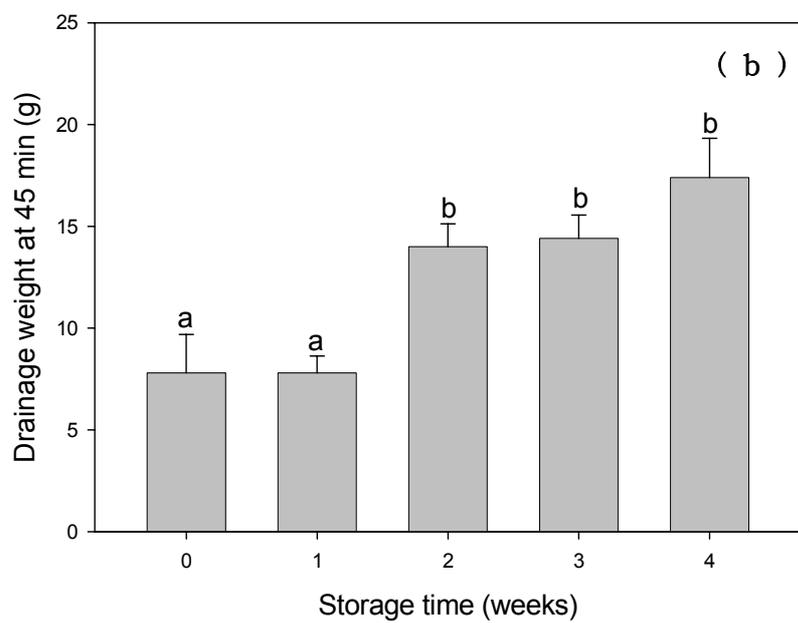
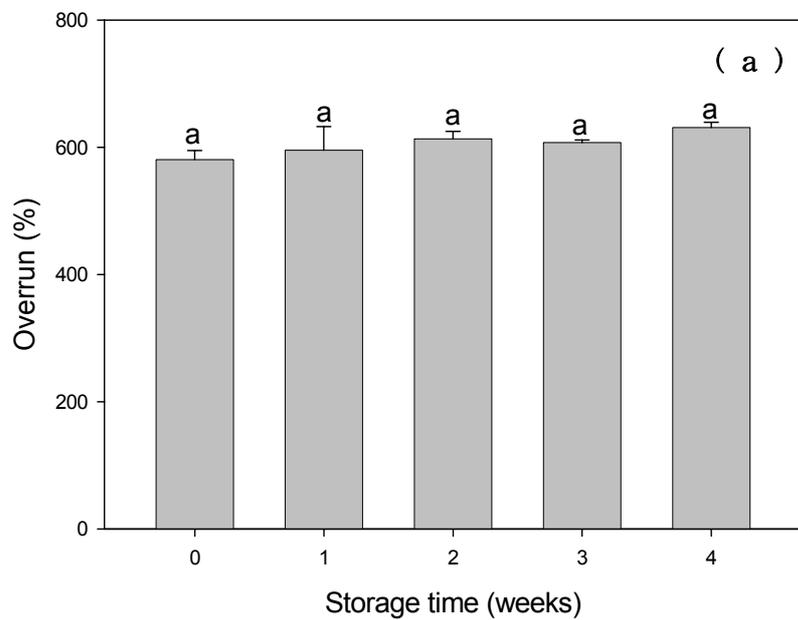


Fig. 6. Changes in foam overrun (a) and drainage weight (b) of egg white during storage at 4°C.

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 (Poole et al., 1984). 거품형성 시 계면에서 일어나는 lysozyme과 다른 난백단백질과의 정전기적결합은 정전기적 반발력의 감소를 일으킴으로써 거품의 안정성을 향상시킬 수 있음이 보고되었으며(Clark et al., 1988; Damodaran et al., 1998) 저장기간 중 일어나는 pH 상승은 저장기간의 증가에 따라 나타나는 거품안정성의 감소와 관계가 있을 것으로 생각된다.

## 나. 난백단백질의 구조변형에 따른 거품형성능력 및 안정성의 변화

### 1) pH에 따른 변화

신선한 난백의 pH를 7, 8, 9, 10으로 조정하고 pH 변화에 따른 거품형성능력 및 안정성변화를 측정된 결과 pH 7-10의 영역에서는 고형분의 함량을 일정하게 유지시킨 경우 거품형성능력과 안정성에서 모두 유의적인 차이가 관찰되지 않았다(Fig. 7).

앞서 언급한 바와 같이 난백은 매우 우수한 거품형성능력을 가지고 있는 독특한 식품단백질임에도 불구하고 난백이 거품을 형성하는 분자기전에 대한 연구는 전무한 실정이며 다만 거품의 형성은 난백을 구성하는 단백질의 상호작용의 결과로서 매우 피상적으로 이해되고 있는 형편이다. Angel cake system에서 거품의 형성 시 난백을 구성하고 있는 단백질의 상대적 중요도는 Johnson and Zabik(1981)에 의해서 처음으로 제시되었으며 globulins > ovalbumin > ovotransferrin > lysozyme > ovomucoid, ovomucin의 순서를 나타낸다고 보고하였다. Hammershøj et al.(1999)은 환원난백용액의 pH를 4.8, 7.0, 9.2, 10.7로 조정하고 거품형성 능력과 관련한 계면특성(surface properties)을 조사하였을 때 shaking으로 생성한 거품의 형성능력은 pH 4.8에서 가장 우수하였다고 하였으며 다른 pH의 경우에는 큰 차이를 나타내지 않았다고 보고하였다.

### 2) 염의 종류 및 이온강도에 따른 변화

염의 첨가가 거품형성능력 및 안정성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 식품 생산에 적용이 용이한 NaCl과 CaCl<sub>2</sub>를 첨가하고 효과를 조사하였다. NaCl을 첨가한

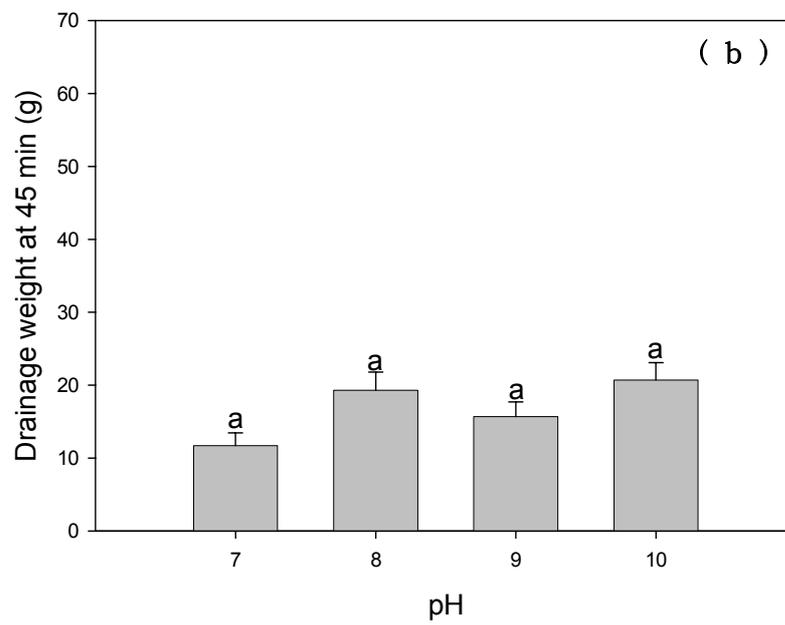
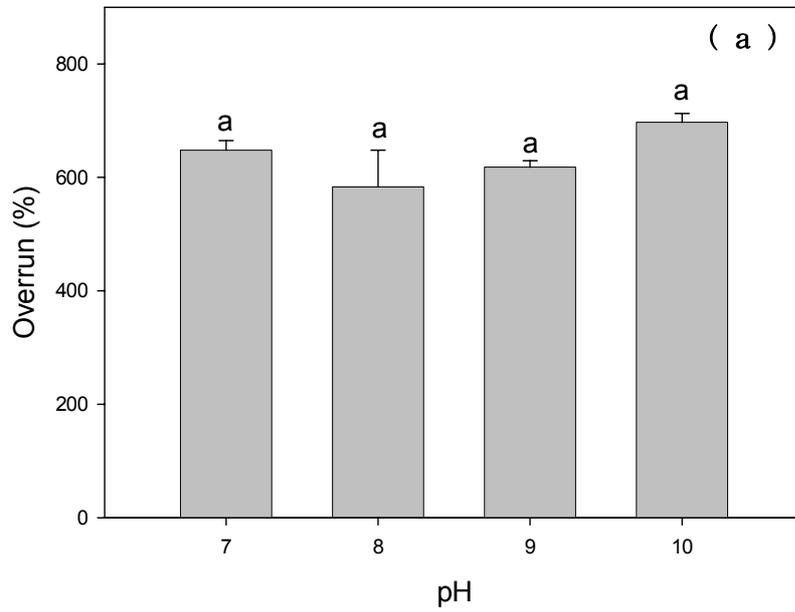


Fig. 7. Effect of pH on foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white.

경우 0.3 M 이하의 수준에서는 거품형성능력에 유의적인 차이를 보이지 않았으나 0.4 M의 NaCl을 첨가 시 거품형성능력이 유의적으로 감소하였으며 안정성의 경우 뚜렷한 경향이 관찰되지 않았다(Fig. 8). 고농도(0.4 M)의 NaCl 첨가 시 관찰된 거품형성능력의 감소는 고농도의 식염이 거품형성 시간을 지연시킬 수 있다는 보고와 유사한 경향을 나타내었다. 한편 CaCl<sub>2</sub>의 첨가한 경우에도 난백의 거품형성능력이나 안정성에 유의적인 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 9).

### 3) 열처리에 의한 거품생성 능력 및 안정성의 변화

난백의 열처리는 60℃ 이상에서는 난백단백질이 응고하여 거품형성능력의 측정이 불가능했으므로 50℃의 진탕배양기에서 가열시간을 달리하여 난백의 거품형성능력에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 10에 나타난 바와 같이 거품형성능력은 열처리 시간의 증가와 함께 60 분까지 유의적으로 증가하는 경향을 보였으나 60 분 이상의 열처리 시에는 고온의 열처리조건(60, 70℃)과 유사한 단백질의 응고가 관찰되었다. 한편 거품안정성의 경우 신선한 난백과 비교할 때 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다.

Ovalbumin, Lysozyme을 비롯한 난백단백질을 분리하여 변성온도 이상에서 가열하거나 난백분말을 oven에서 건조 가열하는 경우 거품형성능력 및 안정성이 개선될 수 있음은 다수의 연구자에 의해 보고된 바 있다(Hagolle et al., 2000; Relkin et al., 1999; Mine, 1997). 이와 같은 현상은 단백질의 변성이 상대적으로 규칙적인 2, 3차 구조를 많이 함유한 단백질의 구조적 유연성을 증가시킴으로써 표면변성(surface denaturation)이 용이하도록 변화되기 때문인 것으로 이해되고 있다.

본 실험에서 가해진 가열처리는 난백단백질들의 변성온도 이하의 수준으로써, 난백단백질의 경우 변성온도 이하의 낮은 수준의 열처리가 난백의 거품형성을 개선할 가능성이 있음을 시사한다고 할 수 있으며 따라서 분무건조 시의 건조 온도가 난백분말의 기능성을 결정하는 중요한 요인이 될 수 있을 것으로 판단된다.

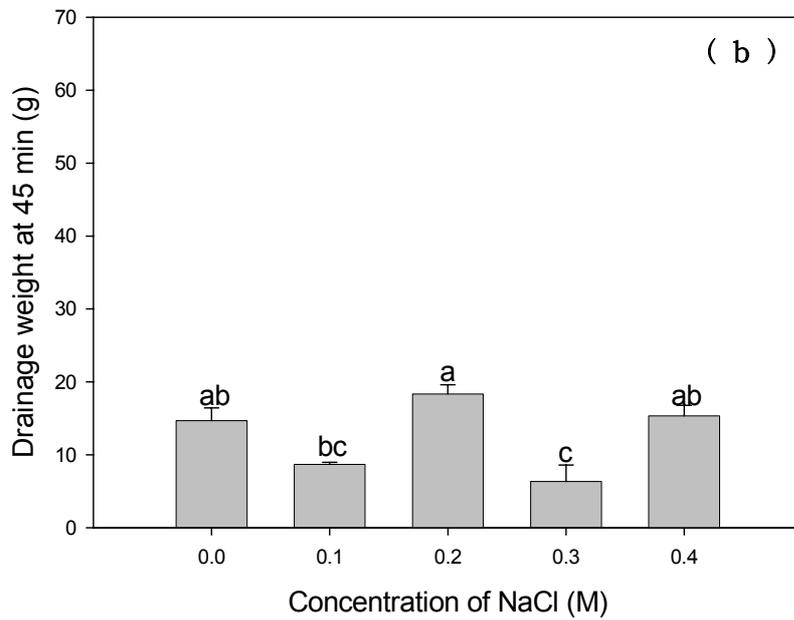
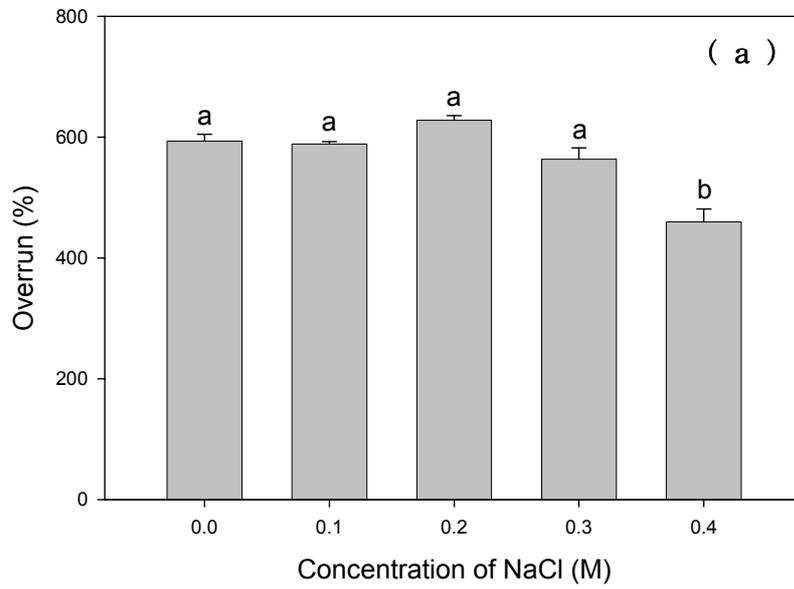


Fig. 8. Effect of NaCl addition on foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white.

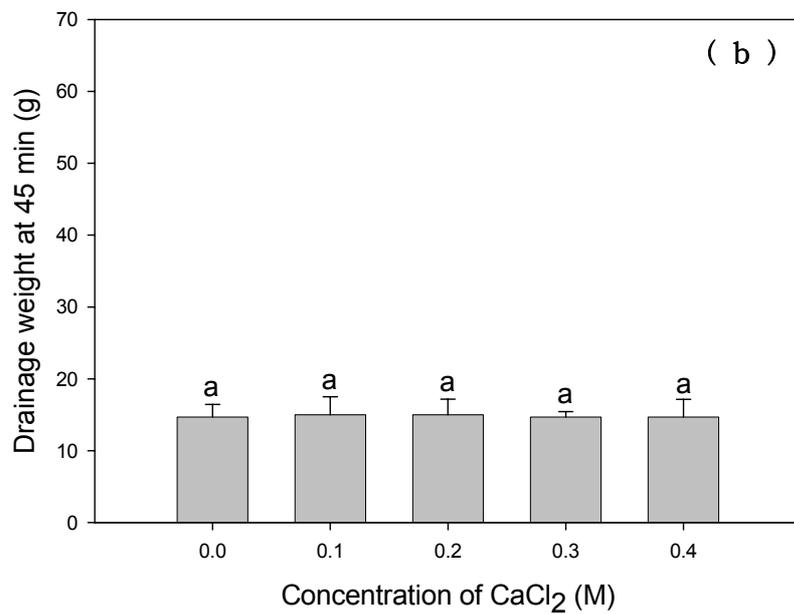
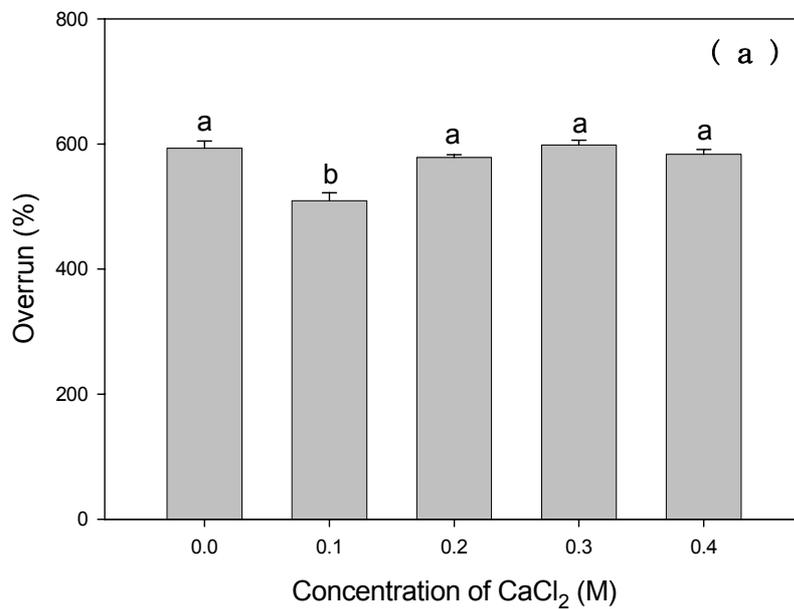


Fig. 9. Effect of CaCl<sub>2</sub> addition on foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white.

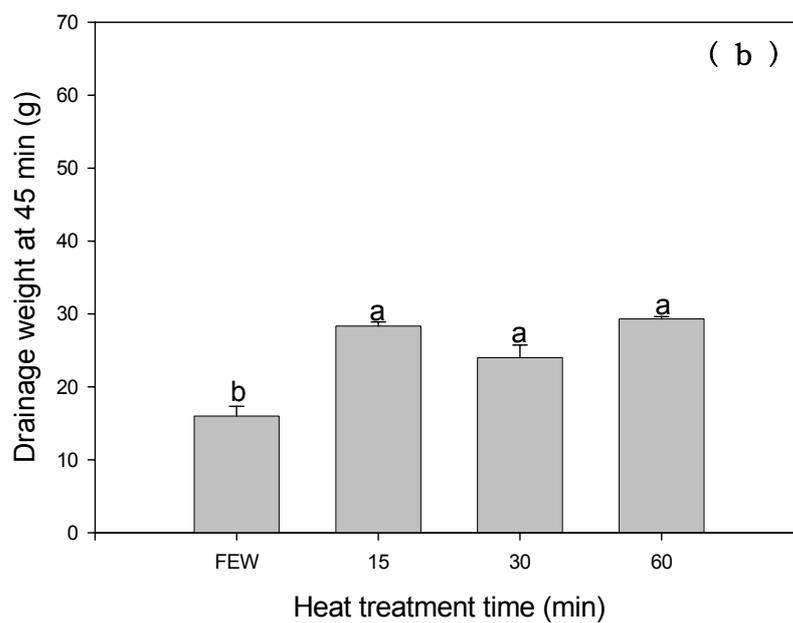
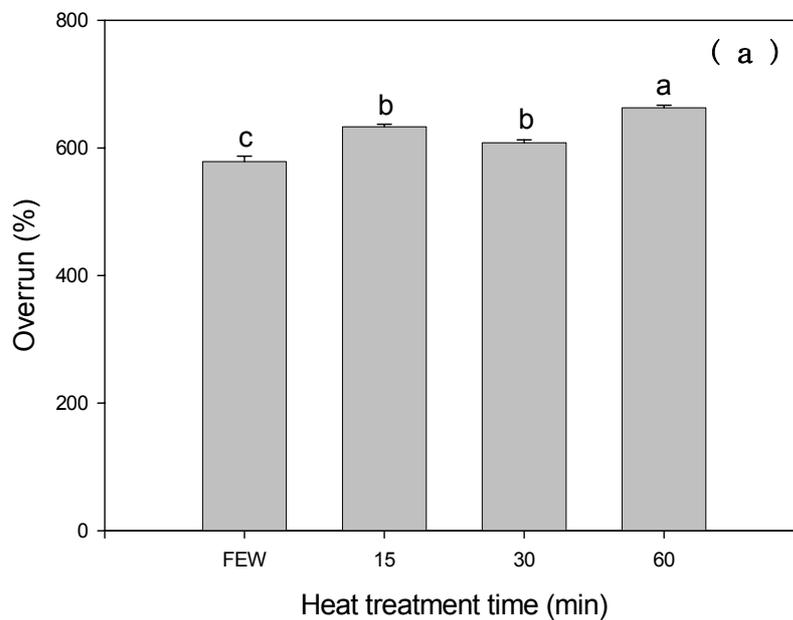


Fig. 10. Effect of heating (50°C) on foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white.

#### 4) 단백질 가수분해에 의한 변화

##### 가) 난백 가수분해를 위한 단백질 분해효소의 선별

난백 가수분해를 위한 적절한 단백질 분해효소의 선별을 위하여 동결건조 난백분말을 환원하여 제조한 기질용액에 pepsin, papain, Neutrase, Alcalase, Flavourzyme 등의 효소를 각각 넣고 연구방법에서 제시한 조건에서 가수분해를 실시하고 거품형성능력을 평가하였다. Neutrase, papain, Alcalase로 가수분해 한 난백 용액은 신선란에 비해서 거품형성능력이 현저히 감소하였으며 거품의 외관도 탄력성을 상실하였다. Pepsin의 경우 대조구인 신선한 난백에 유사한 거품형성 능력을 유지하였으며 Flavourzyme의 경우 유의적으로 거품형성능력이 개선되었다(Fig. 11(a)).

거품의 안정성은 가수분해 시 유의적으로 감소하였으며 이는 가수분해에 의하여 단백질의 분자량이 감소함에 따라 점도를 감소시키기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 11(b)). 위의 실험 결과로부터 Flavourzyme을 난백가수분해를 위한 분해효소로 선정하고 Flavourzyme의 농도와 가수분해 시간을 달리하여 신선한 난백의 가수분해를 실시하였다.

##### 나) Flavourzyme을 이용한 난백의 가수분해

신선한 난백에 Flavourzyme의 첨가농도를 달리하여 1 시간동안 가수분해한 후 거품형성능력과 안정성을 측정된 결과는 Fig. 12와 같다. 거품형성능력은 약 7%의 가수분해수준에서도 유의적으로 증가하였으나 가수분해정도의 증가에 따른 더 이상의 거품형성 능력의 개선 효과는 관찰되지 않았으며 거품의 안정성은 가수분해정도의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

Flavourzyme의 농도를 10%(기질단백질함량기준)로 고정하고 가수분해 시간을 4시간까지 연장하여 가수분해를 실시한 경우 총 단백질의 약 40%까지 분해가 가능하였으나 더 이상의 거품형성능력은 개선되지 않았으며 위의 실험결과와 동일하게 거품안정성은 가수분해정도에 반비례하였다(결과미제시).

이상의 결과로부터 적합한 단백질 분해효소를 이용하여 난백단백질의 부분적인 가수분해를 유도할 경우 거품형성능력의 개선효과를 기대할 수 있는 것으로 판단되었다. 그러나 가수분해에 의한 거품형성능력의 개선은 거품안정성의 감소를 유발할 수 있으므로 거품안정성을 유지시킬 수 있는 방법에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났다.

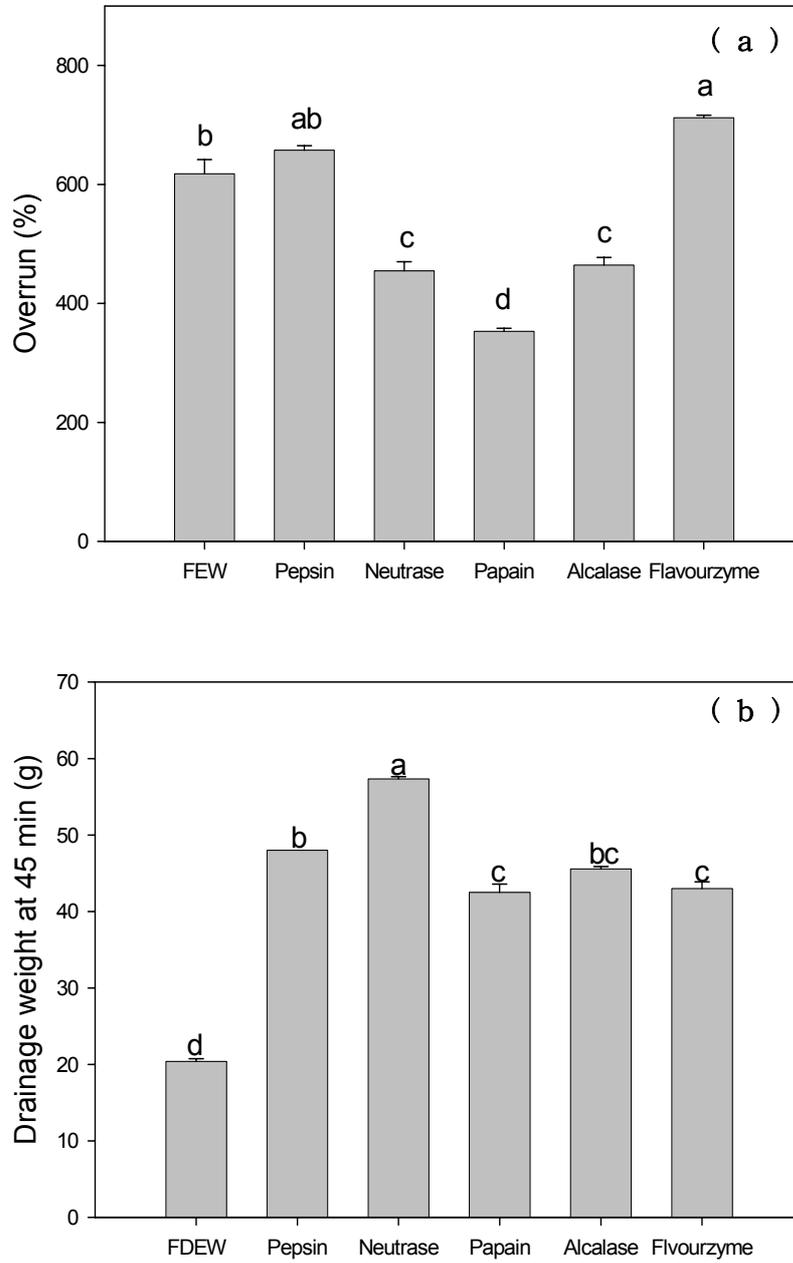


Fig. 11. Effect of hydrolysis on foam overrun (a) and drainage weight (b) of reconstituted freeze-dried egg white by various proteases.

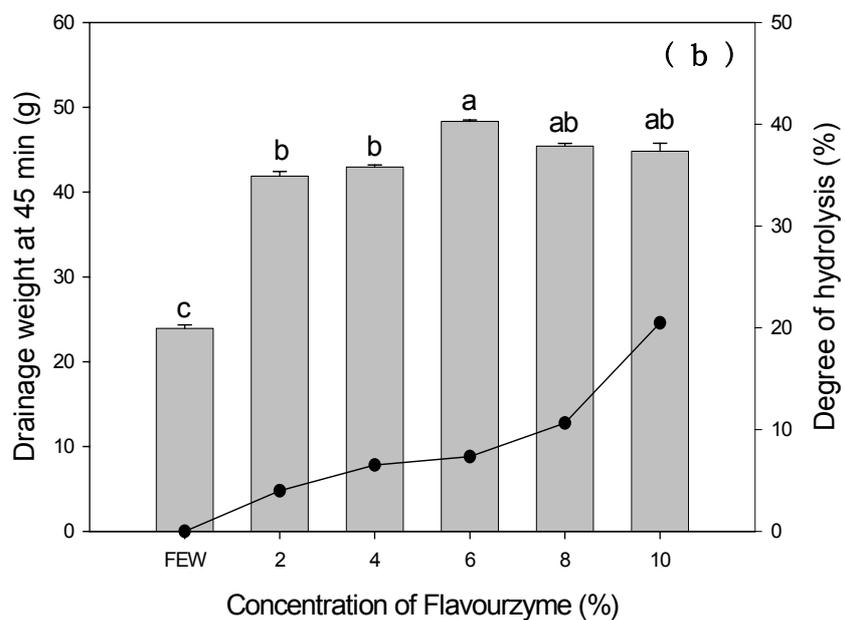
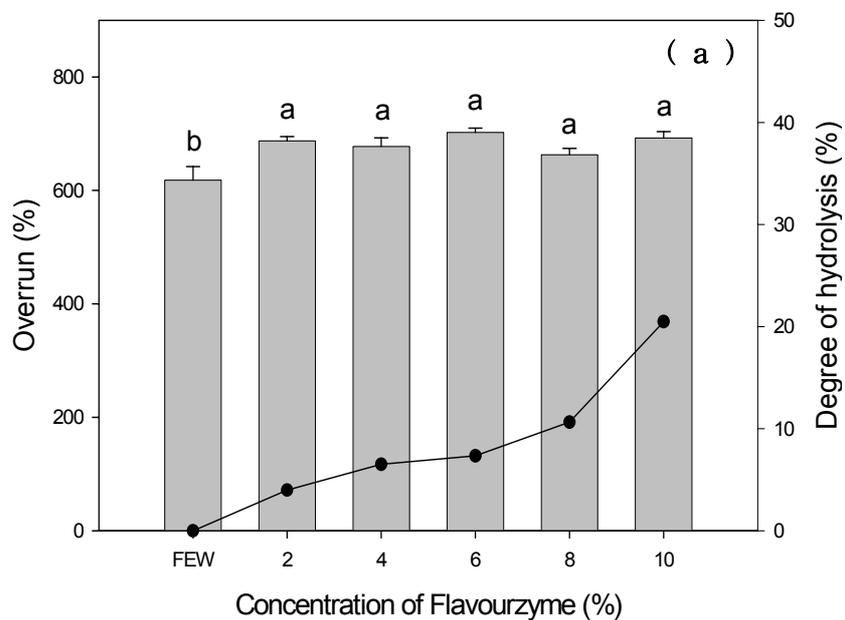


Fig. 12. Effect of hydrolysis on foam overrun (a) and drainage weight (b) of fresh egg white by Flavourzyme.

#### 다) Gum류의 첨가에 따른 거품형성능력 및 거품안정성의 변화

가수분해 시 일어나는 거품안정성의 감소를 개선하기 위해 가수분해를 실시하고 (10%, 1시간)  $\kappa$ -carrageenan, Na-alginate, xanthan 등의 검류를 첨가한 결과,  $\kappa$ -carrageenan과 Na-alginate의 첨가 시에는 거품안정성의 개선효과가 관찰되지 않았으나 xanthan 검의 첨가 시에는 유의적인 개선효과가 관찰되었다. Fig. 13에 나타난 바와 같이 첨가된 xanthan 검의 농도가 증가함에 따라 거품형성 능력은 일부 감소하는 반면 거품의 안정성은 현저하게 개선되었으며 0.05-0.1% 수준의 xanthan 검을 첨가할 경우 가수분해 된 난백의 거품형성능력은 높게 유지하며 거품안정성은 가수분해전의 신선한 난백과 유사한 수준으로 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 xanthan 검의 첨가 효과는 가수분해전과 후 차이를 나타내지 않았다.

#### 다. 건조조건의 변화에 따른 난백분말의 이화학적 특성 평가

##### 1) 거품형성능력 및 안정성 변화

난백의 거품형성능력을 개선하기 위한 분말화 공정의 1단계로서 분무건조 전 난백의 pH를 조정하여(pH 6, 6.5, 7, 8, 9) 제조된 분무건조 난백분말을 제 2 협동기관으로 공급 받아 분무건조 전 pH 조정이 난백분말의 거품형성능력 및 안정성에 미치는 영향을 평가하였다. 비교실험 시 신선한 난백 및 상업용 분무건조난백분말을 대조구로 하였으며 난백분말을 난백과 동일한 고형분 함량(11%)이 되도록 증류수에 환원시켜 거품형성능력과 안정성을 측정하였다(Fig. 14).

환원된 거품형성능력은 건조 전 pH의 조정에 따라 유의적 차이를 나타내었으며 건조 전 pH를 6.5와 7로 조정된 경우 다른 처리구과 비교하여 거품형성능력이 향상되었으며 신선한 난백보다도 우수한 거품형성능력을 나타내었다. 거품안정성의 경우 동결건조 난백이 다른 pH 조정 처리구보다 우수한 것으로 나타났으며 pH 처리구 중에서는 pH 7 조정 처리구가 유의적으로 높은 거품안정성을 보였다.

위의 연구 결과는 분무 건조 전 pH의 조정은 최종적으로 생산 된 난백분말의 거품형성 능력과 안정성에 중요한 영향을 미치는 것을 의미한다. 또한 특정 처리구의 거품 형성 능력이 대조구인 동결건조 난백보다 유의적으로 높음을 고려할 때 본 시료의 생산에 적용된 건조 온도 및 atomization 등의 생산 조건은 적합한 것으로 판단된다.

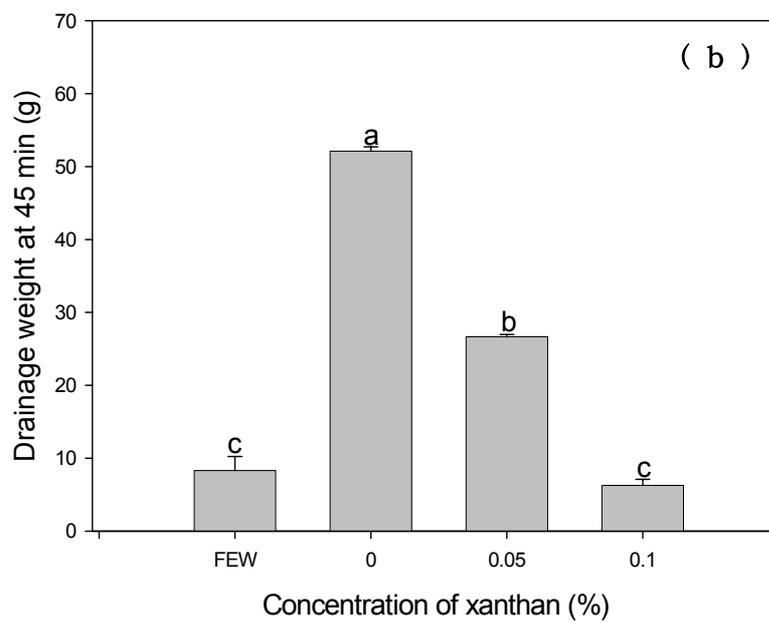
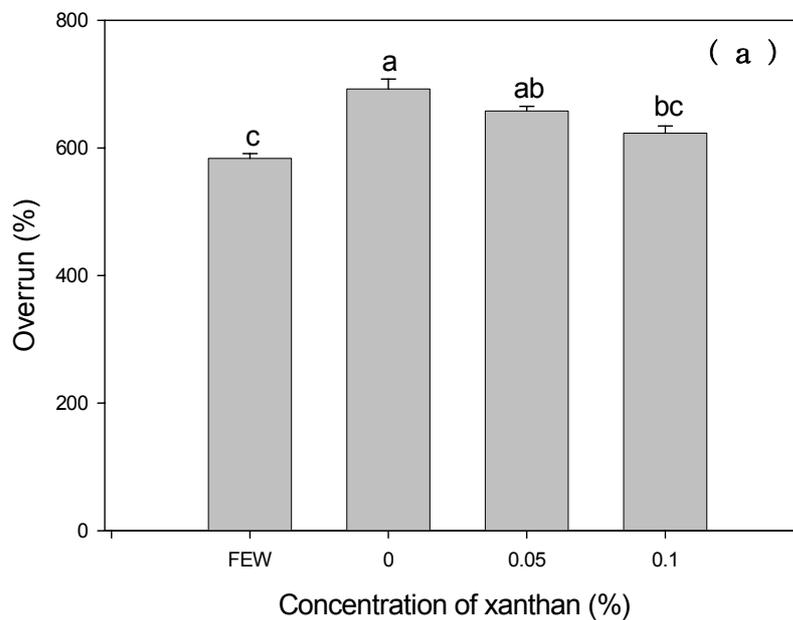


Fig. 13. Effect of xanthan addition on foam overrun (a) and drainage weight (b) of hydrolyzed egg white by Flavourzyme.

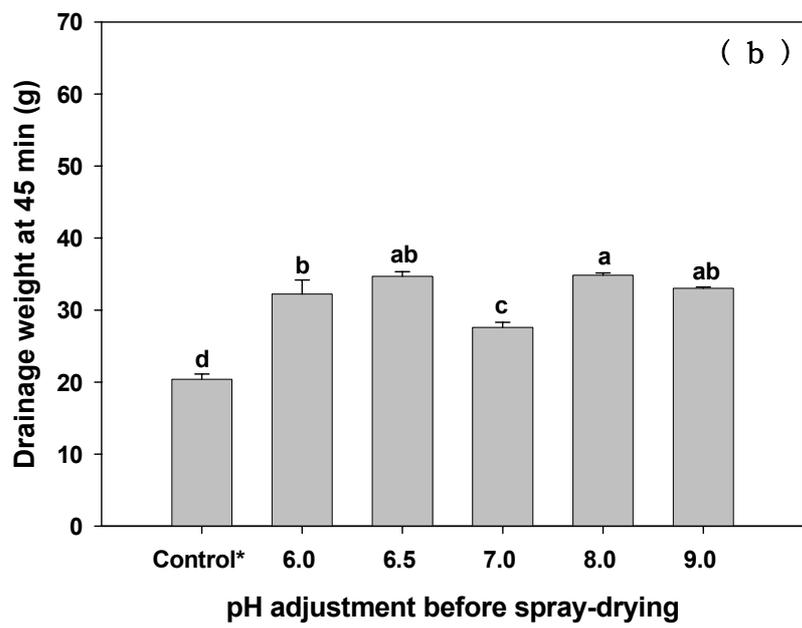
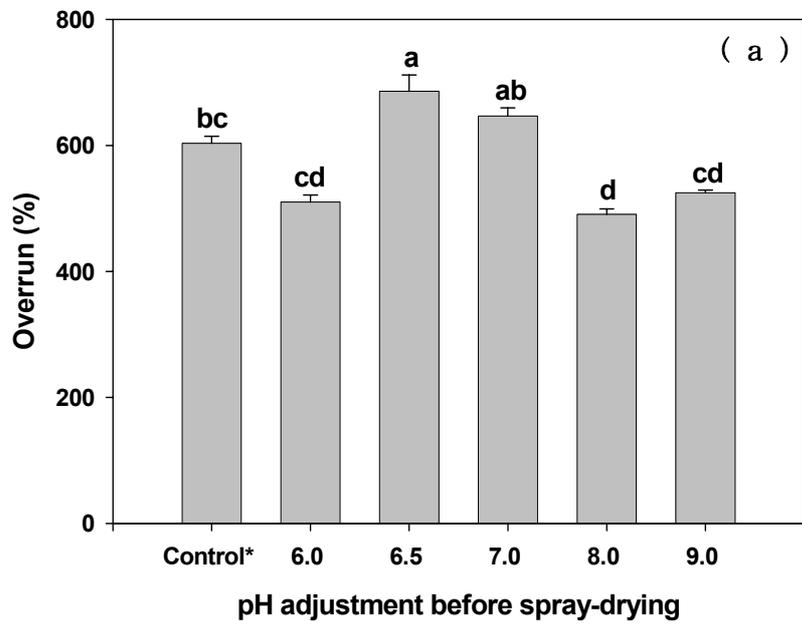


Fig. 14. Foam overrun (a) and drainage weight (b) of egg white powder produced after pH adjustment.

단백질에 의한 거품의 형성은 단백질이 공기와 물의 계면으로 흡수됨으로써 시작되며 단백질이 계면에 흡수되면 film층을 형성하는 표면 변성이 일어난다 (Foegeding et al., 2006). 이와 같은 기작에 근거할 때 거품 형성 능력은 단백질이 계면에 얼마나 쉽게 흡수되는가에 의해 크게 좌우되는 것으로 생각할 수 있으며 거품의 안정성은 계면에서 단백질의 재배열에 의하여 형성되는 protein network의 견고성 여부에 따라 차이를 나타낸다. 그러므로 Hammershøj et al. (2004)이 보고한 바와 같이 거품 형성능력과 안정성은 서로 다른 기작에 의하여 영향을 받는 것으로 판단된다.

pH 조정과 분무건조과정에서 일어나는 단백질의 거품형성능력의 차이는 다양한 단백질의 개별적 구조적 변형과 단백질간의 상호작용의 결과로 이해할 수 있다. 고도로 구조화된 구상 단백질은 일반적으로 낮은 거품형성 능력을 보임에 근거할 때(Doi and Kitabatake, 1997) 주요 단백질인 ovalbumin 역시 제한된 거품형성 능력을 가질 것으로 예측되며, pH 6.5나 7.0의 조정과 건조과정에서 일어나는 단백질의 부분적 변성(partial unfolding)은 계면층으로의 단백질의 흡수를 용이하게 할 수 있는 것으로 생각된다.

## 2) pH 조정 단백질의 표면 SH, 소수성, 용해도의 변화

앞서 설명한 바와 같이 단백질의 변성 정도의 차이가 pH 조정 단백질의 거품형성능력의 차이와 관련이 있는지를 조사하기 위하여 단백질의 변성 정도와 밀접한 상관관계를 나타내는(Handa et al., 2001) 표면 SH, 표면소수성의 변화를 측정하였다.

**Table 6**과 같이 EWP-6.5(pH를 6.5로 조정한 후 제조한 단백질)와 EWP-7.0은 다른 단백질에 비하여 유의적으로 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 알칼리 pH 영역에서 SH group이 disulfide bond로 쉽게 산화된다는 Mine (1996)의 보고와 일치하였다.

다양한 단백질 중 ovalbumin은 유일하게 4개의 free SH group을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며(Tatsumi et al., 1998) ovalbumin의 SH group은 소수성이 강한 영역에 위치하여 변성되지 않은 상태에서는 SH group과 반응하는 시약의 접근이 이루어지지 않는다고 보고되어 있다(Onda et al., 1997). 그러므로, EWP-6.5와 EWP-7.0에서 나타난 SH group의 증가는 pH 조정에 의한 ovalbumin의 부분적 변성과 관련이 있는 것으로 유추되며 표면으로 노출된 SH group의 증가는 거품형성 능력의 향상에 기여하는 것으로 판단된다.

**Table 6. Surface and total SH content of egg white powder produced after pH adjustment.**

pH adjustment	Surface SH ( $\mu\text{M SH/g}$ )	Total SH ( $\mu\text{M SH/g}$ )	Surface SH/Total SH
Control*	1.053 $\pm$ 0.036 <sup>c</sup>	55.595 $\pm$ 0.281 <sup>a</sup>	0.019 <sup>c</sup>
6.0	1.884 $\pm$ 0.118 <sup>b</sup>	52.948 $\pm$ 0.169 <sup>c</sup>	0.036 <sup>b</sup>
6.5	2.257 $\pm$ 0.129 <sup>a</sup>	52.453 $\pm$ 0.139 <sup>d</sup>	0.043 <sup>a</sup>
7.0	2.359 $\pm$ 0.150 <sup>a</sup>	54.916 $\pm$ 0.084 <sup>b</sup>	0.043 <sup>a</sup>
8.0	1.764 $\pm$ 0.026 <sup>b</sup>	50.037 $\pm$ 0.048 <sup>e</sup>	0.035 <sup>b</sup>
9.0	1.723 $\pm$ 0.118 <sup>b</sup>	47.355 $\pm$ 0.080 <sup>f</sup>	0.036 <sup>b</sup>

Control\*: freeze-dried egg white (pH 9.2). Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

표면소수성 역시 거품형성 능력과 높은 상관관계를 나타내는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 거품형성의 초기 단계가 소수성표면으로의 단백질 이동으로 시작되기 때문이다(Liang and Kristinsson, 2005).

**Fig. 15**와 같이 EWP-6.5와 EWP-7.0은 다른 처리구와 비교하여 유의적으로 높은 표면소수성을 나타내었다. 한편, pH 조정 난백분말의 용해도는 모든 처리구에서 매우 높은 것으로 나타나 난백의 제조 과정에서 일어나는 단백질의 변화는 용해도의 손실을 일으키지 않았다(**Table 7**).

## 라. 다양한 처리 조건의 조합이 기능특성에 미치는 상승효과

### 1) 난백의 pH 조정 및 분무건조온도가 난백분말의 거품형성능력에 미치는 영향

건조 중량으로 80% 이상을 차지하는 난백단백질은 난백분말의 이화학적 기능성을 좌우하는 인자로서 건조 분말의 제조 공정 중에서 일어나는 난백단백질의 열적, 물리적, 화학적 변화는 거품형성 능력 및 겔 형성능력을 결정짓는다. 난백분말을 제조하는 일반적 공정은 신선한 달걀로부터 난백과 난황을 분리하고 알끈(chalazae)과 침전물을 제거한 다음 탈당과정(desugarization)을 거친 후 분무건조를 통하여 제조된다.

연구초기의 실험 조건에서는 탈당과정을 생략하고 건조조건(pH와 건조온도)의 변화가 기능성에 미치는 효과를 조사하였는데 이는 건조조건 중 일어나는 당과 단백질의 상호작용(주로 Maillard 반응으로 야기되는)이 난백의 갈변 등 바람직하지 않는 영향을 주지 않는 범위 내에서 기능성의 향상을 유도할 수 있는지의 여부를 평가하기 위함이었으며 통계적 모형으로 최적 분무 건조 조건을 설정하고 탈당과정이 미치는 영향을 조사하였다.

앞서 서술한 바와 같이 분무건조 전 난백의 pH의 조정이 거품의 형성 능력에 현저한 영향을 미치는 것이 확인되었으므로, 건조 조건 중 건조온도의 변화가 거품형성 능력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 난백 pH의 조정 없이 분무 건조기의 송풍온도(inlet temperature)를 변화시켜 배풍온도(outlet temperature)가 일정하게 되도록 건조 온도를 조정하여 난백분말을 제조한 후 거품형성능력을 평가하였다.

**Table 8**에 제시된 바와 같이 건조 온도의 조절은 난백거품형성 능력에 유의적인 변화를 나타냈으며 특히 건조실의 온도가 60℃ 이하이거나 85℃에서는 거품 형성 능력이 현저히 감소하는 경향을 나타냈으며 거품형성능력이 좋은 경우 거품의 안정성도 양호한 것으로 나타났다.

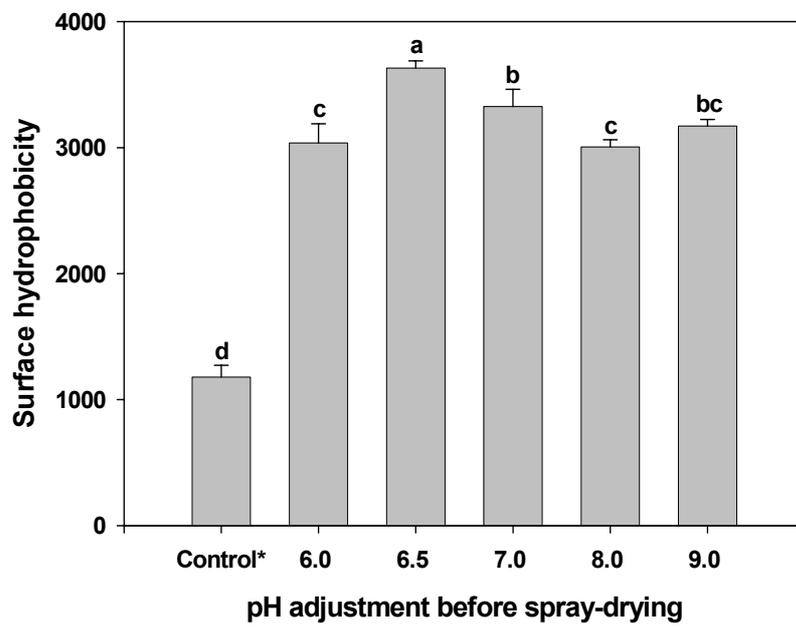


Fig. 15. Surface hydrophobicity of egg white powder produced after pH adjustment.

**Table 7. Solubility of egg white powder produced after pH adjustment.**

pH adjustment	Solubility (%)
Control*	99.47 ± 0.30 <sup>a</sup>
6.0	98.11 ± 1.39 <sup>a</sup>
6.5	99.50 ± 0.21 <sup>a</sup>
7.0	98.70 ± 1.24 <sup>a</sup>
8.0	98.79 ± 1.18 <sup>a</sup>
9.0	99.60 ± 0.42 <sup>a</sup>

Control\*: freeze-dried egg white (pH 9.2). Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 8. Effect of drying temperature on foaming properties of egg white powder.**

Drying temperature (°C)	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)
55	412.5 ± 7.3 <sup>bc</sup>	41.6 ± 0.2 <sup>a</sup>
60	476.0 ± 11.2 <sup>b</sup>	39.5 ± 0.6 <sup>ab</sup>
65	622.4 ± 8.5 <sup>a</sup>	37.3 ± 0.5 <sup>bc</sup>
70	393.0 ± 11.2 <sup>c</sup>	41.6 ± 0.7 <sup>a</sup>
75	607.7 ± 21.1 <sup>a</sup>	36.7 ± 0.3 <sup>c</sup>
80	637.0 ± 4.2 <sup>a</sup>	35.6 ± 0.4 <sup>c</sup>
85	388.1 ± 11.2 <sup>c</sup>	39.6 ± 0.4 <sup>ab</sup>

pH of egg white was not adjusted prior to spray drying.

<sup>a-c</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 9**는 최대의 거품형성능력이 관찰되었던 pH 영역인 6.5(건조온도 80℃ 고정 시)로 난백의 pH를 조정 한 후 건조온도를 변화시켜 거품형성능력을 조사한 결과이다. 건조 전 난백의 pH를 6.5로 조정 한 경우에는 75℃ 나 80℃에서 높은 거품형성능력이 관찰되었으나 65℃에서 건조 시에는 거품형성능력이 현저히 낮은 것으로 나타나 pH의 조정 및 건조온도가 모두 난백분말에 영향을 미칠 수 있는 것으로 생각된다.

## 2) 분무건조 전 난백의 가열처리(살균)가 난백분말의 거품형성능력에 미치는 영향

**Table 10**은 50℃에서 1 시간 동안 가열한 후 pH를 6.5로 조정하고 다양한 건조온도에서 제조한 난백분말의 거품형성능력을 측정한 결과이다. 이와 같은 처리는 살균효과를 부여하고 건조 전 단백질의 일부를 변성시킬 경우 일어나는 거품형성능력의 변화를 조사하기 위하여 실시하였으나 결과에 제시된 바와 같이 분무 건조 전 가열 처리는 거품형성능력의 현저한 저하를 초래하였다.

위의 결과는 동일한 조건에서 가열처리만 실시한 경우 관찰되었던 거품형성능력의 향상과는 상반되는 결과로써 가열 후 분무 건조 과정에서 일어나는 단백질의 이차적인 열의 노출이 단백질의 구조적 유연성을 증가시켜 일어났던 가열처리의 거품형성능력 개선 효과를 상쇄하기 때문인 것으로 판단된다.

Cunningham (1995)은 난백을 분무건조 전 57℃의 조건에서 살균할 경우 거품형성능력의 저하가 일어날 수 있다고 보고하여 본 실험과 동일한 경향을 보였다. 위의 연구 결과를 근거로 난백의 기능성 향상을 위한 분무건조 조건의 설정 시 가열, 살균 과정을 배제하였으며 제조된 분말의 살균효과의 부여는 건조 가열 방법을 선택하기로 결정하였다.

## 마. 난백분말의 특정용도(거품형성능력 최적화)를 위한 가공처리 조건의 설정

중심합성계획에 의하여 12군의 분말화 조건(pH 및 건조온도)을 설정하고 반응변수로서 거품형성능력, 거품안정성, 표면 SH group의 농도, 색(명도, 황색도)을 측정한 결과는 **Table 11**과 같다.

각 반응변수는 적합결여(lack of fit) 검정에서 유의성이 나타나지 않아 모델의 적정성을 확인하였으며 3차원 반응도의 분석결과 거품형성능력의 정상점(stationary point)은 안장점(saddle point)으로 판명되었다(**Fig. 16(a)**). 따라서 능선분석(ridge analysis)을 수행하여 반응변수의 값이 증가하는 방향으로 좌표를 이동시켜 반응표면을 관찰한 결과 반응표면은 + 방향으로 이동시켜야 하는 것으로 나타났다.

Table 9. Effect of drying temperature on foaming properties of pH adjusted egg white powder.

Drying temperature (°C)	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)
65	481.21 ± 15.6 <sup>b</sup>	32.46 ± 0.6 <sup>a</sup>
75	643.07 ± 5.2 <sup>a</sup>	26.39 ± 0.2 <sup>a</sup>
80	643.07 ± 5.2 <sup>a</sup>	25.81 ± 0.1 <sup>b</sup>

pH of egg white was adjusted to 6.5 prior to spray drying.

<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 10. Effect of the combination of heating and drying temperature on foaming properties of pH adjusted egg white powder.**

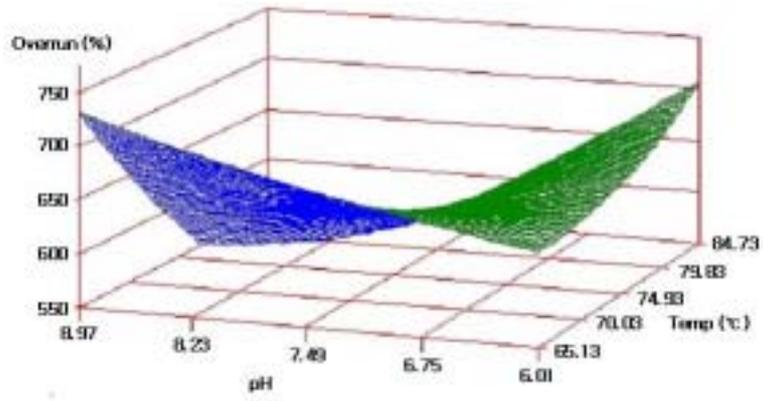
Drying temperature (°C)	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)
65	584.21 ± 5.2 <sup>a</sup>	33.91 ± 0.9 <sup>ab</sup>
75	422.35 ± 15.6 <sup>b</sup>	37.96 ± 0.9 <sup>a</sup>
80	557.24 ± 11.2 <sup>a</sup>	31.22 ± 0.4 <sup>b</sup>

pH of egg white was adjusted to 6.5 and heated at 50°C for 1 hr prior to spray drying.

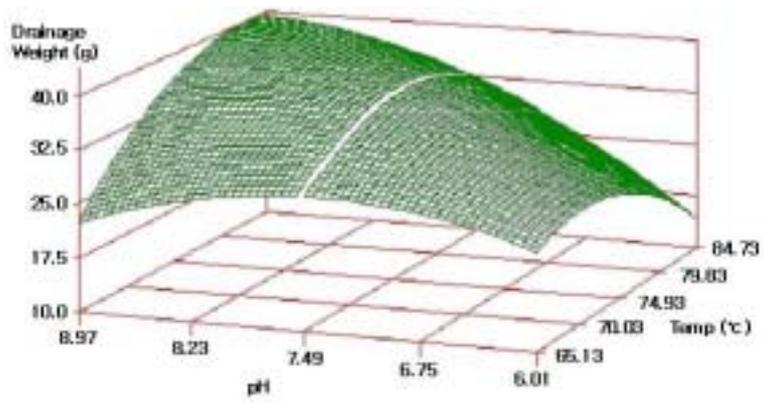
<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 11. Treatment combinations and their results.**

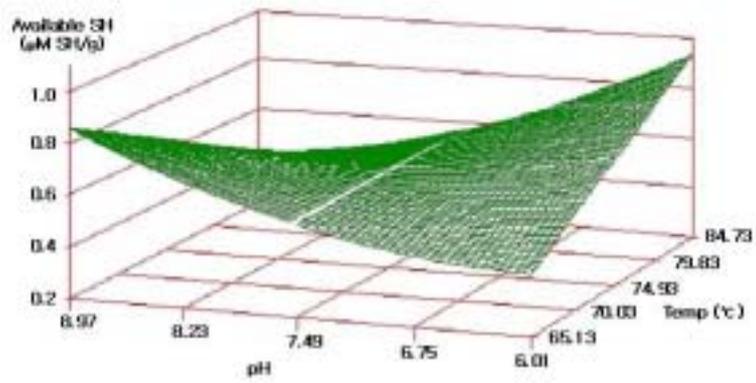
Exp. number	pH	Temp. (°C)	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)	Available SH (µM SH/g)	Hunter color value	
						L	b
1	6.44 (-1)	68 (-1)	643.0	27.3	0.0089	98.00	9.81
2	8.56 (1)	68 (-1)	636.4	29.8	0.0121	97.79	11.48
3	6.44 (-1)	82.9 (1)	644.9	20.9	0.0137	93.80	23.31
4	8.56 (1)	82 (1)	540.0	37.0	0.0087	97.41	11.94
5	9.00 (1.414)	75 (0)	585.6	37.5	0.0116	96.82	13.64
6	6.00 (-1.414)	75 (0)	623.9	26.3	0.0114	97.95	10.06
7	7.5 (0)	85 (1.414)	535.6	35.2	0.0096	97.34	12.73
8	7.5 (0)	65 (-1.414)	646.5	28.3	0.0080	97.87	10.07
9	7.5 (0)	75 (0)	598.9	33.8	0.0095	97.48	11.76
10	7.5 (0)	75 (0)	586.6	37.2	0.0149	97.68	10.34
11	7.5 (0)	75 (0)	616.1	35.7	0.0098	97.52	11.80
12	7.5 (0)	75 (0)	587.8	37.0	0.0081	97.08	10.99



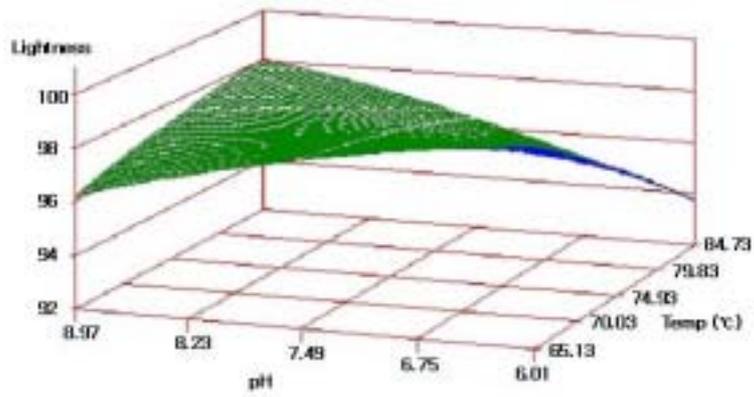
(a) Foam overrun



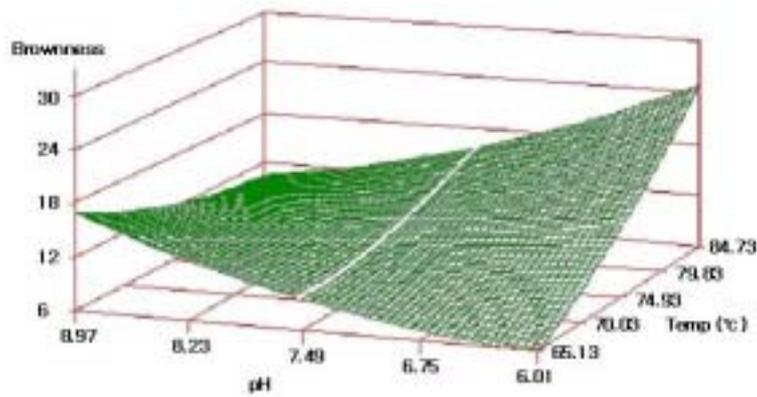
(b) Drainage



(c) Free SH content



(d) Lightness



(e) Brownness

Fig. 16. Response surface plot for pH and drying temperature on foam overrun (a), drainage weight (b), free SH content (c), lightness (d) and Brownness (e).

거품형성능력을 극대화하기 위한 최적 반응 조건으로 pH 6.225, 건조온도 68.964°C에서 638% overrun, pH 8.072, 65.85°C에서 686%의 overrun이 예측되어 최적조건의 확인 실험을 수행하였다.

Drainage weight로 측정된 거품안정성은 **Fig. 16(b)**에 나타난 바와 같이 높은 pH에서 변화의 폭이 크게 나타났으며 pH나 온도의 증가에 따라 점차 증가하다가 감소하는 반응도를 나타내었다. 표면에 노출된 SH group의 농도는 낮은 pH 영역(6-7)에서는 온도의 증가에 따라 증가시키는 경향을 나타냈으며 이는 단백질 내부에 있는 SH group이 변성에 의해 외부로 노출되기 때문인 것으로 생각된다(**Fig. 16(c)**).

난백단백질 중 free SH group을 가지고 있는 단백질은 ovalbumin 밖에 없으므로 SH group의 변화는 주로 ovalbumin의 변화를 추정할 수 있는데 난백의 거품형성능력과 관련하여 Kitabatake and Doi (1987)는 난백 ovalbumin의 whipping시 ovalbumin 분자가 계면으로 흡수되며 일어나는 분자의 재배열 과정에서 분자내부에 위치한 cystenyl 잔기가 표면으로 노출된다고 보고하였으며 표면으로 노출된 cystenyl 잔기는 산화되며 disulfide bond로 전환되어 계면에서 gel network의 형성에 기여할 수 있다고 하였다. 한편 높은 pH 영역에서 가열 시 일어나는 표면 SH group의 감소는 thiol-disulfide 교환반응에 의한 것으로 판단된다.

명도는 건조온도 및 pH 처리 조건에서 거의 변함이 없이 유지되는 것으로 나타났으며 (**Fig. 16(d)**) 황색도의 경우 낮은 pH 조건에서 건조온도가 증가함에 따라 증가하였으나 알칼리영역의 pH에서는 높은 건조온도에서도 황색도의 증가는 거의 관찰되지 않았다(**Fig. 16(e)**).

조사된 반응변수 중 거품형성능력 및 안정성에 대한 최적 조건을 제시한 결과는 **Table 12**와 같다. 앞서 언급한 바와 같이 거품형성능력(foam overrun)은 정상점이 안정점이었으므로 능선분석을 이용하여 2 개의 최적반응 예측조건을 선정하였다.

반응표면분석을 통하여 탐색된 최적 조건의 유효성 여부를 확인하기 위하여 확인 실험을 수행한 결과는 **Table 13**과 같다. pH 6.23, 건조온도 69°C의 조건에서는 확인 실험에서 나타난 foam overrun이 예측된 결과와 근사한 수준으로써 예측모형이 타당하였음이 검증되었으나 두 번째 최적반응조건인 pH 8.07, 건조온도 66°C에서 제조한 분말은 foam overrun이 예측치와 차이를 보였다. 따라서 거품형성능력의 최적화를 위한 제조조건은 난백의 pH 6.23, 건조온도는 69°C로 설정하였다.

**Table 12. Predicted drying conditions for the maximum responses of foaming properties.**

Predicted responses	pH	Temperature (°C)	R <sup>2</sup>	Maximum
Overrun (%)	6.23	69	0.76	638.69
	8.07	66		686.46
Drainage weight at 45 min (g)	6.15	79	0.89	23.06 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Maximum response for foam stability is the point which shows the lowest drainage weight since the lowest drainage means the highest stability.

**Table 13. Results of verification test for the fitted models.**

Response variable	Predicted value	Experimental value
Overrun (%)		
pH 6.23, 69°C	638.69	621.00
pH 8.07, 66°C	686.46	544.43

## 바. 건조가열에 의한 거품형성 능력의 개선효과

### 1) 건조가열조건의 설정

건조가열은 건조분말 제품의 살균효과를 부여하기 위하여 55-65℃에서 가해지는 열처리로서 초기에는 Salmonella를 포함한 미생물의 수를 효과적으로 감소시키는 목적으로 사용되었으나 Kato et al. (1989)이 건조 가열이 살균효과와 더불어 난백 단백질의 기능성이 향상될 수 있음을 보고한 이후 본격적인 효과의 검증과 산업적 응용이 실시되고 있다.

국내에서는 건조가열이 상업용 난백 분말제조에 활용되지 않고 있으며 외국에서도 난백건조가열의 효과는 대부분 겔 형성능력에 미치는 효과를 중점적으로 다루고 있어 실제적으로 거품 형성능력에 미치는 효과에 대해서는 더 많은 연구가 필요할 실정이다. 본 연구에서는 건조가열 효과를 규명하기에 앞서 일차적으로 적절한 건조가열 방법을 찾고자 아래와 같은 실험을 수행하였다.

건조가열 시 초기시료의 수분의 함량을 조절하지 않은 경우 건조 건조가열은 거품형성 능력을 오히려 감소시키는 것으로 나타났다. **Table 14**에서와 같이 70℃에서 48시간 동안 건조가열을 실시한 경우 건조가열시간이 증가함에 따라 거품형성능력이 유의적으로 감소하는 것으로 나타났으므로 더 이상으로 건조 가열 시간을 연장하지 않았다. 또한 건조 온도를 조정하여 60-90℃ 범위에서 24 시간 동안 건조가열을 실시한 경우에도 건조 온도가 증가할수록 거품 형성 능력이 저하되었다. 특히 90℃에서 건조가열을 한 시료의 경우에는 용해도의 감소가 현저하여 증류수나 완충용액에 환원시킬 수 없었으므로 거품형성 능력의 측정이 불가능하였다(**Table 15**).

위의 실험 조건에서 건조 가열 전 시료의 수분 함량은 3.68%였으며 70℃ 48시간, 80℃ 24 시간의 건조가열 후 시료 내 수분함량은 각각 2.98, 1.79%로 감소하는 것으로 나타났다. 시료의 pH도 건조가열 전 8.65에서 건조가열의 시간 또는 온도의 증가와 함께 감소하여 각각 6.99와 7.26으로 저하되었다. 건조가열은 극히 제한 된(<9%) 수분의 조건에서 가해지는 열처리로서 건조 가열 동안 일어나는 단백질의 변성 기작은 아직 명확히 구명되지 않았으나 Kato et al. (1990)은 건조 가열한 난백단백질의 평균분자량이 가열 전과 비교할 때 감소됨을 보고하였으며 이와 같은 경향은 건조가열 시간이 증가함에 따라 뚜렷이 나타난다고 하였다.

**Table 14. Effect of dry heating time on foaming properties of egg white powder.**

Dry heating condition	Overrun (%)	Drainage weight at 45min (g)
Control <sup>1)</sup>	630.8 ± 4.2 <sup>a</sup>	33.5 ± 0.7 <sup>a</sup>
Dry heating (70°C, 12 hr)	586.7 ± 4.2 <sup>ab</sup>	35.2 ± 0.8 <sup>a</sup>
Dry heating (70°C, 18 hr)	596.5 ± 17.0 <sup>ab</sup>	33.7 ± 0.3 <sup>a</sup>
Dry heating (70°C, 36 hr)	576.9 ± 11.1 <sup>b</sup>	33.9 ± 1.0 <sup>a</sup>
Dry heating (70°C, 48 hr)	547.4 ± 10.4 <sup>b</sup>	35.1 ± 0.8 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Egg white produced at pH 6.5 and drying chamber temperature of 80°C was used as an non-dry heated control.

Dry heating was conducted without adjustment of moisture content (The initial moisture content of control was 3.86%).

<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 15. Effect of dry heating temperature on foaming properties of egg white powder.**

Dry heating condition	Overrun (%)	Drainage weight at 45min (g)
Control <sup>1)</sup>	630.8 ± 4.2 <sup>a</sup>	33.5 ± 0.7 <sup>a</sup>
Dry heating (70°C, 24 hr)	616.1 ± 4.2 <sup>a</sup>	30.1 ± 0.6 <sup>b</sup>
Dry heating (80°C, 24 hr)	567.1 ± 4.2 <sup>b</sup>	29.0 ± 0.7 <sup>b</sup>
Dry heating (90°C, 24 hr)	-	-

<sup>1)</sup>Egg white produced at pH 6.5 and drying chamber temperature of 80°C was used as an non-dry heated control. Dry heating was conducted without adjustment of moisture content (The initial moisture content of control was 3.86%).

<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

또한 Mine (1996)은 건조가열 시의 분자구조의 풀림(molecular unfolding)은 pH, 온도, 건조가열 시의 수분함량에 따라 영향을 받을 수 있다고 하였다.

## 2) 건조가열에 의한 난백분말의 거품형성능력 향상

수분 함량의 조절이 건조 가열에 미치는 효과를 조사하기 위하여 초기 난백분말에 분무 형태로 수분을 가하여 충분히 혼합하여 초기 난백분말의 수분 함량을 9.2%로 조절하고 plastic zipper bag에 넣어 밀봉한 후 건조가열을 실시하였다. 건조가열의 효과를 보다 명확하게 조사하기 위하여 대조구로서는 비교적 낮은 거품형성능력을 나타내었던 상업용 난백분말을 이용하였으며 건조 온도도 75℃로 조정하여 14일간 건조가열을 실시하며 거품형성능력, 거품안정성, 용해도의 변화를 조사하였다.

거품형성능력은 Fig. 17(a)에 나타난 바와 같이 건조가열 1일이 경과한 후부터 유의적으로 증가하기 시작하여 건조가열 10일 후에는 가열 전 450%의 foam overrun이 520%로 증가하여 최대치를 나타내었고 14일이 경과한 후에는 약간 감소하는 경향을 보였다. 그러나 거품안정성의 경우에는 건조가열의 전 기간에 걸쳐 변화를 나타내지 않았다(Fig. 17(b)).

Fig. 18은 건조가열이 용해도에 미치는 효과를 조사한 결과이다. 용해도의 변화는 거품형성능력의 변화 양식과 매우 유사하여 3-10일 간의 건조가열처리 시 용해도의 유의적 향상이 나타났으며 14일 간의 건조가열 처리는 용해도의 감소가 관찰되었다. Kato et al.(1989)은 7.5%의 초기 수분함량을 가진 난백을 80℃에서 7일간 건조 가열한 경우 소수성 결합과 disulfide 결합에 의하여 단백질의 응집체가 형성되고 건조 가열 시간이 증가함에 따라 표면소수성이 증가하였으나 용해도에는 유의적인 변화가 나타나지 않았다고 보고하여 본 연구 결과와 차이를 보였으나 건조가열 전 난백분말의 상태에 따라 건조 가열 효과는 차이를 보일 수 있는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 적절한 정도의 건조가열은 난백단백질의 과량의 수분 조건에서와는 달리 단백질의 unfolding은 억제되는 반면 molten globule 상태의 intermediate conformation이 형성되는 것으로 이해할 수 있다.

실제적으로 Hagolle et al.(1998)은 ovalbumin이 열안정성이 다른 세 종류의 분자구조 (ovalbumin, intermediate form, S-ovalbumin)를 가지고 있음을 제시하여 molten globule을 형성함을 증명하였으며 pH 와 온도의 가열처리조건의 변화에 따라

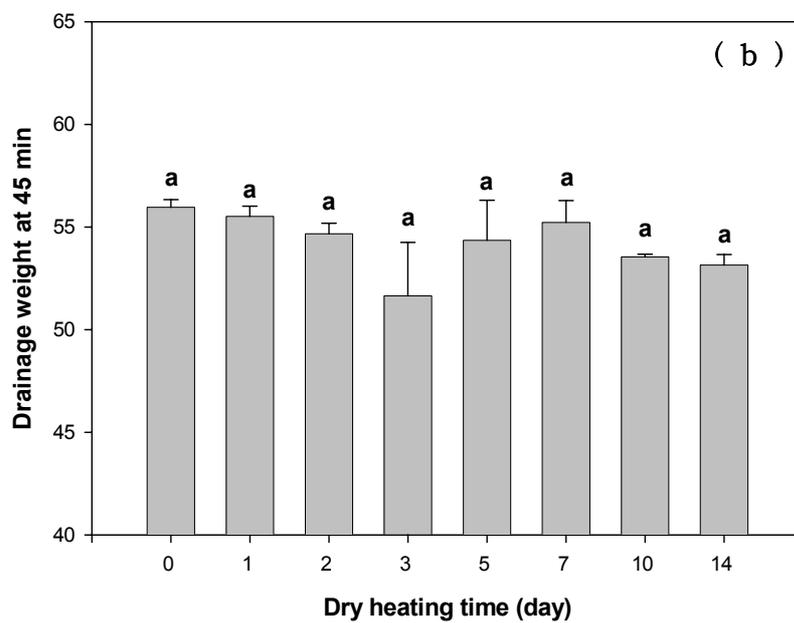
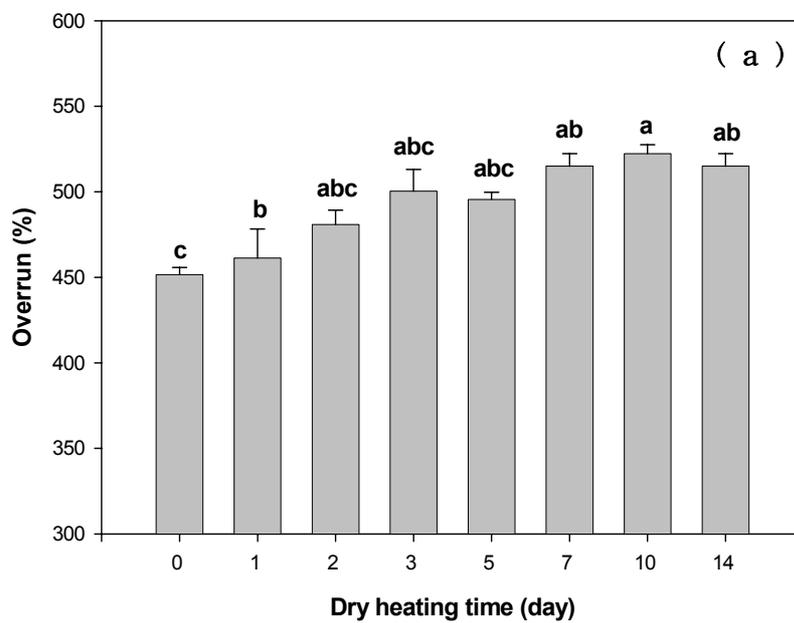


Fig. 17. Effect of dry heating on foam overrun (a) and drainage weight (b) of egg white powder.

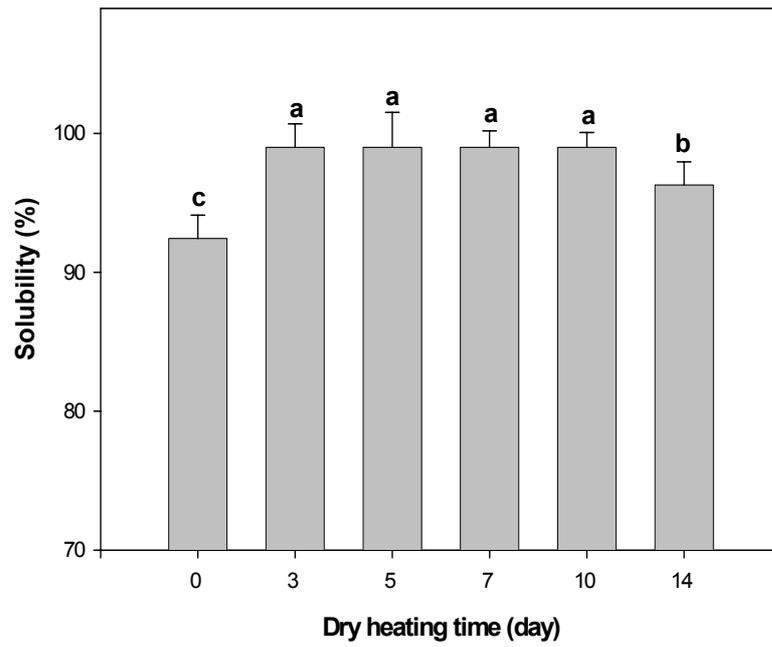


Fig. 18. Effect of dry heating on solubility of egg white powder.

다양한 분자적 형태가 생성될 수 있다고 하였다. 그 예로써 pH 3에서는 가열에 의한  $\beta$ -sheet 구조와 공유결합과는 다른 양식의 분자간 결합이 생성된 반면 pH 7에서는  $\beta$ -sheet 구조의 생성은 뚜렷이 관찰되지 않았으며 나선구조의 감소가 나타났다. 또한 변성된 ovalbumin의 초기 분자구조에 따라 air/water interface에 흡수되는 속도와 형성된 거품의 안정성에 차이를 보일 수 있음을 보고하여(Relkin et al., 1999) 다양한 pH와 온도의 조합에서 생성되는 난백단백질의 분자적 구조는 거품형성능력과 안정성에 차이를 나타내는 원인이 되는 것으로 판단된다.

최근의 연구 결과에 따르면 난백단백질의 거품 형성 시 일어나는 단백질의 표면 변성(surface denaturation)은 한 종류의 단백질이 존재하는 경우와 ovalbumin, ovotransferrin(conalbumin), lysozyme 등의 단백질이 함께 존재하는 경우 유의적인 차이를 보였다(Lechevalier et al., 2005). 그러므로 한 종류의 단백질의 구조 변화만으로는 난백단백질의 거품 형성 능력의 변화를 효과적으로 설명할 수 없는 것으로 생각된다.

앞서 제시한 건조 가열 시 거품형성 능력의 개선 효과는 탈당 처리 된 상업용 난백분말을 이용한 것이므로 탈당과정의 유무가 건조 가열 시 미치는 영향을 조사하기 위하여 pH 조정 없이 탈당 과정 후 제조 된 난백분말의 건조가열 효과를 측정하였다. 탈당과정 후 제조 된 난백분말은 건조가열 후에도 색도의 유의적 변화가 나타나지 않았으나 탈당과정이 없는 경우에는 색도의 유의적인 차이가 관찰되었으며 거품형성 능력은 감소하는 것으로 나타났다(Table 16).

달걀에 약 4% 정도 존재하는 glucose는 분무건조 또는 저장과정에서 화학적 변화를 일으킬 수 있다. 본 연구에 따르면 당의 존재여부는 최종적으로 생산 된 제품의 색도에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 건조가열 시 바람직하지 않은 색의 변화를 일으키며 단백질의 불용화를 일으킬 수 있으므로 탈당과정이 필요할 것으로 판단된다. 한편, Campbell (2002)은 난백의 분무건조 전 적절한 염과 glucose를 첨가할 경우 Maillard 반응에 의한 색의 변화를 억제함으로써 상온에서 1년 동안 색의 변화가 나타나지 않았다고 보고하였으며 이와 같은 결과는 건조 전 첨가 된 당이나 염이 난백분말에 존재하는 수분과 결합하여 수분활성도를 저하시킴으로써 가능하다고 설명하였다. 그러나 유사한 접근 방법을 위해서는 당이나 염의 첨가가 관능적, 이화학적 특성의 변화를 수반하는지의 여부에 관한 조사가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

**Table 16. Effect of desugarization and dry heating on foaming properties and color attributes of egg white powder.**

Treatments	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)	Hunter color		
			L	a	b
<sup>1</sup> )Control	518.0 ± 10.4 <sup>a</sup>	37.6 ± 0.4 <sup>b</sup>	97.5 <sup>a</sup>	-2.7 <sup>b</sup>	11.8 <sup>b</sup>
<sup>2</sup> )Control + desugarization	478.8 ± 4.2 <sup>b</sup>	41.6 ± 1.1 <sup>ab</sup>	96.9 <sup>a</sup>	-2.2 <sup>b</sup>	10.5 <sup>b</sup>
<sup>1</sup> ) + dry heating	-	-	87.6 <sup>b</sup>	1.9 <sup>a</sup>	26.1 <sup>a</sup>
<sup>2</sup> ) + dry heating	434.6 ± 4.2 <sup>c</sup>	45.1 ± 1.7 <sup>a</sup>	96.4 <sup>a</sup>	-2.5 <sup>b</sup>	11.1 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>)Egg white powder produced without pH adjustment at 82°C. Initial moisture content was adjusted to 9.2% prior to dry heating.

Dry heating was conducted at 75°C for 7 days.

<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

#### 사. 분말시제품 생산을 통한 생산 조건의 조정

난백 분말의 생산 조건 중 탈당과정을 생략한 경우 거품형성 능력에는 부정적 영향을 미치지 않았으나 건조가열 처리 시 갈색의 형성 및 용해도의 현격한 저하가 발견되었다. 건조 가열 처리는 거품형성능력을 비롯한 이화학적 기능성의 개선 효과를 기대할 수 있으며 더욱이 난백의 살균 처리 공정의 대체 효과가 있으므로 탈당 공정은 건조난백 분말의 생산에 필수적인 것으로 판단된다.

따라서 탈당 공정의 실시 후 난백의 거품형성 능력의 극대화를 위하여 앞서 제시한 반응표면분석법에 의거하여 실험을 반복하여 실시하였다(**Table 17**). 결과의 통계적 분석 결과 얻어진 최적 반응 조건은 pH 6.34, 건조 온도 72.5°C로 예측되었으며 이는 탈당 전 최적 조건인 pH 6.23, 건조온도 69°C와 유사하였으며  $R^2$  값도 0.97로 매우 높게 나타났다(**Table 18**).

한편, foam overrun의 최대 예측치는 536%로서 탈당 과정을 거치지 않고 제조된 난백분말보다 현저히 낮은 것으로 측정되었으나, 신선한 난백의 foam overrun이 580-600% 정도이고 난백분말의 overrun은 건조가열에 의하여 유의적으로 개선될 수 있음을 고려할 때 만족할만한 수준인 것으로 판단된다. 그리고 통계적 반응 예측치의 검증실험결과 얻어진 foam overrun은 528%로서 예측치와 매우 근접하였다.

탈당 후 제조된 난백분말의 건조 가열 조건은 앞서 조사된 조건과 차이를 나타낼 수 있으므로 앞서 수행한 실험결과를 근거로 시료의 초기 수분함량을 9%가 되도록 조정된 후 75°C에서 24 시간 간격으로 5일간 건조가열을 실시하며 foam overrun과 안정성의 변화를 조사하였다.

최적 조건에서 제조된 시료를 건조가열한 경우 **Table 19**에 제시한 바와 같이 3일 이후부터 overrun의 유의적 변화가 관찰된 반면 거품의 안정성은 건조가열의 유무와 관계없이 유의적인 변화를 보이지 않았다. 위의 결과에 의거하여 최종적인 건조가열 조건은 75°C, 5일로 선정하였다.

#### 아. 분말 시제품의 저장 중 거품형성능력의 변화

최적화된 생산공정으로 시제품을 제조하고 다양한 온도와 저장기간 동안 일정간격으로 시료를 취하여 거품 형성능력 및 안정성을 측정한 결과는 **Table 20**과 같다.

**Table 17. Treatment combinations of egg white pH and drying temperature for the prediction of maximum foam overrun response.**

Exp. number	pH	Temp	Overrun (%)	Drainage weight at 45 min (g)
1	-1 (6.44)	-1 (68)	552	40
2	1 (8.56)	-1(68)	489	40
3	-1 (6.44)	1 (82)	479	40
4	1 (8.56)	1 (82)	400	44
5	0 (7.5)	0 (75)	469	41
6	0 (7.5)	0 (75)	435	44
7	1.414 (9)	0 (75)	459	41
8	-1.414 (6)	0 (75)	449	38
9	0 (7.5)	1.414 (85)	444	44
10	0 (7.5)	-1.414 (65)	449	46
11	0 (7.5)	0 (75)	449	44
12	0 (7.5)	0 (75)	449	42

**Table 18. Results of verification test for the fitted models.**

Response variables	pH	Temp. (°C)	R <sup>2</sup>	Predicted value (maximum)	Experimental value
Overrun (%)	6.34	72.5	0.97	535.6	527.8

**Table 19. Effect of dry heating time on foam overrun and drainage weight of egg white powder produced by optimized condition.**

Dry heating time (day)	Overrun (%)	Drainage weight at 45min (g)
0	459.1 ± 14.7 <sup>b</sup>	46.3 ± 2.7
1	469.0 ± 8.5 <sup>b</sup>	46.7 ± 4.0
2	493.5 ± 8.5 <sup>ab</sup>	46.8 ± 0.9
3	513.1 ± 17.0 <sup>a</sup>	47.8 ± 0.2
4	518.0 ± 14.7 <sup>a</sup>	47.5 ± 1.8
5	515.5 ± 15.3 <sup>a</sup>	47.3 ± 0.8

Egg white powder produced after pH adjustment to 6.34 at drying temperature of 82°C. Initial moisture content was adjusted to 9% prior to dry heating.

<sup>a,b</sup>: Means in a column followed by different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 20. Changes in foam overrun and drainage weight of egg white powder during storage.**

Storage period (day)	Overrun (%)				Drainage weight at 45 min (g)			
	Storage temperature (°C)				Storage temperature (°C)			
	0	20	30	40	0	20	30	40
0	516 ± 15	516 ± 15	516 ± 15	516 ± 15	47 ± 1	47 ± 1	47 ± 1	47 ± 1
7	513 ± 22	518 ± 0	508 ± 8	503 ± 15	48 ± 3	46 ± 2	47 ± 1	46 ± 2
14	552 ± 31	543 ± 31	538 ± 52	518 ± 15	45 ± 1	47 ± 3	47 ± 3	48 ± 1
21	518 ± 15	518 ± 15	523 ± 8	523 ± 22	47 ± 1	46 ± 3	47 ± 1	46 ± 4
28	503 ± 15	543 ± 34	533 ± 15	508 ± 8	48 ± 2	45 ± 3	43 ± 1	47 ± 2

난백분말의 거품형성 능력과 안정성은 측정된 저장조건에서 모두 유의적 변화를 보이지 않았다. 따라서 시료의 건조가열 공정에서 향상된 거품형성 능력은 저장기간 중 변화하지 않을 것으로 예측되며 상온에서 저장하거나, 여름철에 발생할 수 있는 저장온도의 상승에도 난백 분말의 거품형성능력은 변화를 보이지 않을 것으로 판단된다.

#### 자. 난황의 유화능력 및 안정성 평가 방법의 표준화

난황의 유화능력의 개선 방안을 마련하기 위해서는 난황의 유화능력을 정확하게 평가할 수 있는 표준화 된 측정방법이 필요하다. 유화능력을 평가를 위하여 보편적으로 사용되고 있는 방법은 크게 emulsifying capacity(EC), emulsifying activity index(EAI), emulsifying activity(EA) 등이 있으나 서로 다른 원리를 이용하여 유화능력을 표현하기 때문에 시료의 고유한 유화 능력을 적절하게 대표하는지의 여부는 명확치 않으며 각 측정방법간의 상관관계도 연구된 바 없다. 더욱이 동일한 측정방법을 사용하는 경우에도 시료의 단백질(고형분)함량, 단백질과 유지의 비율(oil volume fraction), 유화물의 제조방법 등에 따라 시료 간 유화능력의 차이를 식별할 수 있는 민감성에 차이를 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 측정이 용이하며 난황의 유화 능력을 적절히 대표할 수 있는 세부적 평가방법을 선정하고자 실시하였다.

앞서 언급한 세 가지 방법 중 EC는 특정 조건에서 유화시킬 수 있는 최대의 oil 양으로 표현 되기 때문에 시료가 가지고 있는 고유한 유화능력이라고 간주하기는 어려우며 유화물의 형성방법에 매우 의존적이라고 할 수 있다. 특히 유화가 파괴되는 시점이 아닌 안정한 유화물을 만들기 위하여 필요한 시료의 양에 대한 정보를 얻기 위하여 EC로 표현 된 유화능력이 상관관계를 보일 수 있는 지는 명확치 않으므로 EC는 난황분말의 평가 방법에서 제외하였으며 단백질(고형분)함량, 단백질과 기름의 비율 등을 변화시키면서 EAI와 EA를 측정하고 적합한 유화능력의 측정 조건을 구하기로 하였다.

난황분말의 고형분 함량과 고형분 :기름의 비율(v/v, oil fraction)을 변화시키면서 각 조건에서의 유화능력을 Cameron et al. (1991)의 Corrected EAI 값으로 구한 결과 **Fig.19**와 같이 난황분말의 유화능력은 단백질의 농도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

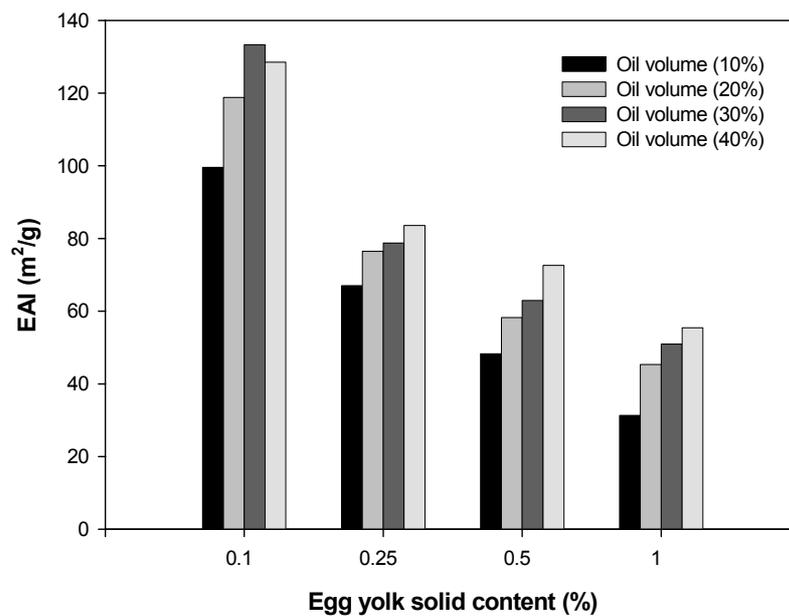


Fig. 19. Changes of emulsifying activity index of egg yolk as a function of solid content and oil volume fraction.

이 같은 결과는 EAI 값이 특정 조건에서 유화물 계면의 면적과 turbidity 비례관계를 이용하여 단위단백질당(g) 흡광도의 증가비율을 구하여 산출하게 되므로 실제 유화에 참여하는 단백질의 양이 흡광도의 증가비율에 비하여 적어질 경우 EAI 값이 감소하는 결과를 나타내는데 기인한 것으로 생각된다. 동일한 고형분 함량에서는 고형분 농도가 매우 낮은 0.1%를 제외하고는 oil volume fraction이 증가함에 따라 EAI 값은 증가하여 Pearce and Kinsella (1978)의 보고와 일치하였다.

위의 실험조건에서 유화에 참여하는 단백질의 양을 조사한 결과, 흡수된 단백질의 양은 일정하거나 고형분의 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다 (Fig. 20). 이 결과는 난황으로 유화물을 제조할 경우 계면에 흡수된 단백질의 양은 oil volume과 고형분의 농도와 관계없이 일정하게 유지되었다는 Mine (1998)의 보고와 유사한 결과로써 난황단백질 중에는 계면에 흡수되기가 어려운 단백질이 존재한다고 생각할 수 있다.

이 같은 EAI 값은 적절한 유화물의 형성 조건에서는 실제적으로 유화물 계면적의 증가를 의미하는 흡광도의 변화로 표현이 가능하다. EAI를 측정된 조건에서 흡광도의 변화는 Fig. 21에 나타낸 바와 같다. 이상의 결과들을 종합적으로 고찰하여 볼 때 고형분의 농도가 0.5% 이상에서는 oil volume의 증가에 따라 흡광도가 증가하여 EAI 값과 유사한 패턴을 나타내며 단백질의 흡수실험에서는 oil volume이 30% 이상일 경우에는 유화물에서 유리된 잔여 oil이 관찰되었으므로 난황분말의 유화능력은 0.5% 고형분 함량과 20% oil volume에서의 흡광도로 표현이 가능할 것으로 판단된다.

위의 조건을 이용하여 신선한 난황과 동일한 고형분 함량을 가지도록 동결건조 난황분말, 분무건조 난황분말을 용해시킨 후 유화능력을 평가한 결과는 Fig. 22와 같다. 유화능력은 신선, 동결건조, 분무건조 난황의 순으로 차이를 보이는 것으로 나타났으며 분무건조에 의해 난황의 유화능력이 감소한다는 보고(Mine, 1998)를 고려할 때 표준화된 방법은 서로 다른 처리에 의해 제조된 난황의 유화능력을 구별할 수 있는 것으로 생각된다.

난황의 유화능력 평가방법의 표준화를 위한 두 번째 방법으로 Neto et al. (2001)이 제시한 EA를 검토하였다. 이 방법은 유화물을 형성한 후 원심분리를 하여 유화된 크림층의 높이를 측정하는 것으로 매우 간편하게 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으나 Fig. 23과 같이 시료의 고형분 함량 및 oil volume의 변화에 따른 유화능력의

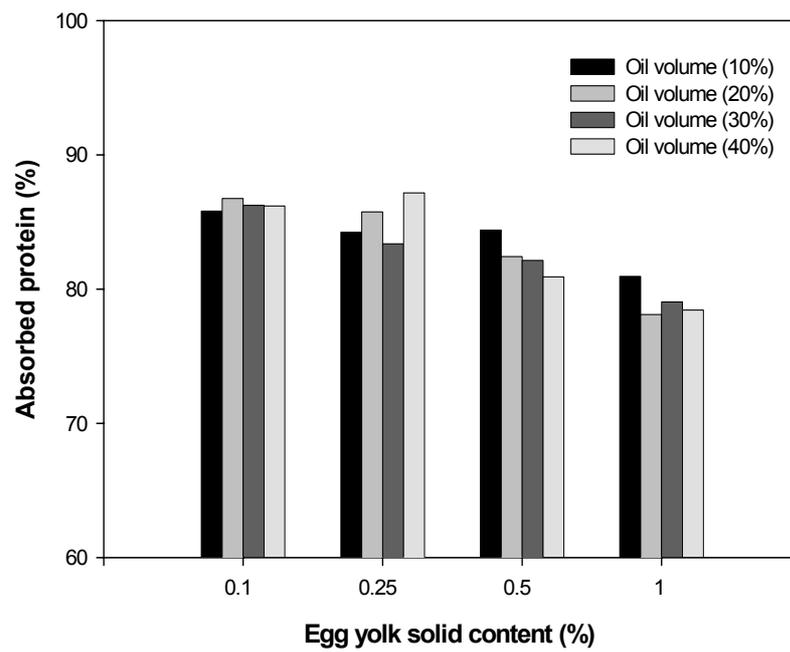


Fig. 20. Total protein adsorption ratio of egg yolk protein emulsion as a function of solid content and oil volume fraction.

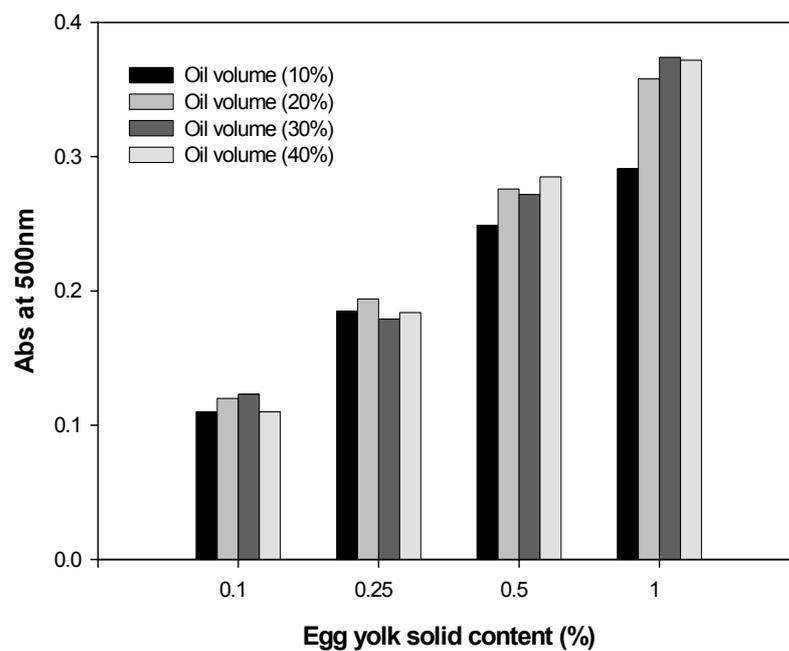


Fig. 21. Change of absorbance of egg yolk emulsion as a function of solid content and oil volume fraction.

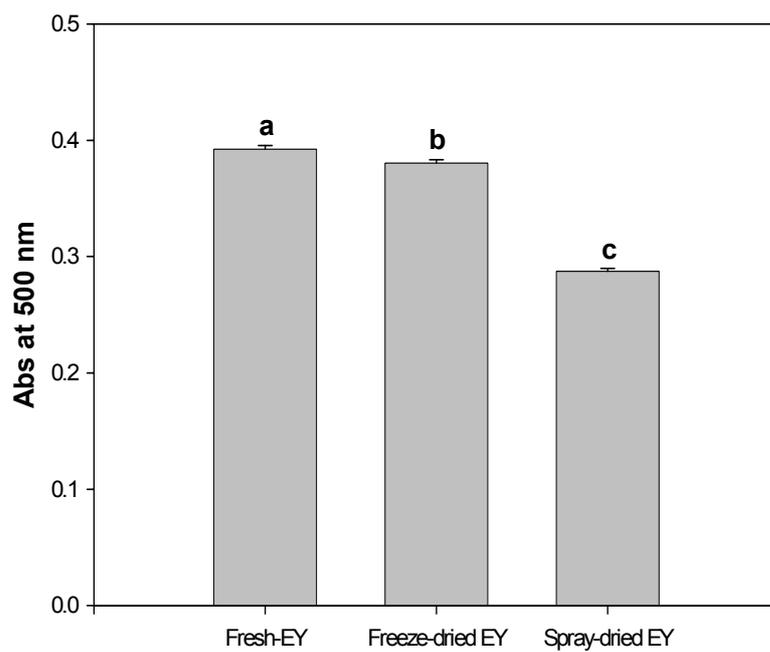


Fig. 22. Emulsifying activity index of fresh, freeze-dried and spray dried egg yolk.

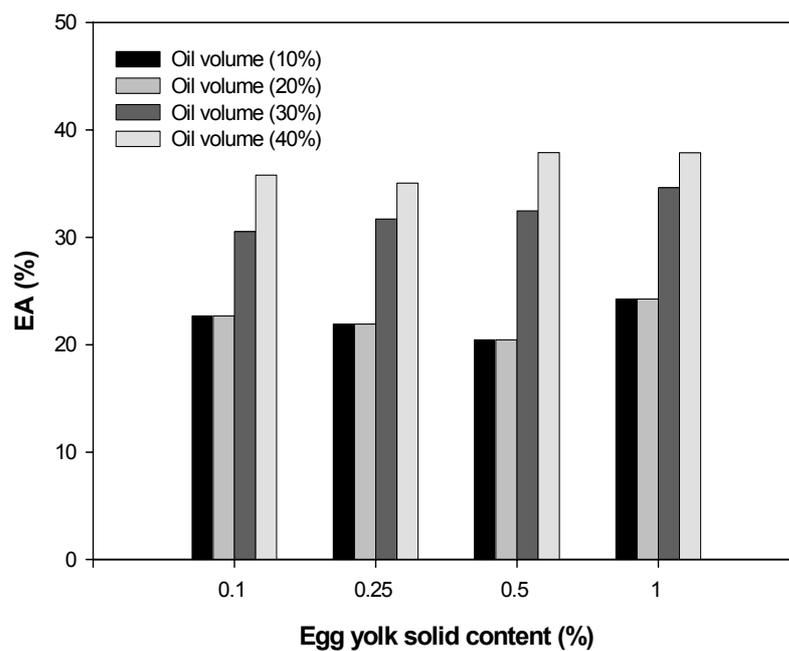


Fig. 23. Changes in emulsifying activity of egg yolk as a function of solid content and oil volume fraction.

차이를 구분하기가 어려운 것으로 나타났으며 높이의 정확한 측정이 어려운 단점이 있으므로 유화능력을 측정하기 위한 표준방법으로 적용하기가 어려운 것으로 생각된다.

표준화된 EAI 방법을 이용하여 유화안정성을 측정한 결과는 **Fig. 24**와 같다. 유화안정성은 유화물의 제조 후 시간의 경과에 따른 흡광도의 감소를 관찰함으로써 표현이 가능하며 구체적인 방법으로는 일정시간 동안 흡광도의 감소속도를 표현하거나 초기 흡광도가 반으로 감소하는데 소요되는 시간으로 표현할 수 있다. 본 실험에서 사용한 난황의 경우에는 4 시간이 지난 후에도 초기 흡광도는 반으로 감소하지 않는 것으로 나타나 실험 시간이 지나치게 많이 소요되는 단점이 발견되었다. 흡광도의 감소속도를 비교하여 볼 때 모든 시료는 1 시간 경과 후에 감소속도가 현저히 느려지므로 1 시간 경과후의 흡광도로 유화안정성을 평가하거나 일정시간 내 흡광도의 감소기울기로 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

#### 차. Phospholipase A<sub>2</sub> 처리에 의한 난황분말의 유화능력의 개선

##### 1) 효소작용 처리 조건의 선정

난황은 마요네즈, 샐러드 드레싱, 케익 등에서 식품의 유화능력을 부여하는 기능을 수행하며 난황 중 유화능력에 영향을 미치는 성분은 주로 인지질, 지단백질 및 난황단백질로 알려져 있다. 그러나 난황에 존재하는 주요 인지질인 lecithin을 이용하여 생성된 유화물은 pH, 염농도, oil-water의 비율 등의 여러 인자에 의하여 안정도에 차이를 나타내므로 인지질을 효소로 변형시켜 유화능력 및 안정성을 개선하려는 시도가 진행되었다(Kim et al., 2001).

본 연구에서는 phospholipase A<sub>2</sub>(PLA<sub>2</sub>)로 phosphatidylcholine(PC)의 sn-2 위치의 지방산을 제거하면 친수성 부분을 증가시켜 수중유적형의 유화물의 유화능력을 향상시킬 수 있을 것이라는 가정아래 레시틴을 PLA<sub>2</sub>로 가수분해 시 일어나는 변화를 조사하였다.

일차적인 반응 조건은 효소(lecitase) 제조사의 권장 작용 조건을 근거로 하여 신선한 난황을 물과 7:3의 비율로 혼합 희석하였으며 난황액의 온도를 55℃로 상승시켜 효소반응을 개시하였다. Lecitase의 최적 작용 pH는 8.0-8.5 정도로 알려져 있으나 상업적 생산을 고려하여 pH 조정은 하지 않았으며 가수분해 반응의 종료 후에는

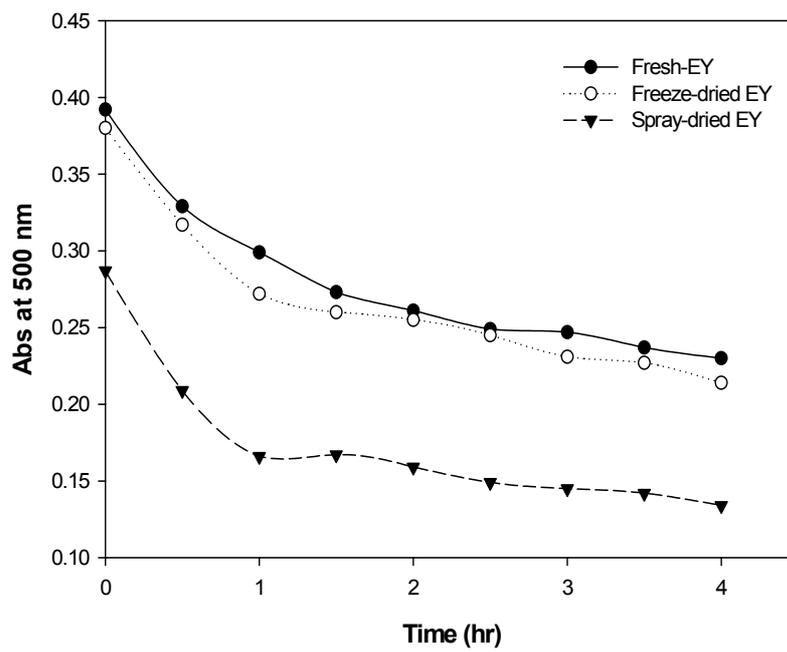


Fig. 24. Changes in emulsion stability of egg yolk.

triacylglycerol로부터 분해되어 유리된 지방산을 NaOH로 적정하여 가수분해율을 측정하였다.

본 연구에서 생산된 효소변형 난황의 일차적 용도는 마요네즈의 생산용으로 정하였으며, 효소 반응 시에는 10%의 식염을 첨가하였는데 이는 마요네즈 생산용 난황이 주로 10% 가염 냉동난황으로 유통되기 때문이다. 신선한 난황은  $-6^{\circ}\text{C}$  이하에서 동결되는 것으로 보고되어 있다. 난황이 동결되면 비가역적 겔화가 일어나기 때문에 해동되어도 유동성을 잃고 물에 용해되지 않거나 유화능력을 상실하므로 난황의 유통 시에는 일반적으로 가염이나 가당으로 난황의 이화학적 특성을 유지시키는 방법을 사용하는 것으로 알려져 있다(Depree and Savage, 2001).

**Fig. 25(a)**는 10%의 염을 첨가한 난황용액에 Lecitase의 첨가농도를 달리 하였을 때 효소반응 시간의 경과에 따른 가수분해율의 변화를 측정한 결과이다. 10,000 LEU의 Lecitase를 첨가한 경우에는 반응 3 시간 경과 후 난황에 존재하는 인지질로부터 약 25%의 지방산이 유리되는 것으로 나타났으며 5시간까지 반응 시간을 연장한 경우에도 가수분해율의 유의적 증가는 관찰되지 않았다. 효소의 농도를 5,000 LEU로 감소시켜 동일 조건에서 효소 반응을 진행한 경우에는 인지질의 가수분해 속도가 감소하여 5 시간의 경과 후에 약 22%의 가수분해가 일어났다. 따라서 효소 반응시간과 그에 따른 인지질의 가수분해율을 기준으로 하였을 때 적절한 효소 농도는 5,000-10,000 LEU의 범위에서 구할 수 있는 것으로 판단되었으며 최적 반응 조건은 다른 반응 변수를 포함하여 반응표면분석으로 측정하기로 하였다.

효소 반응 시 염의 농도를 0, 5, 15%로 조정하고 가수분해율의 변화를 측정한 결과는 **Fig. 25(b)**와 같다. 반응초기에는( $< 1$  hr) 첨가 된 염의 농도가 증가함에 따라 가수분해율이 높게 나타났으나 반응시간이 경과함에 따라 가수분해율의 차이는 감소하였다. 따라서 염의 존재는 효소 반응 시간에 따라 가수분해율에 차이를 나타낼 수 있지만 반응시간이 2 시간 이상으로 충분한 경우 인지질의 전환율에는 차이를 나타내지 않을 것으로 판단된다.

이 밖에, Phospholipase  $A_2$ 의 효소활성을 위해서는 칼슘이 필요한 것으로 알려져 있으나 난황 자체는 phospholipase  $A_2$ 의 효소활성에 필요한 충분한 칼슘을 가지고 있으므로(Dutilh and Groger, 1981) 효소 반응 시 칼슘의 첨가는 고려하지 않았다.

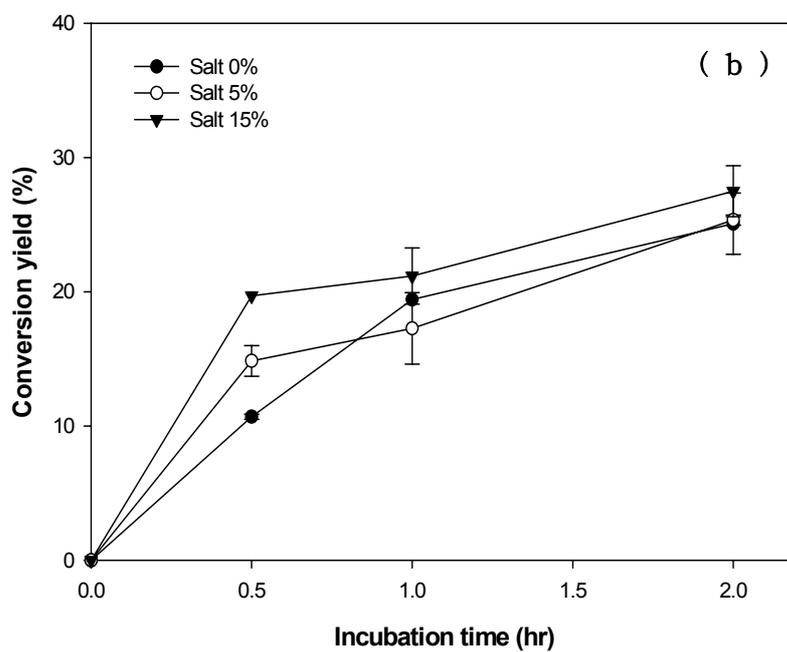
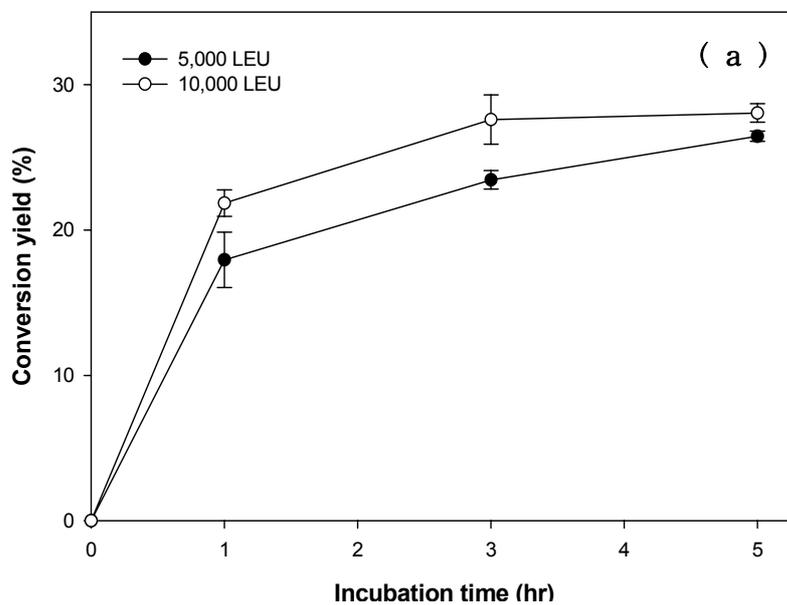


Fig. 25. Effect of enzyme (a) and salt (b) concentration on hydrolysis of phospholipids in egg yolk.

## 2) 마요네즈의 유화안정성 측정

마요네즈는 일반적으로 77-80%의 액상유를 함유하여 지방의 비율이 높은 식품이지만 그 구조적 분류는 유중수적형(O/W) 유화식품으로 단백질, 소금, 식초, 설탕 등을 함유한 분산매에 식용유가 분산질로 분포되어 존재한다. 마요네즈는 난황이 유일한 유화제로써 난황의 유화력은 레시틴과 난황단백질이 결합한 lipoprotein에 의한 것으로 알려져 있다. 따라서, 마요네즈의 제조시 첨가 된 난황의 양은 유화력 및 안정성, 그리고 관능적 특성을 결정하는 중요한 인자이다(Depree and Savage, 2001).

마요네즈의 유화안정성 감소는 제품으로부터 유화된 기름의 유리를 발생시키며 이러한 변화는 주로 70℃ 이상으로 가열하거나, 0℃ 이하로 동결 시 발생하는 것으로 알려져 있다(Dutilh and Groger, 1981). 마요네즈의 유화안정성을 측정하는 방법은 표준화되어 않으며 일반적으로 가열이나 동결 후 유리 된 기름의 양을 측정하여 예측 안정성을 측정하는데 가열이나 동결 조건 역시 일정하지 않은 현실이다.

마요네즈의 유화를 파괴하는 방법으로써 본 연구에서는 가열 방법을 선택하였는데 이는 동결의 경우 시간이 오래 걸리고 동결속도 등을 일정하게 유지하기 어렵기 때문이다. 유화안정성을 평가할 수 있는 적절한 가열 처리 조건을 찾기 위하여 난황의 함유량이 6, 8, 10%가 되도록 마요네즈를 제조하고 두 가지의 열처리 조건(50℃와 65℃, 1 hr)에서 유화안정성을 평가하고 그 결과를 비교하였다.

**Fig. 26**에 나타낸 바와 같이 마요네즈에 포함 된 난황의 양이 증가할수록 유화안정성은 증가하였으나 50℃에서 가열한 경우 난황의 양이 8%와 10%의 유화안정성의 차이가 나타나지 않은 반면 65℃에서 가열한 경우에는 효과적으로 유화안정성의 차이를 구별할 수 있는 것으로 나타났다. 이 결과를 근거로 추후 제조되는 마요네즈의 유화안정성은 65℃에서 1시간 열처리 후 측정하였다.

## 2) 반응표면분석에 의한 효소변형 난황 제조 조건의 최적화

효소 처리 난황은 난황의 유화능력 및 안정성을 개선함으로써 관능적 특성을 감소시키지 않는 범위 내에서 마요네즈의 제조 시 필요한 난황의 사용량을 감소시켜 원가를 절감하는 목적으로 사용할 수 있다. 현재 효소변형 가염 냉동난황은 산업적으로 유통되고 있으나 그 제조 방법은 경험에 의존하고 있어 최적화 되어 있지 않으며 유화능력의 개선효과는 과학적으로 보고된 바 없다. 본 연구는 효소변형 난황의 마요네즈

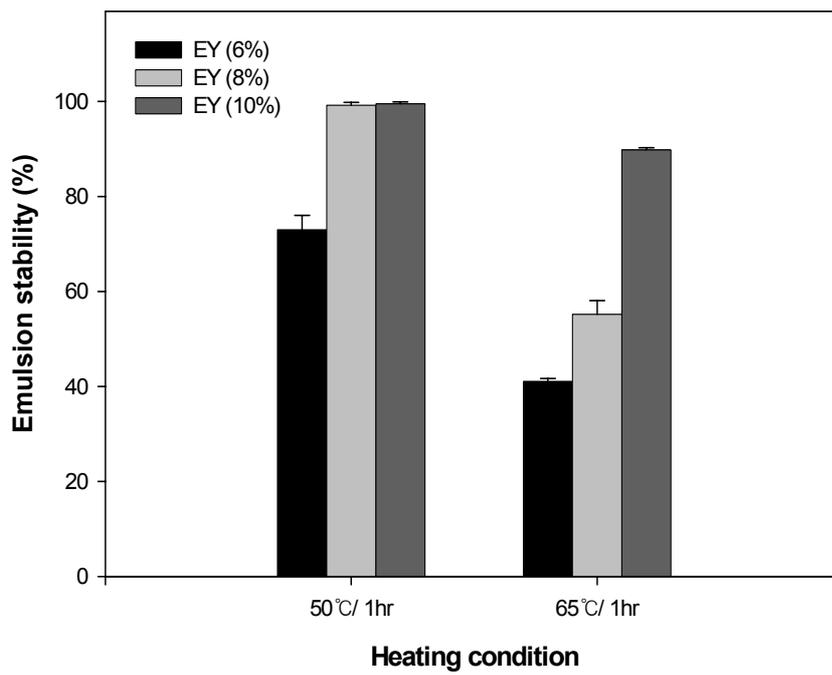


Fig. 26. Emulsion stability of mayonnaise determined at different heating condition.

적용에 관련한 최초의 체계적 보고이다. 특히 본 조건을 난황 분말의 제조 시 활용이 가능하다면 년중 계절별 가격 변동이 심한 우리나라의 실정에서, 계란의 대량 수요처의 하나인 마요네즈 제조에 활용함으로써 계란 가격의 수급안정에 기여할 것으로 생각된다.

효소변형난황 생산조건의 최적화를 위하여 효소농도, 반응시간, 염의농도 따른 예비실험을 진행하였으며 그 결과를 바탕으로 중심합성 계획을 수립하였다. 중심합성 계획에 의한 20개의 반응조건으로 인지질의 가수분해율, 마요네즈의 유화안정성, 혼탁도를 측정된 결과와 회귀분석 후 마요네즈의 유화안정성의 최적화를 위한 반응 조건의 예측결과는 **Table 21**과 같다.

반응표면으로 분석한 결과 인지질의 가수분해율(conversion yield)은 효소의 농도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 효소의 농도는 5,000-7,500 LEU 사이에서 정상점을 나타내었으며 더 이상으로 효소의 첨가 수준을 증가시켜도 가수분해율에 미치는 효과는 크지 않았다. 염의 농도가 가수분해율에 미치는 영향은 첨가된 효소의 농도가 작을수록 민감하게 나타났으며 효소의 첨가수준이 증가함에 따라 염의 농도 효과는 감소하는 것으로 나타나 앞서 제시한 예비 실험 결과와 동일한 경향을 나타내었다 (**Fig. 27**).

난황은 초원심분리에 의해 상징액(plasma)과 침전물(granule)로 구분할 수 있으며 난황단백질의 22%는 상징액층에 인지질이나 저밀도 지단백질(LDL)과 복합체를 이루어 존재한다. 난황단백질의 36%는 불용성의 침전층에 존재하며 고밀도지단백질(HDL)과 결합하고 있다. 기타의 단백질(livetin 30%, phosvitin 2%)는 지질을 함유하지 않는 것으로 보고되어 있다. 구조적인 측면에서 볼 때 난황은 LDL 및 불용성의 granule이 수용성의 livetin을 함유한 수용액층에 분산되어 존재하는 것으로 설명할 수 있다(Guilmineau and Kulozik, 2005).

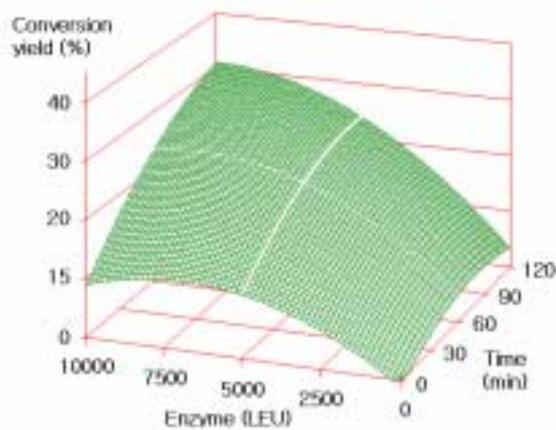
난황 지질의 20% 이상은 인지질, 특히 phosphatidylcholine으로 구성되어 있으나(Nieuwenhuyzen and Szuhaj, 1998) 수용액내에서 이중막 구조(liposome)를 형성하여 효소의 접근을 방해함으로써 반응속도를 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. 산업적으로 레시틴 자체를 분리하여 phospholipase A<sub>2</sub>를 처리하여 lysolecithin을 생산하고자 하는 경우에는 인지질의 효율적 가수 분해를 위하여 계면활성제의 효과를 나타내는 sodium deoxycholate(DOC)의 첨가할 수 있으나 본 연구 결과에 따르면 DOC의 첨가 없이도 염의 첨가 시 약 30% 내외의 인지질의 가수분해를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

**Table 21. Treatment combinations and their results (top) and predicted optimized condition (bottom).**

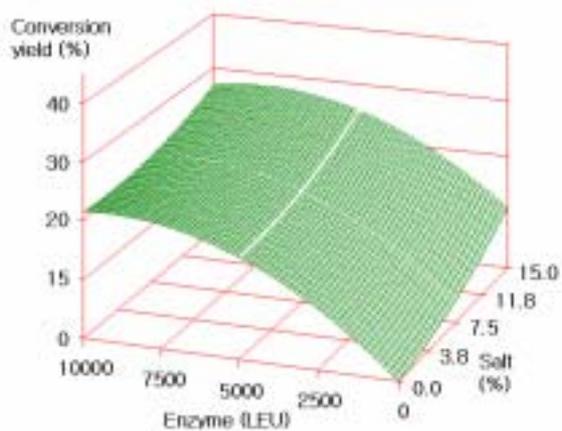
Exp. number	Enzyme (LEU)	Time (min)	Salt (%)	Mayonnaise stability (%)	Turbidity (O.D. 400 nm)	Conversion yield (%)
1	2000	25	3	48.1	0.949	9.5
2	8000	25	3	89.0	0.606	15.4
3	2000	95	3	84.9	0.710	11.9
4	8000	95	3	93.9	0.490	24.7
5	2000	25	12	74.7	0.384	15.4
6	8000	25	12	86.2	0.298	20.2
7	2000	95	12	70.6	0.370	19.0
8	8000	95	12	90.3	0.332	29.2
9	5000	60	7.5	92.9	0.541	20.2
10	5000	60	7.5	91.2	0.530	21.4
11	5000	60	7.5	82.5	0.487	20.7
12	0	60	7.5	44.6	1.487	0.0
13	10000	60	7.5	88.8	0.335	25.4
14	5000	0	7.5	44.9	0.435	7.1
15	5000	120	7.5	98.0	0.394	24.9
16	5000	60	0	73.7	0.363	17.6
17	5000	60	15	91.8	0.363	24.0
18	5000	60	7.5	74.1	0.309	20.7
19	5000	60	7.5	80.5	0.320	19.7
20	5000	60	7.5	87.5	0.331	20.4

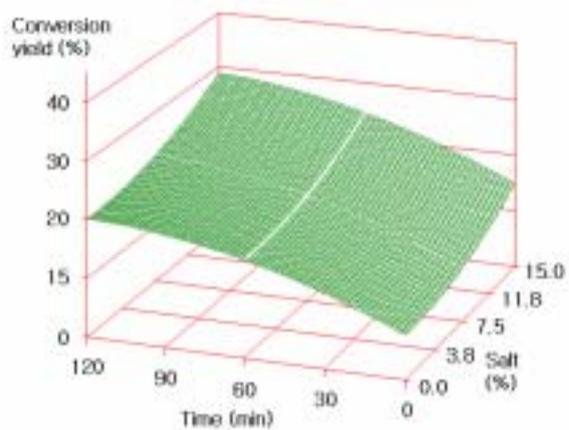
Response variables	Enzyme (LEU)	Time (min)	Salt (%)	R <sup>2</sup>	Predicted value	Experimental value
Mayonnaise stability (%)	7432.2	73.5	11.5	0.79	92.2	92.4



Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  time ( $X_2$ )



Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )



Time ( $X_2$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )

Fig. 27. Response surface plot on conversion yield of hydrolyzed egg yolk with enzyme concentration, incubation time and salt as independence variables.

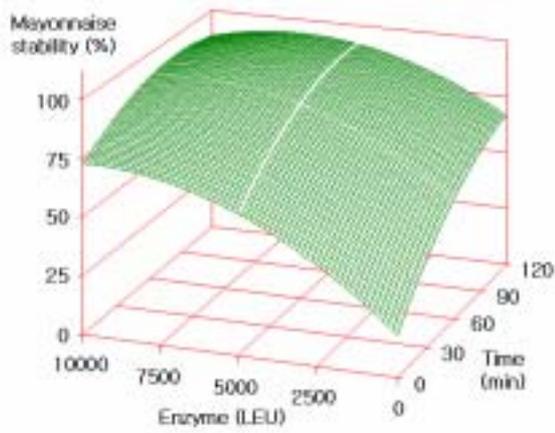
각 반응조건으로 제조한 효소변형 난황을 이용하여 마요네즈를 제조하고 유화안정성을 측정한 결과, 효소적 변형이 적게 일어난 경우에도 유화안정성은 크게 향상되어 앞서 제시한 열처리 조건(65°C 1 hr)으로 효율적인 구별이 불가능하였다. 따라서, 반응표면분석의 유화안정성 최적 조건을 찾는 실험에 한하여 가열 온도를 95°C 1 시간으로 조정하여 마요네즈의 안정성을 측정한 결과, 마요네즈의 안정성은 가수분해율의 변화와 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 28). 위의 결과를 근거로 할 때 난황인지질을 효소적 변형을 통하여 lysophosphatidylcholine 또는 lysophosphatidylethanolamine 등으로 전환하면 마요네즈와 같은 수중유적형 유화물의 형성 및 안정성을 향상시킬 수 있는 것으로 생각되며 이와 같은 변화는 인지질로부터 지방산을 분리시킴에 따라 인지질의 친수성을 증가시킴에 기인한 것으로 사려된다.

혼탁도는 분산된지방 입자의 크기를 예측하는데 편리하게 사용되어 왔으며 입자의 직경이 500 nm에 이하에서는 레시틴 입자를 분산 시 입자의 크기와 혼탁도의 크기 사이에는 반비례의 관계를 보이는 것으로 보고되어 있다(Pozharski et al., 2001). 또한 입자의 응집(aggregation)이 일어나면 혼탁도는 그에 따라 일정 한계 까지는 비례적으로 증가하게 되므로 난황을 증류수에 첨가할 때 나타나는 혼탁도의 변화를 난황의 용해도 index로서 사용하였다. 효소반응이 진행됨에 따라 혼탁도도 현저히 감소하는 것으로 나타났으며, 염이 혼탁도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다(Fig. 29).

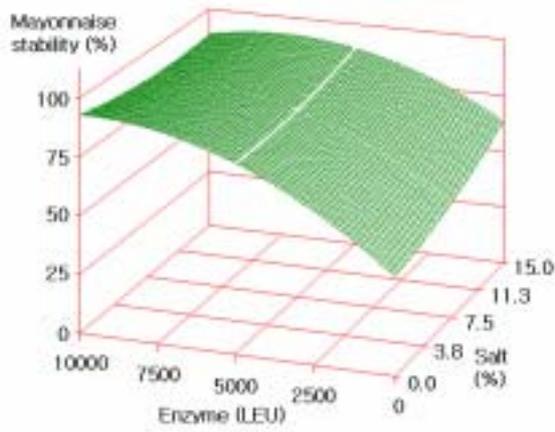
Fig. 30은 인지질의 가수분해율과 마요네즈의 유화안정성 및 혼탁도와와의 상관관계를 표시한 그래프이다. 인지질의 가수분해율은 혼탁도( $R^2=0.59$ )보다는 마요네즈의 유화안정성( $R^2=0.71$ )과 높은 상관관계를 나타냈는데 이는 혼탁도의 경우 난황의 효소적 변형이 크지 않은 경우에도 혼탁도의 감소폭이 크게 나타나 가수분해율과 비례적인 관계가 성립되지 않기 때문인 것으로 생각된다.

### 3) 최적 조건의 효소변형 난황으로 제조한 마요네즈의 유화안정성 검증

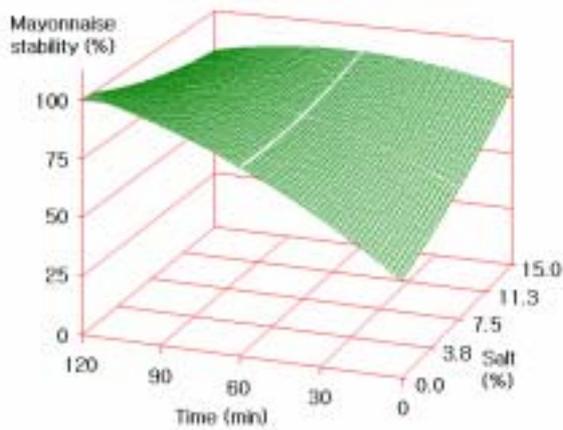
반응표면분석에서 예측된 최적조건을 이용하여 마요네즈를 생산하고 유화안정성을 평가하였다. 대조구로서는 신선 난황의 첨가율을 달리하여 제조한 마요네즈를 사용하였으며 마요네즈의 제조 시 효소변형 난황이 유화안정성의 측면에서 원료 감소 효과를 기대할 수 있는지 조사하였다.



Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  time ( $X_2$ )

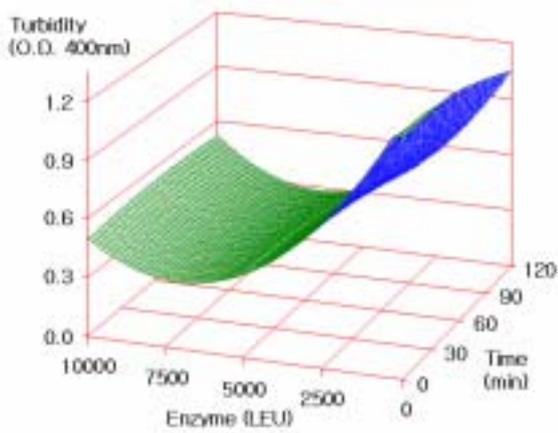


Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )

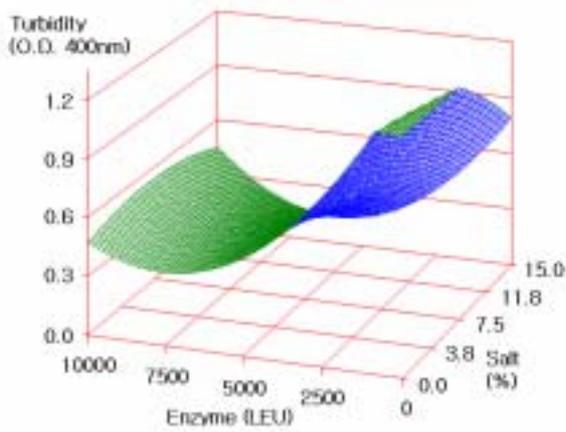


Time ( $X_2$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )

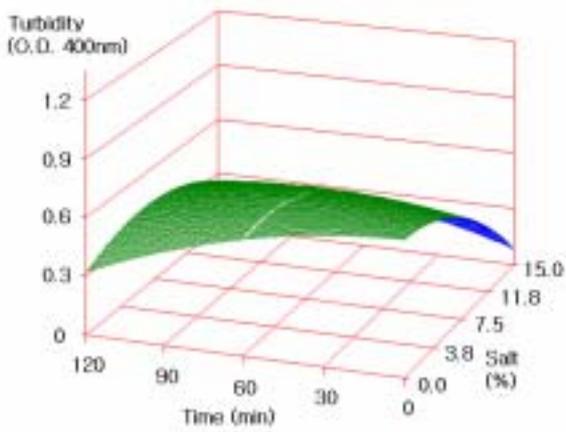
Fig. 28. Response surface plot on mayonnaise stability of hydrolyzed egg yolk with enzyme concentration, incubation time and salt as independence variables.



Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  time ( $X_2$ )



Enzyme ( $X_1$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )



Time ( $X_2$ )  $\times$  salt ( $X_3$ )

Fig. 29. Response surface plot on turbidity of hydrolyzed egg yolk with enzyme concentration, incubation time and salt as independence variables.

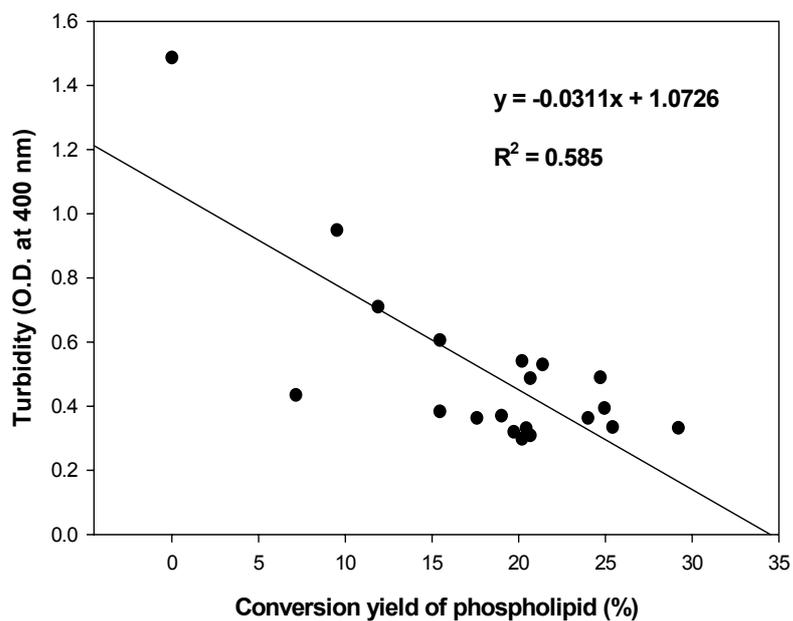
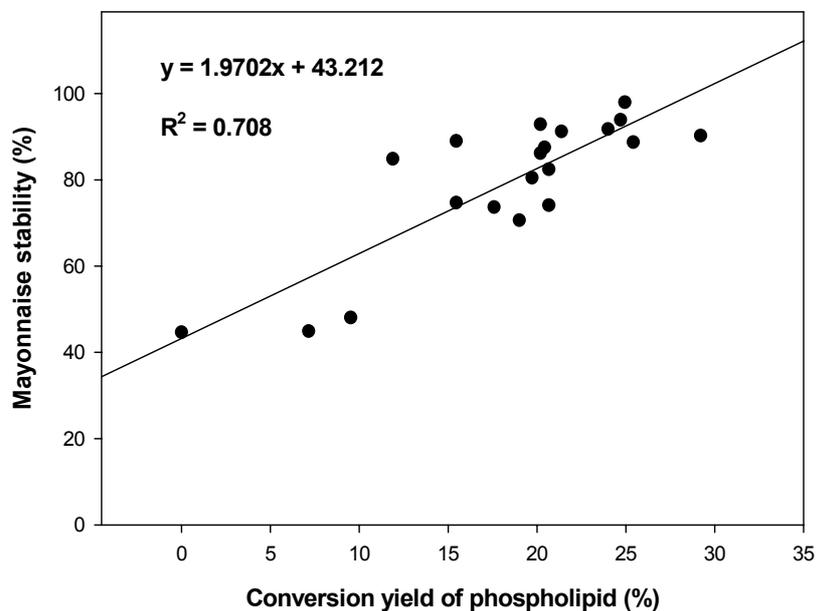


Fig. 30. Correlation between conversion yield of phospholipids and mayonnaise stability (top) or turbidity (bottom).

신선난황을 사용하여 마요네즈의 유효안정성을 90% 이상으로 하고자하는 경우 신선난황을 사용하면 10% 이상의 난황이 필요하였으나 효소변형 난황을 사용한 경우 4%만을 사용하여도 93%의 유효안정성을 나타내었다(Table 22). 그러므로 맛과 조직감을 비롯한 관능적 특성에서 차이를 보이지 않는다면 효소 처리 난황을 이용하여 마요네즈를 제조하는 경우 필요한 난황의 요구량을 줄임으로써 원가 절감을 효과를 나타낼 수 있는 것으로 판단된다.

#### 4) 효소변형 난황의 관능적 특성

전술한 바와 같이 효소변형 난황으로 제조한 마요네즈는 동일한 조건으로 제조된 신선 난황과 비교할 때 높은 유효안정성을 나타내었으므로 상업적 적용 가능성을 평가하기 위한 다음 단계로서 효소변형 난황으로 제조한 마요네즈의 관능적 특성을 평가하였다. 관능검사는 국민대학교에 재학 중인 18-30세의 남녀 51명을 대상으로 하였으며 마요네즈만을 섭취 후 관능적 특성을 평가하기가 용이하지 않았으므로 신선한 샐러리를 동반시료로 제공하고 샐러리와 함께 마요네즈를 섭취하고 평가하도록 하였다. 시료는 효소변형 난황 6% , 신선난황 8 과 10%를 함유한 마요네즈 세 종류로 결정하였는데 이는 관능적 측면에서 적은양의 효소변형 난황을 사용하여 신선난황의 사용량 감소가 가능한지를 조사하기 위함이었으며 난황의 양 이외의 기타 부재료의 양은 모두 동일하게 유지하였으며 난황양의 차이는 물로 보충하였다.

Fig. 31에 나타난 바와 같이 기호도 항목의 경우 신선난황 8%와 효소변형난황 6%로 제조한 마요네즈간에는 유의적 차이가 발견되지 않았으며, 10% 신선 난황으로 제조한 마요네즈는 외관, 맛, 전반적 기호도에서 모두 유의적으로 낮은 점수를 나타냈다. 이와 같은 결과는 투입된 난황이 증가함에 따라 점도가 상승하고 보다 텁텁한 느낌을 주기 때문인 것으로 판단되며 특히 젊은층의 소비자들은 가벼운 느낌의 제품을 선호하는 경향을 반영한 결과로 생각된다.

Fig. 32은 각 시료의 고소한 맛, 신맛, 느끼함, 노란색의 강도, 감칠맛, 산패취의 강도를 평가한 결과이다. 고소한 맛, 신맛, 감칠맛, 산패취에서는 세 가지 시료 간에 유의적 차이가 발견되지 않았다. 느끼함의 경우 10% 신선난황으로 제조한 마요네즈가 유의적으로 높게 나타나 앞서 언급한 바와 같이 맛과 전반적 기호를 감소시키는 요인으로 작용하였다. 노란색의 강도는 첨가된 난황의 양에 반비례하여 세 가지 시료간에

Table 22. Emulsion stability of mayonnaise prepared either from fresh egg yolk or from enzymatically modified egg yolk.

Samples	Egg yolk (%)	Mayonnaise stability (%)
Fresh egg yolk	12	97.2 ± 0.3
	10	89.8 ± 0.5
	8	55.2 ± 2.9
	6	41.1 ± 0.6
Enzyme treated egg yolk	6	98.4 ± 0.4
	5	96.3 ± 0.5
	4	93.6 ± 4.0

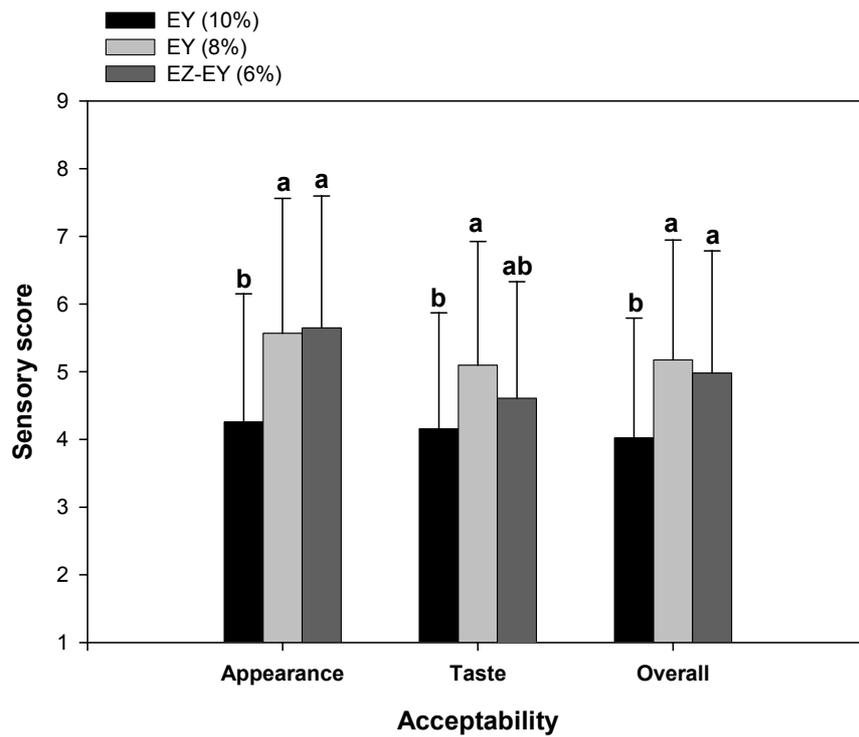


Fig. 31. Acceptability of mayonnaise prepared either from fresh egg yolk or from enzymatically modified egg yolk.

EY: fresh egg yolk, EZ-EY: enzymatically modified egg yolk.

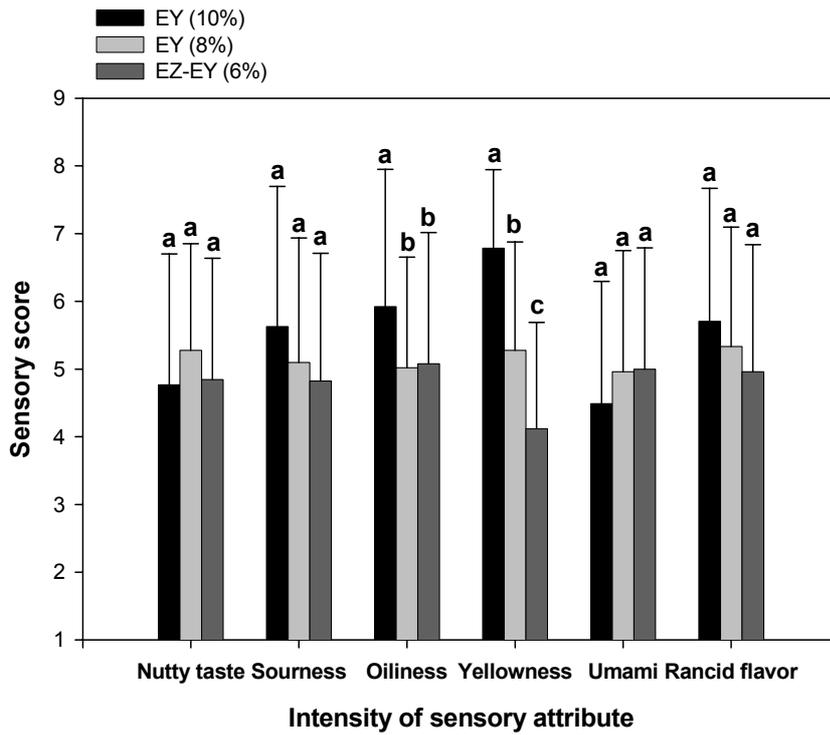


Fig. 32. Perceived intensity of sensory attributes for mayonnaise prepared either from fresh egg yolk or from enzymatically modified egg yolk. EY: fresh egg yolk, EZ-EY: enzymatically modified egg yolk.

모두 유의적 차이를 보였다. 그러나 외관기호도 항목에서 세 가지 시료간에 유의적 차이가 발견되지 않았으므로 노란색의 강도는 소비자의 기호도에 결정적 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

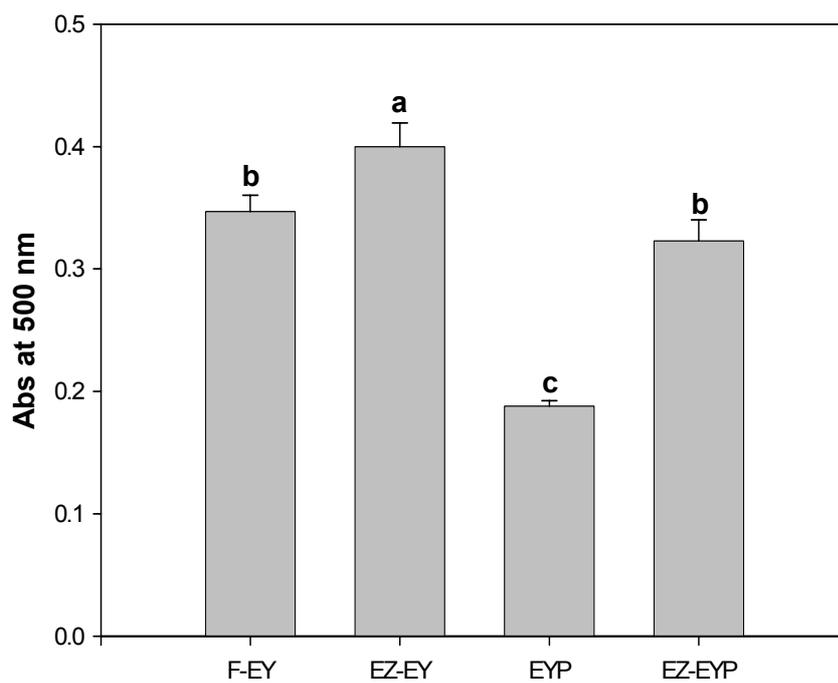
##### 5) 효소변형 난황분말의 이화학적 특성 평가

최근의 가공식품은 편리함을 추구하는 “ready to eat”의 편이적 기능이 증가하는 추세이며 이러한 형태의 제품 제조를 위해서는 위생과 유통의 측면에서 냉동액상 난황보다 분말 형태의 난황제품이 선호될 수 있다. 따라서 효소변형 된 난황을 분말화할 경우 향상된 유화능력과 용해도가 유지될 수 있는지 여부를 평가하기 위하여 제2 협동기관에 의뢰하여 효소 처리 난황의 분말화를 실시하고 이화학적 특성을 조사하였다.

**Fig. 33**은 신선난황과 효소변형 난황 그리고 이들을 분무건조 하여 제조한 난황분말과 효소변형 난황 분말을 연구방법에서 서술한 EAI 측정조건에서 고형분 함량이 0.5%(w/v)가 되도록 용해시킨 후(100 mM sodium phosphate buffer, pH 7.0, 0.1 M NaCl) 각 시료의 유화능력을 측정된 결과이다. 유화물 계면적의 증가를 의미하는 흡광도는 효소변형난황이 가장 높았으며 효소변형난황분말과 신선난황 간에는 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 신선 난황을 분무 건조하여 제조한 난황분말은 가장 낮은 흡광도를 나타냈다. 이 결과는 Mine (1998)의 보고와 동일하게 난황의 분말과정에서 유화 능력의 감소가 일어남을 시사하였으나 효소변형 난황을 분말화 할 경우 신선난황과 유사한 유화능력을 기대할 수 있는 것으로 생각된다.

네 가지 시료의 유화안정성을 측정하기 위하여 유화물의 제조 후 시간의 경과에 따른 흡광도의 변화를 측정하였다. 유화안정성은 초기 흡광도가 75%와 50%로 각각 감소하는데 소요되는 시간으로 표현하였으며 유화안정성 결과는 유화능력의 측정 결과와 유사하게 효소변형난황, 신선난황, 효소변형난황분말, 신선난황분말의 순서를 보였다(**Table 23**). 그러므로 난황을 효소처리하여 건조할 경우 동일한 조건에서 건조한 난황분말에 비하여 유화능력과 유화안정성이 현저히 개선될 수 있는 것으로 나타났다.

신선한 난황의 고형분 함량은 약 48%로서 고형분의 32%는 단백질, 64%는 지방이다. 고형분의 약 20%는 불용성의 granules이며 80%는 수용성인 plasma층에 용해되거나 분산되어 존재한다(Guilmineau and Kulozik, 2006). 난황 지방의 조성은 65%



**Fig. 33.** Change of absorbance of emulsion prepared from fresh egg yolk, enzymatically modified egg yolk or their powders.

F-EY: fresh egg yolk, EZ-EY: enzymatically modified egg yolk,

EYP: egg yolk powder, EZ-EYP: enzymatically modified egg yolk powder.

**Table 23. Stability of emulsion prepared from fresh egg yolk, enzymatically modified egg yolk and their powders.**

Samples	$T_{0.75}^{1)}$ (min)	$T_{0.5}^{2)}$ (min)
Fresh egg yolk	$22.3 \pm 1.23$	> 60
Enzymatically modified egg yolk	$26.8 \pm 3.81$	> 60
Egg yolk powder	$7.60 \pm 0.38$	$19.0 \pm 4.48$
Enzymatically modified egg yolk powder	$15.68 \pm 1.77$	> 60

<sup>1)</sup> Time to reach 3/4 of initial Abs.

<sup>2)</sup> Time to reach 1/2 of initial Abs.

triacylglycerol, 28.3% 인지질, 5.2% 콜레스테롤과 미량의 콜레스테롤에스터로 구성되어 있으며 극성지질의 조성은 70% phosphotidylcholine, 24% phosphotidylethanolamine, 4% sphingolipid, 1% phosphotidylserine 그리고 1% phosphotidylinositol로 보고 되어 있다(Kuksis, 1992).

난황 지방은 모두 단백질과 결합하여 지단백질을 형성하고 있으며(Li-Chan et al., 1995) 난황고형분의 68%를 차지하는 저밀도 지단백질과 구성단백질(apoprotein: lipovitellenins) 유화능력에 매우 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Mitzutani and Nakamura, 1985).

본 연구에서 적용한 난황의 효소적 변형은 일차적으로 인지질로부터 지방산을 분리하여 인지질의 친수성을 증가시키는 역할을 하며 이와 같은 작용은 인지질과 결합하고 있는 apolipoprotein의 구조적 배열에도 영향을 미침으로써 단백질의 유화능력에 대한 기여도를 높일 수 있을 것으로 예측되며 Abousalham and Verger (2000)는 난황의 지단백질이 lipase의 기질이 될 수 있음을 제시하였다.

효소변형 난황분말의 용해도 변화를 조사하기 위하여 난황 분말(대조구)과 효소변형 분말을 용해시키고 원심분리 후의 단백질 함량을 측정하여 용해도를 측정하였다. 용해도 측정을 위한 용매의 조건은 pH 4.0과 6.5 그리고 식염의 함량은 0.15와 0.55 M로 정하였는데 이 조건은 샐러드 드레싱을 포함하여 빈번하게 제조되는 식품 유화물의 조건을 고려하였다.

**Fig. 34**에 나타낸 바와 같이 난황단백질의 용해도는 두 가지 시료에서 모두 pH와 식염의 농도가 높을수록 우수하였으며 시료 간에는 모든 조건에서 효소변형 난황분말의 용해도가 대조구와 비교하여 높은 것으로 나타났다. 낮은 pH 조건(pH=4)에서 관찰된 용해도 감소는 Le Denmat et al. (2000)의 보고와 같이 granule의 용해도가 낮은 pH에서 감소하는 것과 관계가 있는 것으로 판단된다. 신선한 난황의 pH는 6.2, 염농도는 0.17 M로 알려져 있으며(Guilmineau and Kulozik, 2006) 이온강도를 증가시키면 칼슘이 과량의 나트륨으로 대체되고 phosphocalcic bridge의 붕괴를 일으켜 granule의 해리와 그에 따른 용해도 증가를 일으키는 것으로 설명할 수 있다.

최종적으로, 효소변형난황분말을 이용하여 마요네즈를 제조하고 신선난황으로 제조한 마요네즈의 유화안정성과 비교하여 상업적 응용가능성을 평가하였다(**Fig. 35**). 난황의 함량이 6%와 7%인 마요네즈를 난황분말을 이용하여 제조한 경우 신선 난황으로

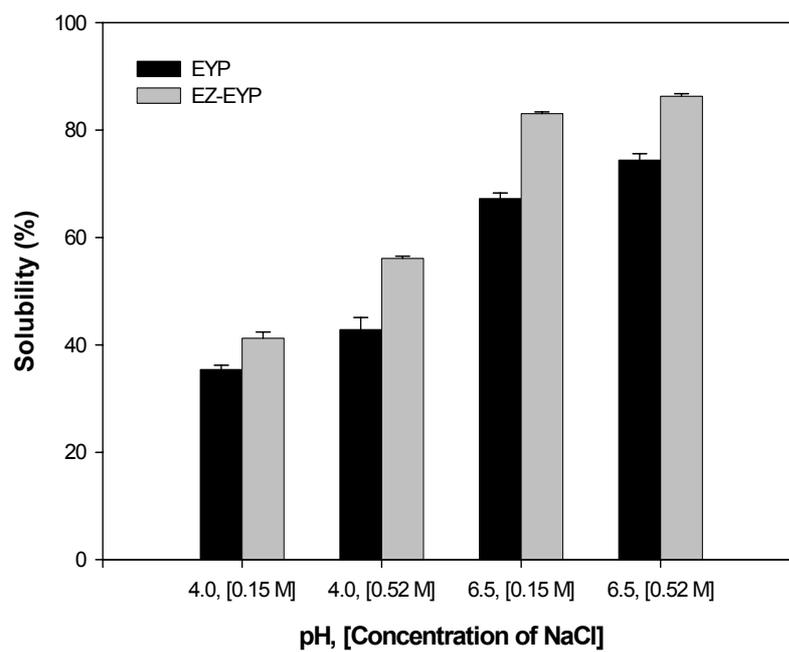
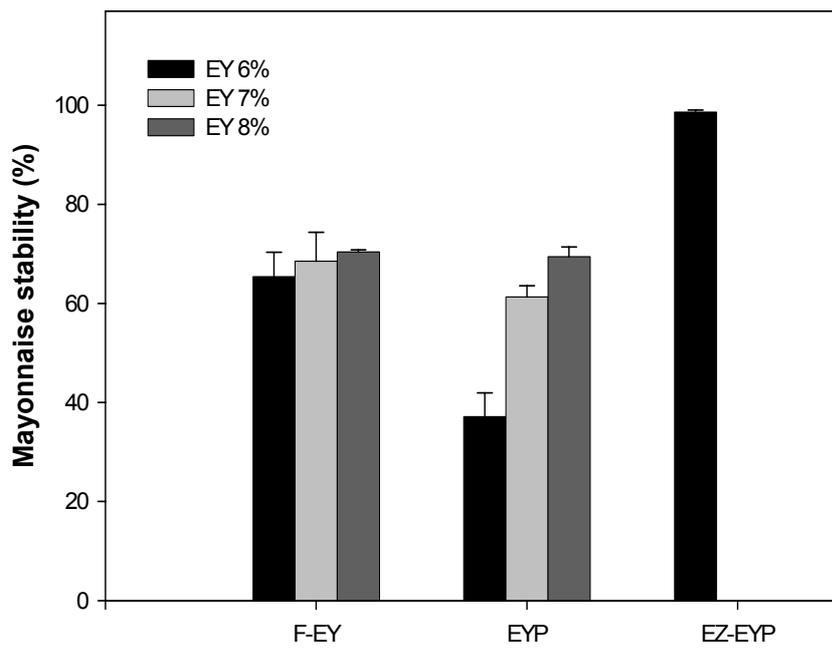


Fig. 34. Solubility of egg yolk powder and enzymatically modified egg yolk powder.

EYP: egg yolk powder, EZ-EYP: enzymatically modified egg yolk powder.



**Fig. 34. Emulsion stability of mayonnaise prepared from fresh egg yolk, egg yolk powder or enzymatically modified egg yolk powder.**

F-EY: fresh egg yolk, EYP: egg yolk powder,  
 EZ-EYP: enzymatically modified egg yolk powder.

제조한 마요네즈와 비교하여 유화안정성이 유의적으로 낮았으나 난황의 함량이 8%인 경우에는 유사한 유화안정성을 나타냈다. 한편, 효소변형난황분말 6%를 첨가하여 마요네즈를 제조한 경우에는 신선난황으로 제조한 마요네즈(8% 난황함량)보다 현저히 우수한 유화안정성을 보였다.

앞서 제시한 결과를 근거로 할 때 효소변형 난황분말은 신선난황을 대체할 수 있는 유화능력, 용해도 등의 기능적 특성을 가지고 있는 것으로 사려 되며 마요네즈 등의 제품에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 제 2 절 제 1 협동과제 :

### 달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화

#### 1. 연구수행방법

##### 가. 처리조건에 따른 난백겔의 물성변화와 조직감 측정 및 달걀단백질의 구조변화 연구

###### 1) 난백 겔 제조

분말 난백 시료 48 g을 증류수 240 mL에 혼합한 후, homogenizer를 이용하여 고속(9,500 rpm)으로 5분간 균질화 하였다. 이때 형성된 거품은 vacuum desiccator 안에서 압력을 가하여 제거하여 난백 용액(20%, w/v)을 제조하였다. 난백 용액을 여러 가지 처리 (pH조절, 염 첨가 등)조건에 맞춰 조절한 후 degasing 과정을 통해 남아 있는 거품을 완전히 제거 하였다. Gelatin casing에 각 용액을 넣은 후 잘 밀봉하여 80°C의 water bath에서 40분간 가열하였다. 가열이 끝난 후 상온에서 30분간 냉각한 다음 4°C에서 24시간 저장한 후 겔의 물성을 측정하였다.

###### 2) 난백겔의 조직감 측정

###### 가) Texture profile analysis (TPA)

난백 겔의 조직감은 TA-XT2 Texture analyzer(TA-XT2 Stable Micro Systems, UK)를 이용하여 압축실험을 통한 TPA 방법으로 측정하였다. 먼저 Gelatin casing안에서 만들어진 겔을 꺼내어 20 mm의 길이로 절단하여 원통형(Dia. 30 mm)의 샘플을 만들었다. 원통형의 샘플을 75 mm의 직경을 가진 압축 probe사이에 놓고 0.5 mm/s의 일정한 속도로 50%의 변형으로 2회 압축-복원실험을 실시하였다.

2회 압축-복원 후 Texture Expert Software를 이용하여 겔의 다양한 조직감 (hardness, cohesiveness, springiness, chewiness, gumminess, resilience등)을 계산하였다.

#### 나) Fracture test

난백 겔의 fracture stress와 strain은 TPA측정과 마찬가지로 TA-XT2 Texture analyzer를 이용하여 측정하였다. 20 mm 높이의 원통형 시료를 직경 75 mm의 압축 probe 사이에 놓고 겔이 파괴 될 때 까지 압축하면서 파괴 시의 stress와 strain을 측정하였다.

#### 3) 난백용액의 점도 측정

시판용 분무건조 난백 분말(세한축산)과 동결건조 난백 분말용액의 점도를 측정하기 위하여 난백의 고형분 함량과 동일하도록 환원용액을 제조하였다. 먼저 적당량의 시료를 증류수에 넣고 homogenizer를 이용하여 충분히 교반하여 거품을 제거한 후 pH를 조절하여 vacuum desiccator에서 degasing을 한 다음 시료로 사용하였다. 난백 용액의 점도는 40 mm-dia cone & plate geometry (angle 1°)를 사용하여 0.3-1500(1/s)의 shear rate 범위 및 상온(25℃)에서 rotational rheometer(AR 2000, TA Instrument, USA)를 이용하여 측정하였다. 각 시료들의 점조도 지수(K)와 유동 거동지수(n)등의 정상유동 특성 값은 다음과 같이 Power law model로 해석하였다.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$$

$\tau$  : 전단응력(shear stress, Pa)

$\dot{\gamma}$  : 전단속도(shear rate, 1/s)

K : 점조도 지수(consistency index, Pa · s<sup>n</sup>)

n : 유동거동지수(flow behavior index, dimensionless)

#### 4) 난백단백질의 열적 특성 측정

난백 분말의 열동적 특성은 Differential scanning calorimeter(DSC Q-1000, TA Instrument, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료는 분무건조 전 난백의 pH를 6, 6.5, 7, 8, 9으로 조절한 후 분무건조 하여 제조된 시제품을 이용하였다. 10% 농도의 시료용액  $10 \pm 0.4$  mg을 액상형 알루미늄 pan에 담고 봉한 후 30°C에서 120°C까지 2°C/min의 승온 속도로 가열하였다. 온도변화에 따른 변성온도( $T_d$ )와 변성엔탈피( $\Delta H$ )를 계산하여 비교하였다.

#### 5) 난백단백질의 2차 구조 분석

pH를 조절하여 분무 건조한 분말 난백 단백질의 2차 구조를 분석하기 위하여 Spectropolarimeter (JASCO J-715, Japan)를 이용하여 21°C에서 CD (Circular dichroism) analysis를 수행하였으며 시료는 3%의 용액을 filter membrane (0.22  $\mu\text{m}$ )을 이용하여 여과 후 사용하였다. CD spectrum은 200-250 nm의 far-ultraviolet 영역에서 0.1 mm path length cell을 이용하여 상온에서 측정하였다. 사용된 step resolution은 0.2 nm이고 20 nm/min의 속도로 scan하였다.

#### 6) 난백겔의 미세표면구조 관찰

난백 겔의 미세 표면구조는 Scanning Electron Microscope (SEM)를 이용하여 관찰하였다. 먼저 20%의 난백 겔을 만든 후 작은 조각으로 절단하여 24시간 동안 동결건조 하였다. 건조된 시료를 coating 한 후 3 kV에서 관찰하였다.

### 나. 전처리 및 분말화 조건에 따른 난백겔의 조직감 변화 측정 및 고기능성 분말 생산을 위한 최적 처리조건 설정

#### 1) 난백겔 제조

여러 가지 조합의 전처리에 의해 만들어진 분말 난백시료 48 g을 증류수 240 mL에 혼합한 후, homogenizer를 이용하여 고속(9,500 rpm)으로 5분간 균질화 시켰다. 이때 형성된 거품은 vacuum desiccator 안에서 압력을 가해 제거하여 20% (w/v)의

난백 용액을 만들었다. Gelatin casing에 용액을 넣은 후 세지 않도록 잘 밀봉하여 80°C의 water bath에서 40분간 가열하였다. 가열이 끝난 후 상온에서 30분간 냉각한 다음 4°C에서 24시간 저장 후 겔의 물성을 측정하였다.

## 2) 건조가열

건조가열에 의한 난백분말의 조직감 변화를 측정하기 위해 시판용 분무건조 난백분말과 제2협동기관에서 만든 난백 분말시료를 이용하여 비교하였다. 먼저 일정량의 시료를 고르게 편 후 증류수를 분무기로 일정량 분사하여 전체 수분함량을 약 9%로 조절한 후, 건조 시 수분의 이탈을 막기 위해 zipper bag에 시료를 담고 75°C의 oven에 넣고 최대 1주일까지 건조를 시켰다. 건조시간에 따라 0일, 3일, 5일 그리고 7일로 분류하여 실험하였다.

## 3) 난백겔의 조직감 측정

여러 가지 전처리 조합에 의해 만들어진 난백분말을 이용하여 만든 난백겔의 조직감은 TA-XT2 Texture Analyzer를 이용하여 앞서 설명했던 압축실험을 통한 Texture profile analysis (TPA)방법을 이용하여 측정하였다.

## 4) Circular dichroism (CD) 분석

다양한 전처리의 조합방법에 의해 만들어진 분말 난백 단백질의 2차 구조 분석은 Spectropolarimeter (JASCO J-715, Japan)를 이용하여 앞서 설명했던 방법으로 CD (Circular dichroism) analysis로 시행하였다.

## 5) Powder X-ray diffractometry 분석

난백분말은 X-ray diffractometry (Bruker D5005, Germany)를 이용하여 분석하였다. 이 기기는  $\lambda$  radiation(1.5406 nm; 40 kV; 40 mA)에 의해 작동되며 2 $\theta$ 의 범위는 3°-90°이며 0.02의 step interval을 이용하였다. 사용된 scan speed는 0.8 sec/step이었다.

## 다. 난백분말을 이용한 시제품의 물성 및 조직감 평가 및 저장기간에 따른 난백겔의 물성변화 연구

### 1) 최적 조건에서 생산된 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 물성 및 조직감 측정

#### 가) 재료

수리미 제조에 사용된 냉동수리미는 동원 F&B에서 제공한 Alaska pollock(Grade A, 20 kg)으로 시료의 수분함량은 74%이었다. 또한 수리미 제조 시 사용된 난백분말은 2차년도에서 반응표면분석법에 의해 최대의 겔 강도를 얻을 수 있는 최적의 조건으로 만들어진 난백분말이었다. 냉동수리미는 약 500g 정도의 block으로 잘라 사용 전까지 -40℃ 냉동실에서 저장 보관하였다.

#### 나) 수리미 제조

냉동수리미(1300 g)를 5℃에서 자연 해동시킨 후 silent cutter (OHMICHl, Japan)에 넣고 약 3분간 절단하고 수리미 중량에 대하여 3%의 식염을 첨가한 후 1분간 더 절단한 후 물 100 g을 첨가하였으며 이때의 온도는 5-7℃가 되도록 하였다. 물을 첨가한 후 1분간 분쇄하여 끈적한 풀 모양의 페이스트로 만들었으며, 분쇄동안 수시로 적외선 온도계 (Minolta, USA)를 이용하여 온도를 측정하여 시료의 온도가 10℃ 이상 올라가지 않도록 하였다. 난백분말 첨가구의 경우, 대조구의 제조 순서에서 물을 첨가할 때 물 100 g에 난백분말 3%를 넣어 homogenizer로 1분간 혼합시켜 만든 난백액 상태로 첨가하였다. 분쇄가 끝난 수리미 페이스트를 진공포장지에 넣어 포장지의 입구를 잡고 10-15회 정도 기계적 충격을 가하여 시료내의 기포를 제거하였다. 기포를 제거한 후 수리미 페이스트를 빼내어 소시지 충전기를 이용하여 케이싱에 충전하였다. 케이싱에 충전된 시료는 90℃ 항온수조에서 약 30분간 cooking 한 후 30분간 흐르는 물에 방치 냉각하고 24시간 동안 냉장 보관한 후 수리미의 물성 및 조직감 실험에 사용하였다.

#### 다) 수리미의 조직감 측정

제조된 수리미의 조직감은 TA-XT2 Texture analyzer(TA-XT2 Stable

Micro Systems, UK)를 이용하여 Texture profile analysis (TPA)와 Fracture test 두 가지 방법을 이용하여 측정하였다. 24시간 동안 냉장보관 된 수리미의 케이싱을 잘 벗겨낸 후 20mm의 길이로 절단하여 원통형(Dia. 28mm)의 샘플로 만들었다. 원통형의 샘플을 직경 75mm의 압축 probe사이에 놓고 0.5 mm/s의 속도로 40%의 변형으로 2회 압축-복원을 실시하여 Texture Expert Software를 이용하여 TPA profile (hardness, cohesiveness, springiness, chewiness, gumminess, resilience등)을 계산하였다. 또한 fracture 실험에서는 70%까지의 변형을 주어 수리미가 깨질 때의 fracture force 와 fracture distance를 측정하였다.

#### 라) 수리미의 색 측정

수리미의 색 측정은 색차계(COLOR-EYE<sup>®</sup>7000, Macbeth, USA)를 이용하여 상온에서 측정하였다. 색차계는 standard-white reflection plate를 이용하여 표준화 하였으며 CIE Lab scale의 L\*, a\*, b\* 값으로 표시하였다. 또한 이들 값들을 이용하여 whiteness를 아래와 같은 식에 의해 계산하였다 (Park, 2000).

$$\text{whiteness} = L^* - 3b^*$$

여기서 L\*=lightness on a 0-100 scale from black to white, a\*=scale of red(+) or green(-), b\*=scale of yellow(+) or blue(-)

#### 마) 수리미의 표면사진

제조된 수리미의 형태 및 표면을 나타내기 위해 전체적인 모양과 절단된 면을 디지털카메라(Sony)를 이용하여 촬영하였다.

### 2) 최적 조건에서 생산된 난백분말을 첨가하여 만든 국수의 조리특성 및 조직감 측정

#### 가) 재료

면 제조에 사용된 밀가루는 중력분 1등급으로 (주) CJ(서울, 한국) 제품을 사용하였으며 수분 13%, 단백질 12%, 지방 4% 이었다. 소금은 (주) 한주(울산광역시, 한국)의 정제염을 사용하였다. 국수제조 시 첨가한 난백분말은 시판난백분말과

최적조건으로 생산된 시제품 난백분말을 사용하였다.

#### 나) 밀가루 반죽

밀가루와 난백분말의 비율이 100:2.5, 100:5가 되도록 혼합한 후 반죽의 수분함량이 35% 정도가 되도록 물을 첨가하고 2%의 소금을 넣어 자동반죽기(Kitchen aid, USA)에서 10분간 반죽하였으며 난백분말을 넣지 않은 것을 대조구(control)로 비교하였다. 신선난백과 시제품 난백분말의 첨가에 대한 변화를 비교하기 위하여 밀가루 300 g에 대하여 신선난백 30 g을 첨가하였고 같은 고형분의 함량이 되도록 시제품 난백분말을 물에 용해시켜 밀가루 반죽을 제조하였다.

#### 다) 국수 제조

완성한 반죽을 비닐봉지에 넣어 1시간동안 실온에서 숙성시킨 다음 제면기(Marcato Atlas pastabike 150, Italy)를 이용하여 국수를 제조하였다. 먼저 롤 간격을 8 mm로 하여 면대를 형성시킨 후 두 면대를 복합하여 롤 간격을 3단계(4.0 mm, 2.8 mm, 2.0 mm)로 점차 감소시키면서 면가닥의 두께를 감소시켜 최종적으로 2.0 mm 굵기와 4 mm 너비의 국수를 제조하였다. 성형된 국수는 약 30 cm의 크기로 절단하여 건조대에서 30시간 자연건조 시킨 후 실험에 사용하였다.

#### 라) 국수의 조리특성

비이커에 300 mL의 증류수를 채운 다음 물이 끓기 시작할 때 국수 20 g을 넣고 20분간 삶은 다음 30초간 흐르는 물에 냉각시켰다. 조리된 국수는 체에서 3분간 방치하여 물을 뺀 무게로 면의 중량을 측정하고 이로부터 수분흡수율을 구하였다. 국수의 부피는 300 mL용 메스실린더에 150 mL의 증류수를 채운다음 삶은 면을 넣고 증가하는 부피로 측정하였다. 각 실험은 3회 반복하였다.

#### 마) 밀가루의 호화특성 및 혼합특성

밀가루의 호화특성에 난백분말이 미치는 영향을 알아보기 위해 Rapid visco analyzer (RVA 3, Newport Inc. Australia)를 사용하였다. 밀가루 3.5 g에 밀가루와

난백분말의 비율이 100:0, 100:2.5, 100:5가 되도록 최적조건 난백분말과 시판 난백분말을 첨가한 후 증류수를 각각 25 mL을 첨가한 후 잘 혼합하여 현탁액을 만들어 사용하였다. 시료를 30℃부터 95℃까지 가열하여 15분간 유지한 후 분당 1.5℃의 속도로 50℃까지 냉각하면서 pasting temperature, peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity 및 setback viscosity 등을 측정하였으며 이들의 단위를 Rapid viscosity unit (RVU)로 나타내었다. 밀가루 반죽 시 혼합특성은 밀가루 297.2g에 난백분말을 비율이 100:0, 100:2.5, 100:5가 되도록 시제품 난백분말을 첨가한 후 증류수를 55 mL 첨가하여 Farinograph (Brabender-Farinograph, Germany)를 사용하여 수분흡수율, 반죽 형성시간, 반죽의 안정도 및 반죽연화도 등을 측정하였다.

#### 바) 국수의 조직감

조리 국수의 조직감은 Texture analyzer (TA-XT2 Stable Micro Systems, UK)를 사용하여 측정하였다. 6분간 삶고 냉각한 면을 3분간 방치한 후 조리면 1가닥을 Texture analyzer의 platform에 올려놓은 다음 직경 25mm의 알루미늄 재질의 원통형 압착 probe를 사용하여 조리면의 표면으로부터 전체 두께의 70% 변형이 일어나도록 2회 반복 압착하여 hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, chewiness, gumminess, resilience등을 20회 반복하여 측정하고 그 평균값으로 나타내었다. 이때 사용된 texture analyzer의 사용조건은 probe test speed 2.0 mm/s, break sensitivity 50 g, trigger force는 50 g 이었다.

### 3) 저장온도 및 저장기간에 따른 난백겔의 물성변화 측정

#### 가) 건조가열

난백의 초기 수분함량을 측정하여 수분이 9%가 되도록 들어가는 물의 양을 미리 계산하여 분무기로 골고루 뿌려주면서 분말이 뭉치지 않게 잘 섞어주었다. 분말내의 수분함량이 평형상태가 되도록 뚜껑을 덮어 수 시간 방치하고 최종적으로 수분함량을 측정하여 확인하고 건조가열시 수분의 증발이 최소가 되도록 zipper lock 용기에 담고 다시 zipper bag에 넣은 후 75℃에서 5일간 건조 가열 하였다.

#### 나) 저장조건

건조가열된 난백분말을 지퍼백에 넣은 다음 20, 30, 40℃의 온도로 조절된 항온기에 넣어 4주간 저장하면서 1주 간격으로 꺼내어 겔을 제조하였다. 냉동조건 (-70℃)에 넣어 저장한 난백분말 시료를 대조구로 사용하였다

#### 다) 난백 겔 제조

각각 다른 온도에서 다른 저장기간동안 저장한 난백시료를 이용하여 겔을 제조하였다. 난백분말 30g에 증류수 150 mL을 homogenizer로 1분간 혼합하였다. 난백액을 desiccator에 펌프를 가동시켜서 뭉쳐진 거품을 건어 낸 후 난백액을 케이싱에 넣고 일정한 두께가 되도록 해서 묶어 80℃의 항온수조에서 40분간 cooking하였다. cooking 후 3시간동안 흐르는 물에 방치 한 후 하루 동안 냉장 보관하였다.

#### 라) 난백겔의 조직감 측정

난백겔의 조직감은 Texture analyser (TA-XT2 Stable Micro Systems, UK)를 이용하였다. 완성된 난백겔을 하루 동안 냉장보관 한 후에 케이싱을 잘 벗겨내고 2 cm 간격으로 일정하게 잘라서 70%의 변형을 주어 TPA test를 하였다. 이때 난백겔의 직경은 36 mm이었다.

#### 마) 난백겔의 색 측정

저장조건에 따른 난백을 이용하여 만든 난백겔의 색변화는 앞서 수리미의 색 측정과 같은 방법으로 관찰하였다.

## 2. 연구개발수행 내용 및 결과

### 가. 처리조건에 따른 난백겔의 물성변화와 조직감 측정 및 달걀단백질의 구조 변화 연구

#### 1) 처리조건 따른 난백겔의 물성 변화

##### 가) pH 변화에 따른 난백겔의 조직감 변화

시판용 분무건조 난백분말과 동결건조 하여 만든 난백분말을 이용하여 겔을 만들어 조직감을 측정하였다. 겔의 제조 시에는 신선난백의 고형분 함량과 동일한 고형분 함량으로는 self-standing 겔을 만드는 것이 불가능했으므로 분말 난백겔의 고형분의 함량을 20%(w/v)로 높여서 사용하였다. 겔의 조직감에 대한 pH의 영향을 알아보기 위해 난백액의 pH를 7, 8, 9, 10으로 조정 한 후 겔을 형성하였다.

난백분말 시료의 pH를 변화시켜 만든 겔의 조직감 특성은 **Table 24**와 같다. 조직감 특성 중 hardness의 pH에 따른 변화는 **Fig. 36**에 나타내었다. 동결건조 난백분말로 형성한 겔(FD)은 pH가 7에서 10으로 증가함에 따라 hardness가 27.5에서 58.11로 선형적으로 유의적 증가를 보였으나 분무건조 난백분말로 제조한 겔(SD)은 pH의 변화에 따른 hardness의 변화가 크지 않았다. FD 시료의 경우 건조 시 가열처리가 없으므로 신선난백과 유사한 양상을 나타낼 것으로 예상할 수 있는데 겔의 형성에 필요한 SH-SS interchange reaction이 중성 pH보다는 알칼리성 pH에서 보다 많이 일어나 더욱 견고한 겔이 형성되는 것으로 생각된다. SD시료의 경우 건조 시 가열처리에 의해 단백질의 변성으로 SH-SS결합이 이미 이루어져 겔의 형성 과정에서의 pH의 영향이 FD시료에 비해 상대적으로 작은 것으로 추측된다.

모든 pH에서 SD겔이 FD 겔보다 높은 hardness, gumminess, 및 chewiness를 나타내었는데 이는 건조 시 가열처리가 난백 단백질들의 결합력을 증가시켜 겔 형성에 도움을 주는 것으로 생각된다. Cohesiveness와 springiness는 각 시료들 간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, chewiness와 gumminess는 pH 9에서 다른 pH에서 보다 약간 큰 값을 나타내었다.

**Table 24. Effect of pH on the texture profiles of freeze-dried and spray-dried egg white gels.**

	Texture profiles					
	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Chewiness (N)	Gumminess (N)	Resilience
Freeze-dried egg white (FD)						
pH 7	89.66	1.02	1.00	91.86	91.86	0.37
pH 8	87.47	1.02	1.00	88.92	88.92	0.41
pH 9	98.81	1.05	1.00	103.81	103.81	0.44
pH 10	84.87	1.05	1.00	88.78	88.78	0.59
Spray-dried egg white (SD, commercial product)						
pH 7	27.52	0.82	1.08	24.27	22.54	0.33
pH 8	42.12	1.09	0.97	44.16	45.63	0.23
pH 9	51.94	1.09	1.00	56.83	56.83	0.29
pH 10	58.11	0.96	1.00	55.94	55.94	0.40

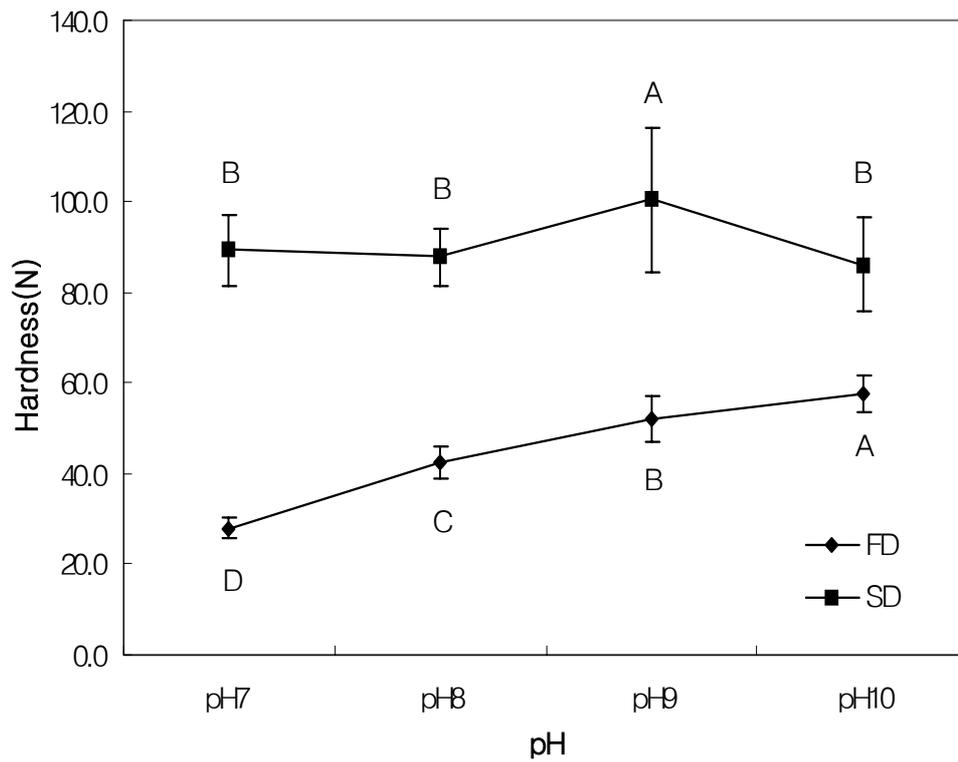


Fig. 36. Effect of pH on the hardness of freeze-dried and spray-dried egg white gels.

FD : Freeze-dried egg white powder,

SD : Spray-dried egg white powder.

#### 나) 염의 첨가에 의한 난백겔의 조직감 변화

두 가지 종류의 염(NaCl, CaCl<sub>2</sub>)을 0.1-0.4 M의 농도로 첨가하여 만든 SD와 FD 난백겔의 TPA의 결과는 **Table 25**와 같다. SD 난백겔의 경우 NaCl을 첨가하였을 경우 CaCl<sub>2</sub>를 첨가하였을 때 보다 높은 hardness와 resilience 값을 나타낸 반면 낮은 chewiness와 gumminess값을 보였다. 염의 농도에 따른 조직감의 변화는 크지 않았으나 NaCl을 0.4 M 첨가하면 급격한 hardness와 chewiness 및 gumminess의 감소를 보였다. FD 난백겔의 경우 염의 종류와 농도에 따른 조직감의 변화는 크지 않았다.

#### 다) 열처리에 의한 난백겔의 파괴강도 변화

가열 처리 시간과 pH에 따른 FD 난백겔의 fracture strain 과 stress의 변화를 **Table 26**에 나타내었다. pH 6에서는 가열 처리 시간이 증가함에 따라 fracture strain과 stress가 유의적으로 증가하였으나 pH가 증가함에 따라 가열처리와 처리시간에 따른 fracture strain과 stress의 변화는 크지 않았다. pH가 증가함에 따라 FD 난백겔의 fracture stress가 대체적으로 증가 하였는데 pH 9에서 가장 큰 값을 보이며 pH 10에서는 약간 감소하였다. 모든 pH에서 FD 난백 겔보다 SD 난백겔의 fracture stress가 유의적으로 큰 값을 나타냈다. pH의 증가에 따른 조직감의 전반적인 변화는 **Fig. 37**과 같이 FD 난백 겔은 pH가 증가할수록 점차적으로 fracture strain과 stress가 증가하여 단단하고 거친 겔로 변화하는 것을 알 수 있다. SD 난백 겔은 FD 난백 겔보다 fracture stress와 strain 값이 큰 것으로 나타났는데 이는 보다 단단하고 거친 조직감 보인다고 생각할 수 있다. 결과적으로 FD 난백에서 열처리보다는 pH의 변화가 겔의 조직감의 변화에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

#### 2) pH 변화와 열처리 시간에 따른 난백용액의 점도 변화

난백 분말 용액의 pH 변화와 가열처리 시간에 따른 점도변화의 결과는 **Table 27**과 같다. 모든 시료의 유동거동지수(n)는 1보다 낮은 값을 나타내어 의가소성 (shear-thinning) 유체의 흐름을 나타내었다. FD 시료보다 SD 시료의 n값이 유의적으로 크게 나타나는데 이는 전단속도의 증가에 따른 점도 감소가 FD 시료의 경우 SD 시료보다 크다는 것을 의미한다. 점조도 지수(K)의 경우, SD 시료가 FD 시료보다 훨씬 작은 값을 보였으며 이는 동결건조 시 적용된 열로 인해 부분적인 구조적 변형으로 인해 용액의 점도가 낮아지는 것으로 사료된다.

**Table 25. Effect of salt concentration on the texture profiles of freeze-dried and spray-dried egg white gels.**

		Texture profiles					
		Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Chewiness (N)	Gumminess (N)	Resilience
Freeze-dried egg white (FD)							
NaCl	0.1 M	38.02	0.89	1.00	33.98	33.98	0.32
	0.2 M	31.05	0.95	1.00	29.49	29.49	0.32
	0.3 M	27.46	0.98	1.00	26.95	26.95	0.30
	0.4 M	34.09	1.02	1.00	34.71	34.71	0.26
CaCl <sub>2</sub>	0.1 M	35.82	1.75	1.00	61.48	61.48	0.18
	0.2 M	36.87	1.83	1.00	67.65	67.65	0.19
	0.3 M	35.74	1.96	1.00	70.12	70.12	0.21
	0.4 M	38.58	1.95	1.00	75.61	75.61	0.21
Spray-dried egg white (SD, commercial product)							
NaCl	0.1 M	89.47	1.09	1.00	97.13	97.13	0.50
	0.2 M	95.78	1.10	1.00	105.13	105.13	0.45
	0.3 M	94.37	1.12	1.00	105.60	105.60	0.42
	0.4 M	35.91	1.30	1.00	46.83	46.83	0.41
CaCl <sub>2</sub>	0.1 M	81.36	1.72	1.00	140.38	140.38	0.34
	0.2 M	80.72	1.74	1.00	140.54	140.54	0.35
	0.3 M	84.26	1.66	1.00	140.39	140.39	0.36
	0.4 M	81.26	1.62	1.00	131.51	131.52	0.37

**Table 26. Effect of pH and heating time on fracture profiles of freeze-dried and spray-dried egg white gels.**

pH	Dry condition	Heating time (min)	Fracture strain (%)	Fracture stress (MPa)
6		Non-heating	30.44	2.50
	FD	30	38.29	2.95
		60	40.77	3.37
	SD	-	66.79	18.17
7		Non-heating	50.29	3.81
	FD	30	55.14	6.11
		60	49.92	4.94
	SD	-	64.83	11.57
8		Non-heating	60.52	7.77
	FD	30	62.22	7.98
		60	59.45	7.19
	SD	-	66.82	15.69
9		Non-heating	66.85	11.40
	FD	30	66.97	12.28
		60	64.98	11.10
	SD	-	65.62	15.70
10		Non-heating	60.54	11.03
	FD	30	59.35	10.05
		60	59.49	9.81
	SD	-	68.82	19.03

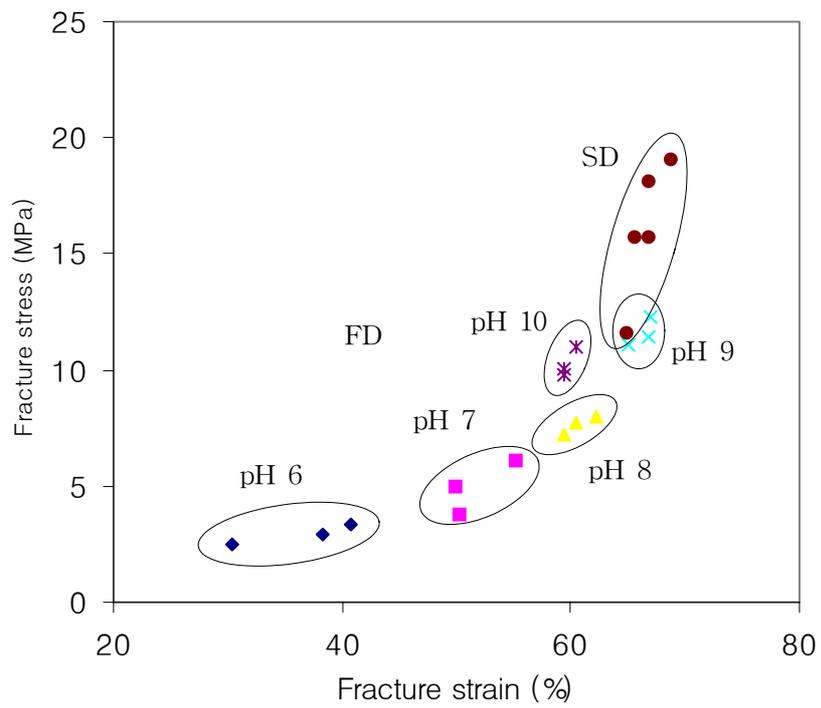


Fig. 37. Textural map of freeze-dried and spray-dried egg white gels at different pH.

**Table 27. Effect of pH and heating time on n and K values of freeze-dried and spray-dried egg white.**

pH	Dry condition	Heating time (min)	n	K
6		Non-heating	0.252	0.532
	FD	30	0.352	0.301
		60	0.344	0.292
	SD	-	0.728	0.013
7		Non-heating	0.420	0.207
	FD	30	0.465	0.189
		60	0.356	0.311
	SD	-	0.729	0.013
8		Non-heating	0.333	0.389
	FD	30	0.475	0.559
		60	0.316	0.409
	SD	-	0.729	0.013
9		Non-heating	0.344	0.358
	FD	30	0.282	0.532
		60	0.294	0.478
	SD	-	0.736	0.013
10		Non-heating	0.333	0.377
	FD	30	0.343	0.349
		60	0.297	0.472
	SD	-	0.701	0.014

FD 시료를 가열 처리하였을 때 가열시간에 따른 점도의 변화를 살펴보면 가열시간 변화에 따른 n값과 K값의 변화에는 뚜렷한 선형적인 증감이 발견되지 않았으며 pH의 변화에 따라서도 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 결과적으로 FD 난백의 60 분간의 가열처리는 난백용액의 점도에는 크게 영향을 미치지 않는다고 생각된다.

### 3) 난백의 pH 조절에 따른 분무건조 난백의 물성 변화

본 실험을 위한 시료는 난백의 pH를 6, 6.5, 7, 8, 9로 조절하여 분무건조 시킨 분말시료와 동결건조 시켜 만든 분말시료를 대조구로 사용하였다.

#### 가) 겔의 조직감 측정

pH를 조절하여 만든 분무건조 난백과 동결건조 시켜 만든 난백을 이용하여 20% 고형분의 겔을 만든 후 TPA를 이용하여 겔의 조직감을 측정된 결과는 **Table 28**과 같다. 분무건조 난백의 경우 pH가 증가할수록 hardness가 선형적으로 감소하였고 cohesiveness와 springiness는 큰 변화가 없었다. 동결건조 난백과 비교할 때 분무건조에 의한 난백겔의 hardness, chewiness 및 gumminess가 높았다. 이는 분무건조 시 가열로 인해 단백질의 구조가 부분적으로 unfolding 되고 disulfide 형성이나 SH-SS interchange에 의한 단백질간의 interaction이 강화되어 gelling properties를 향상시키는 것으로 사료된다. 분무건조 난백겔의 hardness는 pH가 증가함에 따라 감소하였는데 이러한 결과는 앞서 언급한 분무건조 용액의 pH 증가에 의한 겔의 hardness 변화와는 반대의 경향이었다. 이러한 결과는 난백의 pH가 증가할수록 단백질의 aggregation으로 인해 단백질의 용해도가 감소하는데 이로 인해 분무건조 시 단백질의 구조적 변화가 일정하게 일어나지 않으므로 겔을 형성할 때 구조가 불균일하게 되거나 network을 형성하는 능력이 감소되어 견고성을 감소시켰다고 사료된다. pH 6의 경우 75%이상의 변형에도 겔이 파괴되지 않았으며 pH가 증가할수록 fracture stress와 elasticity가 감소하는데(data not shown) 이러한 결과는 통해 large-strain 실험에서 겔의 구조가 난백의 pH를 조절함으로써 변한다는 것을 입증한다. 결과적으로 난백의 pH를 조절할 경우 겔을 형성하는 network의 구조를 변화시켜 분말난백 겔의 조직감을 변화시킬 수 있음을 알 수 있었다.

**Table 28. Effect of pH on texture profiles of spray-dried egg white gels.**

	Texture profiles					
	Hardness (N)	Cohesiveness	Springiness	Chewiness (N)	Gumminess (N)	Resilience
FD-EW <sup>1)</sup>	51.94	1.09	1.00	56.83	56.83	0.29
pH 6.0	79.54	1.03	1.00	81.66	81.66	0.54
pH 6.5	69.38	1.03	0.99	71.08	71.09	0.35
pH 7.0	63.45	1.06	1.00	67.31	67.31	0.41
pH 8.0	61.39	1.02	1.00	62.58	62.58	0.42
pH 9.0	52.25	1.38	1.00	72.38	72.38	0.25

<sup>1)</sup> Freeze-dried egg white.

#### 나) 난백의 점도

난백의 pH를 조절한 후 분무건조 하여 만든 시료의 점도 결과는 **Table 29**와 같다. 모든 pH에서 유동거동지수(n)는 1보다 낮은 값 (0.28-0.38)을 나타내어 의가소성 (shear-thinning) 유체의 흐름을 나타내었다. pH 6.5로 조절하여 만든 시료 용액의 K값이 0.436으로 제일 높았으며 n값이 0.28로 가장 낮았다. 하지만 pH의 조절로 인한 n값과 K값은 pH의 변화에 따른 선형적인 증감의 경향을 보이지 않았으나 앞에서 설명했던 시판 SD난백의 K값과 n값과는 큰 차이를 보였다.

#### 다) 난백의 열적특성 비교

분말 난백의 열적 특성 변화를 DSC로 측정한 결과는 **Table 30**과 같다. 일반적으로 분말 난백 단백질은 두개의 뚜렷한 endothermic peak를 보이는데 이는 ovotransferrin과 ovalbumin의 변성에 의한 것이다. 다른 연구논문의 peak 온도보다 peak 1은 약간 높게 측정되었고 peak 2는 약간 낮게 측정이 되었다. 이러한 차이는 시료의 농도 차이 및 실험 환경에서 기인한 것으로 추정된다. pH 8과 pH 9의 시료는 60°C 부근의 peak 1은 나타나지 않았다. pH의 변화에 따른  $T_d$ 의 변화는 크지 않았지만 pH가 증가함에 따라  $\Delta H$ 값은 유의적으로 감소하였다. 단백질이 부분적으로 folding 변형되어있는 molten globule state는 엔탈피를 증가시키는 경향이 있는데 신선난백의 pH를 감소시킬수록 용해도가 증가되어 분무건조 때 보다 많은 molten state로의 변형을 가져와 높은 엔탈피 값을 보인다고 사료된다.

#### 라) 난백의 2차 구조변화 비교

분무건조 하여 만든 분말 난백의 2차 구조변화에 대한 pH의 영향을 알아보기 위한 CD 분석의 결과는 **Fig. 38**과 같다. 난백의 pH를 6, 6.5, 7, 8, 9로 조절한 후 분무건조를 통해 만들어진 난백 분말과 대조구로서 전 처리 없이 동결건조 하여 제조한 난백 분말을 비교하였다. Hagolle(1998)에 의하면 난백단백질은 213 nm와 222 nm에서 뚜렷한 두개의 peak를 보이는데 이는 각각  $\beta$ -sheet와  $\alpha$ -helical 구조를 나타낸다고 하였다. **Fig. 38**과 같이 pH 6.5와 7.0의 경우 222 nm에서의 ellipticity가 다른 시료와 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보이는데 이는 helical 2차 구조가 감소함을 의미한다.

**Table 29. Effect of pH on viscosity of spray-dried egg white solutions.**

pH	n	K
6.0	0.339	0.332
6.5	0.280	0.436
7.0	0.322	0.348
8.0	0.388	0.254
9.0	0.379	0.254

**Table 30. Thermal characteristics of egg white powder produced after pH adjustment.**

pH	T <sub>d</sub> (°C)		ΔH (J/g)
	Peak 1	Peak 2	
FD-EW <sup>1)</sup>	66.06	78.31	3.68
pH 6.0	67.82	76.85	2.48
pH 6.5	67.89	77.83	2.12
pH 7.0	66.46	77.54	1.43
pH 8.0	-	78.09	1.03
pH 9.0	-	76.71	0.79

<sup>1)</sup> Freeze-dried egg white.

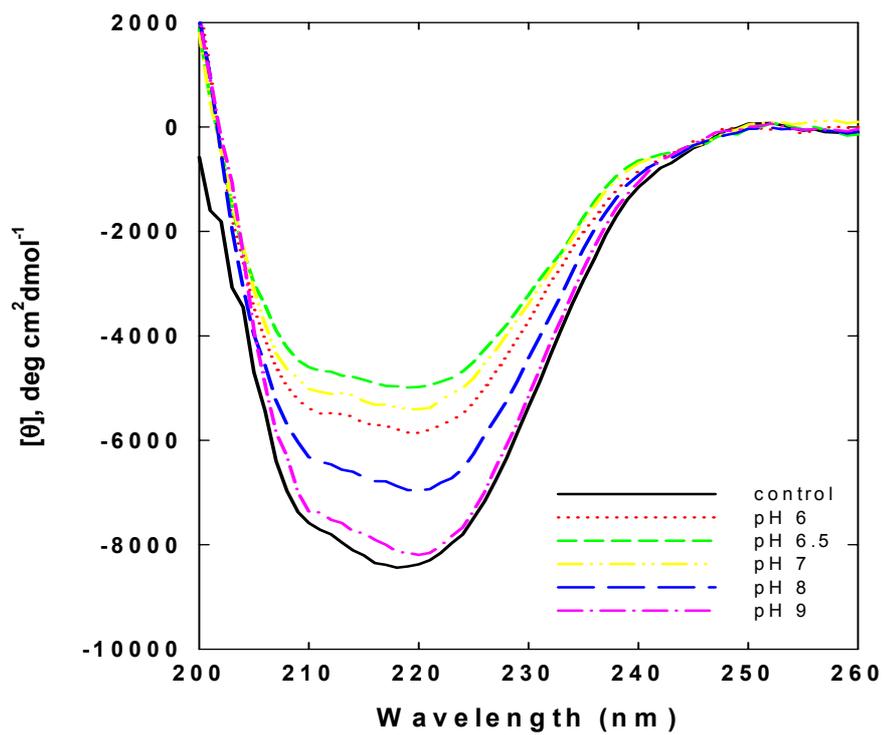


Fig. 38. Circular dichroism spectra of egg white powder produced after pH adjustment.

$\alpha$ -helical 구조의 감소는 단백질의 소수성 잔기가 표면으로 노출됨에 따라 나타난다. 이러한 2차 구조의 변화는 이화학적 기능 특성의 변화를 야기할 것으로 판단된다. 또한,  $\beta$ -sheet 구조를 통한 intermolecular 수소결합은 강하고 안정적인 겔 네트워크를 구성할 수 있다고 보고되었다. (Kato et al, 1990)

#### 마) 난백겔의 미세구조 관찰

난백의 pH 변화가 분무건조 후 난백 분말 용액으로 만들어진 겔의 미세구조에 어떠한 영향을 미치는가를 조사하기 위해 전자주사현미경(SEM)을 이용하여 미세구조를 관찰하였다. 20%의 난백 분말 용액을 이용하여 만든 겔을 동결건조 하여 탈수시킨 경우 동결건조 된 겔의 구조가 별집구조로 graded ethanol을 이용한 dehydration 방법에 의한 겔의 구조와는 다른 양상을 나타냈다. **Fig. 39**에서 보는 바와 같이 모든 시료는 3차원적인 망상구조의 형태를 보이는데 pH가 증가함에 따라서 망상구조의 pore size는 감소하고 치밀해졌으며 망상구조의 network 골격은 얇아지는 것이 관찰 되었다. 이러한 구조적 차이가 겔의 조직감의 차이를 일으킬 수 있으며 pH의 변화에 따라 작아진 pore 크기와 약해진 망상구조의 골격으로 인해 겔의 물성에서 낮은 hardness와 fracture stress 및 elasticity를 나타낸다고 추정된다.

#### 나. 전처리 및 분말화 조건에 따른 난백겔의 조직감 변화 측정 및 고기능성 분말 생산을 위한 최적 처리조건 설정

##### 1) 처리조건 따른 난백겔의 조직감 변화

##### 가) 분무건조 시 건조온도의 변화

분무건조 시 건조온도를 변화시켜 제조한 난백분말로 난백겔을 만들어 그들의 조직감의 변화를 조사하였다. 건조온도가 55℃에서 70℃로 증가함에 따라 겔의 강도(hardness)는 75 N에서 97 N으로 유의적으로 증가하였다. 70℃이상의 온도로 건조 시 겔의 강도는 점차로 감소하는 경향을 보였다 (**Table 31**). 겔의 응집성(cohesiveness)의

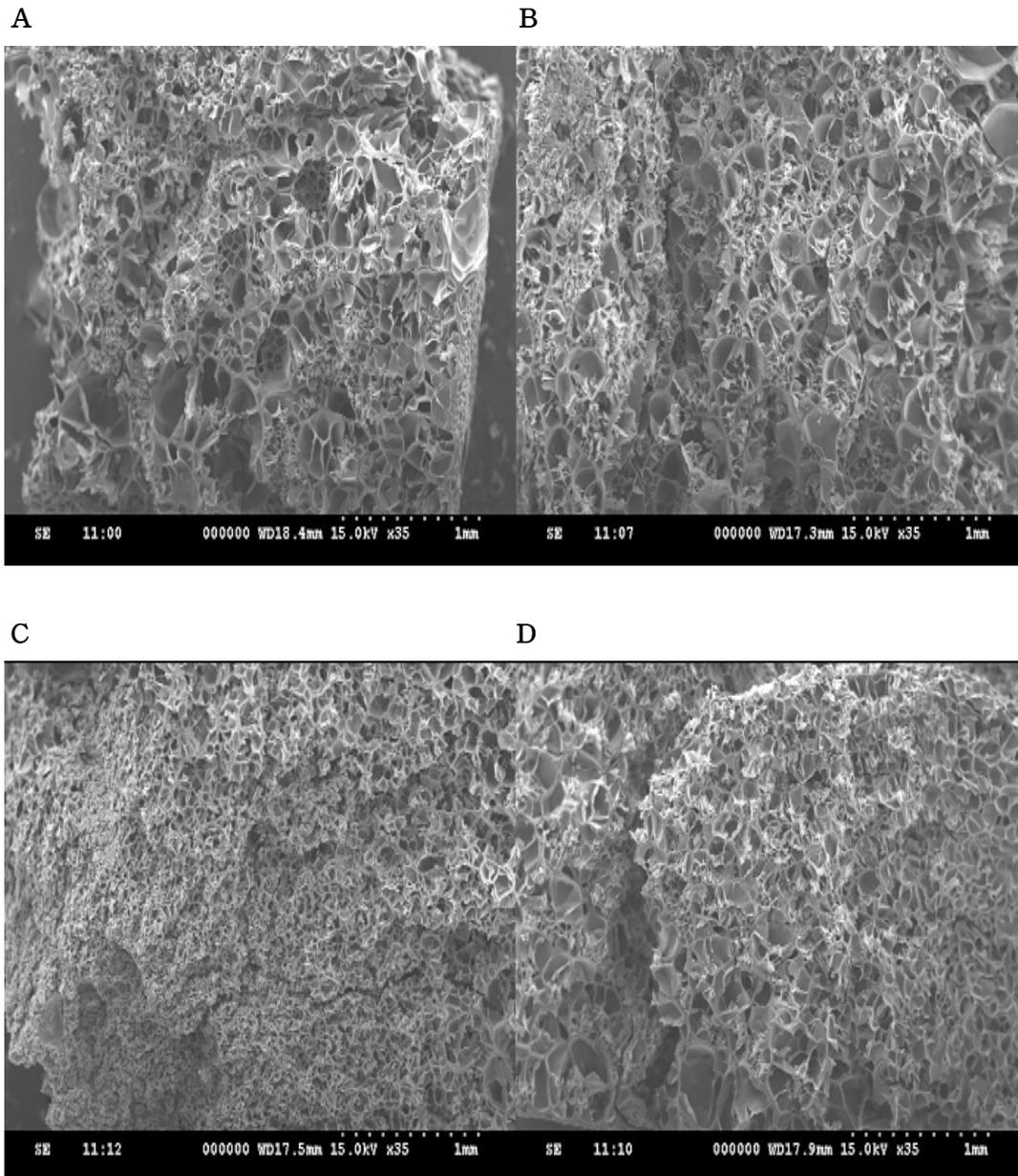


Fig. 39. Scanning electron microgram of gels produced from pH adjusted egg white powder.

A: pH 6, B: pH 7, C: pH 8, D: pH 9.

**Table 31. The effect of spray drying temperature on texture profiles of egg white gels.**

Drying temperature (°C)	Hardness (N)	Cohesiveness	Chewiness (N)	Gumminess (N)	Resilience
55	75.44 ± 6.96	0.88 ± 0.07	66.45 ± 6.59	66.4 ± 6.59	0.39 ± 0.03
60	85.04 ± 6.06	0.95 ± 0.01	81.00 ± 5.67	81.04 ± 5.66	0.38 ± 0.17
65	92.58 ± 4.52	0.98 ± 0.2	90.43 ± 5.73	90.41 ± 5.73	0.46 ± 0.12
70	97.46 ± 5.92	0.98 ± 0.01	95.78 ± 5.95	95.78 ± 5.95	0.47 ± 0.12
75	90.85 ± 6.44	0.99 ± 0.03	90.16 ± 5.57	90.16 ± 5.57	0.51 ± 0.02
80	86.94 ± 3.69	1.01 ± 0.03	87.48 ± 4.21	87.48 ± 4.24	0.52 ± 0.01
85	98.92 ± 10.08	1.01 ± 0.02	99.87 ± 10.39	99.87 ± 10.39	0.52 ± 0.02

경우 건조온도가 증가함에 따라서 약간 증가하는 경향을 보였으며, 겔의 복원성(resilience) 또한 비슷한 경향을 보였다. 겔의 씹힘성(chewiness)과 검성(gumminess)은 겔의 강도와 응집성 및 탄력성의 복합적 조직감이므로 이들의 변화경향은 강도와 비슷하였다. 이러한 결과로 볼 때, 겔의 여러 조직감은 난백 분말을 제조할 때의 분무 건조 온도를 조절함에 의해서 변화시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 각각의 조직감에 대하여 최대의 값을 나타내는 건조온도가 존재하며 이러한 조건의 조합을 잘 이용하면 원하는 조직감을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

#### 나) 분무건조 전 난백액의 열처리 효과

분무건조 전 난백액을 50℃의 항온수조에서 1시간 동안 열처리한 후 다양한 건조온도에서 제조된 난백 분말 겔의 조직감 특성을 조사한 결과는 **Table 32**와 같으며 유의적인 차이를 보이지 않은 조직감 특성은 생략하였다. 분무건조 온도가 65℃일 때 건조 전 난백액을 가열처리한 시료로 겔을 만들 경우 가열처리 하지 않은 시료보다 겔의 강도가 유의적으로 증가하였다. 그러나 분무건조의 온도가 높아짐에 따라서 건조 전 난백액의 가열처리가 오히려 난백겔의 강도를 감소시키는 결과를 나타냈다. 이는 난백액을 50℃의 낮은 온도로 가열처리 시 약간의 난백 단백질의 구조를 변화시켜 낮은 온도로 분무 건조할 경우 두드러진 겔의 강도 증가를 보이지만 상대적으로 높은 온도로 분무건조 할 때는 건조 전 낮은 열처리는 겔의 강도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

분무건조 전 가열처리를 하지 않은 시료는 분무건조 온도가 증가함에 따라 겔의 강도가 증가하였고 이와는 반대로 가열처리를 한 시료는 분무건조 온도가 증가함에 따라서 감소되는 경향을 보였다. 그러므로 난백겔의 강도를 증가시키기 위해서는 분무건조기의 송풍 온도를 증가시키거나, 분무건조 전 낮은 온도(50℃)로 열처리 후 분무건조 온도를 낮게 조절하는 방법을 이용할 수 있다. 분무건조 시 온도가 낮을수록 건조 후 난백의 여러 단백질의 변형을 감소시켜 원래 난백의 기능성을 유지시킬 수 있기 때문에 열처리를 하여 낮은 온도에서 건조시킴으로서 기능적으로 우수한 난백분말을 제조할 수 있다고 생각할 수 있다.

Table 32. The effect of pre-heating for egg white on texture profiles of egg white gels at pH 6.5.

Samples	Drying temperature (°C)	Hardness (N)	Chewiness (N)	Resilience
Control (No heating)	65	51.9 ± 2.7	54.70 ± 2.8	0.28 ± 0.01
	75	68.2 ± 4.4	70.99 ± 6.2	0.28 ± 0.01
	80	70.1 ± 2.6	75.06 ± 2.9	0.26 ± 0.01
Heated at 50°C prior to drying	65	77.02 ± 2.2	79.56 ± 3.2	0.27 ± 0.01
	75	60.03 ± 1.6	59.46 ± 2.5	0.32 ± 0.01
	80	62.73 ± 3.2	65.92 ± 1.1	0.28 ± 0.01

#### 다) 분무건조 후 난백 분말의 건조가열 효과

상업용 분무건조 난백 분말을 건조 가열시킨 후 겔의 조직감의 변화를 **Table 33**에 나타내었다. 건조가열을 하지 않은 겔은 74 N의 hardness와 1.49의 cohesiveness를 보였다. 3 일 동안의 건조가열후의 겔의 강도는 117 N으로 유의적으로 증가하였으며 겔의 cohesiveness는 1.40으로 감소하였다. 건조가열 시간이 증가함에 따라 겔의 강도는 증가하여 10일 동안 건조 가열시켜 만든 시료의 겔 강도는 130 N으로 건조가열하지 않은 시료의 강도보다 75% 증가한 값을 나타냈다. 겔의 cohesiveness는 점차 감소하여 건조가열 10 일 시료의 cohesiveness는 1.38이었다. 겔의 chewiness와 gumminess는 건조가열 시간이 증가함에 따라 증가하였으며 겔의 resilience도 같은 변화를 보였다. 이와 같은 결과는 분무건조 후에 시료를 건조가열시킴으로서 겔의 조직감을 크게 향상시킬 수 있으며 이는 건조가열 처리가 난백 단백질의 결합력을 증가시켜 겔 형성에 도움을 주기 때문인 것으로 생각된다.

### 2) 반응표면 분석법을 이용한 최적의 분무건조 조건 확립

#### 가) 난백겔의 강도(Hardness)

앞서 pH와 분무건조 온도의 변화 그리고 건조가열에 따른 난백겔의 조직감을 측정된 결과 pH와 분무건조에 따라서 겔의 강도가 변함을 알 수 있었다. 난백겔의 강도에 미치는 난백액의 pH와 분무건조 온도의 영향을 반응표면 분석법으로 분석한 결과 겔의 hardness에 대하여 높은 상관관계 ( $R^2=0.89$ )를 보였으며 **Fig. 40**에 나타낸 바와 같이 반응 표면의 최대지점, 즉 최대의 겔의 강도를 얻을 수 있는 최적의 조건은 pH 8.23과 분무건조 온도 66.38°C으로 나타났다. 특히, 최적의 pH 이하로 pH가 감소할 경우 급격히 겔의 강도가 감소하는 것이 관찰 되었으며 온도의 변화에 따른 감소는 이보다 적은 것으로 나타났다. 따라서 분무건조에 의해 건조된 난백의 물성, 특히 겔의 강도에 있어서는 분무건조 전의 난백액의 pH 조절이 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 pH의 변화가 단백질 전하를 변화시킴으로서 건조과정 중에 일어나는 단백질 변성에 대한 민감성을 변화시켜 건조 후 난백 분말의 물성에 영향을 미친다고 생각된다.

**Table 33. The effect of dry heating time on texture profiles of commercial egg white powder.**

Dry heating time (day)	Hardness (N)	Cohesiveness	Chewiness (N)	Gumminess (N)	Resilience
0	74.34 ± 2.66	1.49 ± 0.00	110.84 ± 3.73	110.84 ± 3.71	0.232
3	116.75 ± 5.41	1.40 ± 0.04	163.40 ± 11.48	163.39 ± 11.48	0.240
5	115.73 ± 5.82	1.39 ± 0.05	161.60 ± 9.97	161.60 ± 9.97	0.246
7	125.83 ± 1.07	1.30 ± 0.01	163.78 ± 1.88	163.78 ± 1.88	0.250
10	130.37 ± 0.48	1.38 ± 0.02	181.05 ± 2.08	181.04 ± 2.08	0.250

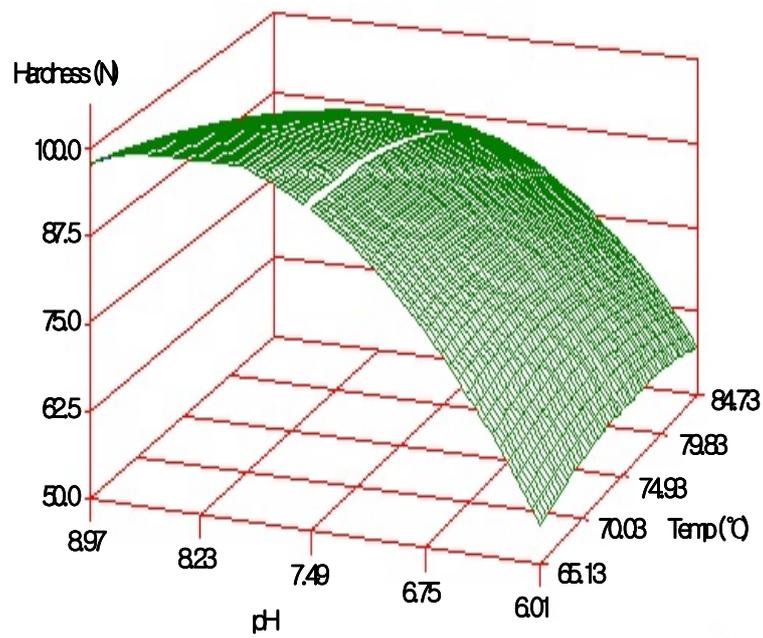


Fig. 40. Response surface plot for hardness of egg white gels.

### 나) 난백겔의 탄력성(resilience)

난백겔의 resilience에 미치는 난백액의 pH와 분무건조 온도의 영향을 반응 표면 곡선으로 나타내었다(Fig. 41). 이 경우도  $R^2$ 가 0.97로 높은 상관관계를 보였으며 이러한 결과 겔의 탄력성에 pH와 분무건조 온도는 크게 영향을 미치며 최적의 값은 각각 8.57과 81.8°C이다. 그러므로 겔의 탄력성을 높이기 위해서는 겔의 강도에 대한 최적의 pH 부근의 pH와 강도에 대한 최적의 온도보다는 높은 분무건조 온도를 사용해야 함을 알 수 있다.

### 다) 난백겔의 응집성 (cohesiveness)

난백겔의 응집성에 미치는 난백액의 pH와 분무건조 온도의 영향을 반응표면 곡선으로 나타내었다(Fig. 42). 응집성의 경우도  $R^2$ 가 0.95로 높은 상관관계를 보였다. 겔의 응집성에 미치는 pH와 분무건조 온도를 그림에서 살펴보면 pH에 대해서는 최소값을 갖는 곡선을 보이며, 건조온도에 대해서는 완만하게 증가하는 경향을 나타냈다. 그 결과 최대 응집성을 나타내는 최적의 pH와 건조온도는 각각 pH 6.01과 75.2°C이다. 이는 겔의 응집성을 위해서는 pH를 크게 감소시켜야 함을 알 수 있다.

위에서 세 가지 겔의 조직감에 대한 pH와 분무건조 온도의 영향을 살펴본 결과 각각의 조직감의 향상을 위한 최적의 조건이 모두 다르게 나타났으며 이는 분무건조 시 조건의 조절로 선택적인 조직감의 향상이 가능하며 소비자의 기호에 맞는 분말 제조가 가능함을 시사한다. 또한 반응표면 분석으로 얻어진 겔 강도를 극대화하기 위한 최적 조건에서 난백 분말을 다시 제조하고 제조된 난백 분말의 겔 강도를 확인하여 본 결과 104.9 N으로 나타나 최적 반응 예측치(100 N)와 매우 유사한 값을 나타내었다. 그러므로 통계적 모형으로 예측한 최적반응 조건이 타당한 것으로 판단된다.

## 3) 처리조건에 따른 난백의 구조변화 관찰

### 가) Circular dichroism (CD)

분무건조 시 pH를 6.5로 고정하고 분무건조 온도를 달리하여 만든 난백 분말의 2차 구조 변화를 조사하기 위하여 CD 분석을 실시한 결과는 Fig. 43과 같다. 그림에서 나타낸 바와 같이 분무건조 온도가 50°C와 80°C인 경우 peak의 크기와 wavelength가 거의 유사하였고 분무건조 온도가 75°C인 경우에 peak wavelength가 240에서 242 nm로

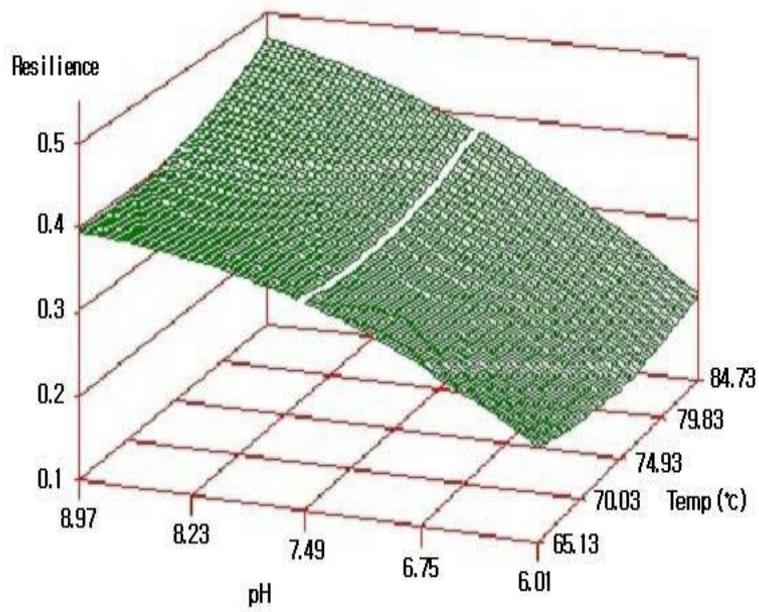


Fig. 41. Response surface plot for resilience of egg white gels.

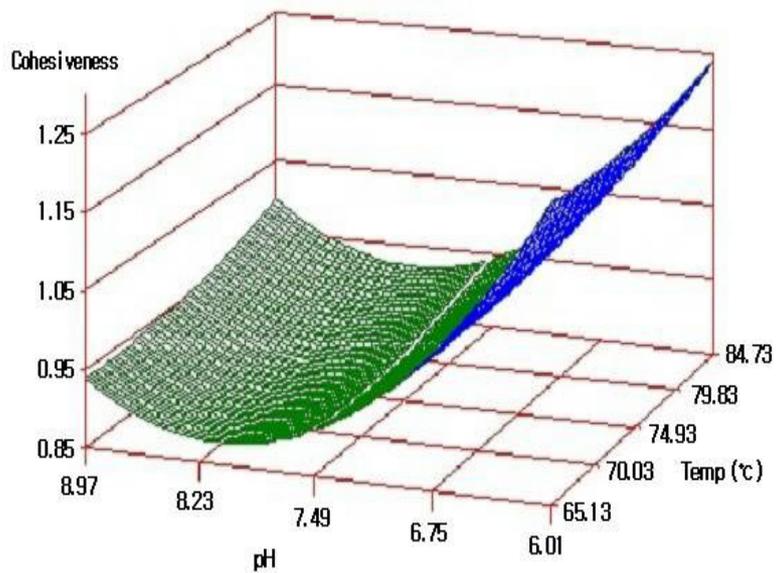


Fig. 42. Response surface plot for cohesiveness of egg white gels.

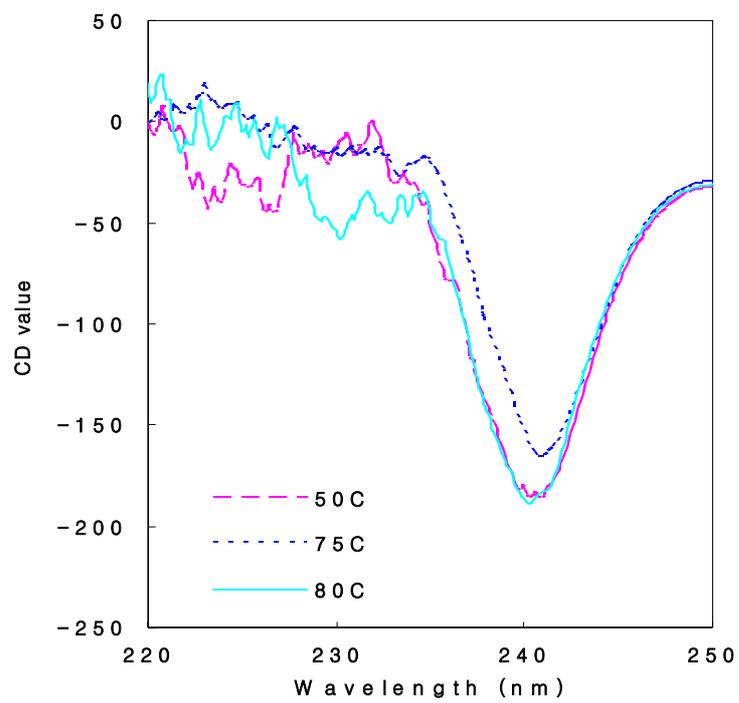


Fig. 43. Circular dichroism spectra of egg white powder produced at different heating temperature.

약간 증가하였으며 CD value도 크게 감소하였다. 그러므로 분무건조의 온도에 따라서 난백단백질의 결정구조가 변화하는데 건조온도 75°C의 경우에  $\alpha$ -helix의 양이 가장 감소하였음을 알 수 있다.

**Fig. 44**는 분무건조 전에 난백액의 pH와 분무건조 온도가 분말 난백의 구조 변화에 미치는 영향을 보여준다. pH 9인 시료의 경우 peak가 가장 큰 CD value를 보이고 가장 낮은 wavelength에서 얻어진다. pH가 감소함에 따라서 peak wavelength는 증가하고 CD value도 감소하여 pH 6, 75°C의 시료가 가장 낮은 CD value와 가장 높은 peak wavelength를 보인다. 그러므로 pH가 감소할수록  $\alpha$ -helix의 양이 감소함을 알 수 있었으며 이는 앞서 보았던 결과와 동일한 경향이었다. pH를 7.5로 고정하고 분무건조 온도가 증가할수록 peak의 CD value가 감소하고 wavelength가 증가하였으며 pH를 6.44와 8.6으로 고정하고 온도를 증가시키는 경우에는 peak의 CD value는 증가하고 wavelength는 감소하여 반대의 경향을 보인다. 이러한 결과는 pH에 따라서 분무건조 온도가 난백단백의 구조에 미치는 영향이 달라짐을 의미하며 pH와 분무건조의 조합에 따라 다른 구조의 변화를 야기함을 알 수 있다.

#### 나) Powder x-ray diffractometry

분무건조 온도를 달리하고 pH를 7.5로 고정시켜 만든 난백 분말과 순수한 ovalbumin의 x-ray diffractometry pattern을 **Fig. 45**에 나타내었다. 난백의 약 54%를 차지하는 단백질인 ovalbumin의 pattern을 보면 2 $\theta$  scale이 20°부근에서 피크를 나타내고 있다. 순수한 ovalbumin과 직접 비교하기는 무리가 있으나 분무 건조시킨 난백 분말은 비슷한 2 $\theta$  범위에서 훨씬 큰 peak를 보임으로 분무건조 시에 분말의 crystallinity가 크게 변화함을 알 수 있다.

#### 다) 분무건조 후 난백분말의 건조가열 효과

반응표면 분석법에 의해서 얻어진 난백의 거품 생성능, 안정성, 그리고 겔의 강도에 최적의 pH와 분무건조 온도를 이용하여 만들어진 시료를 건조가열시킨 후 겔의 여러 가지 조직감의 변화를 **Table 34**에 나타내었다.

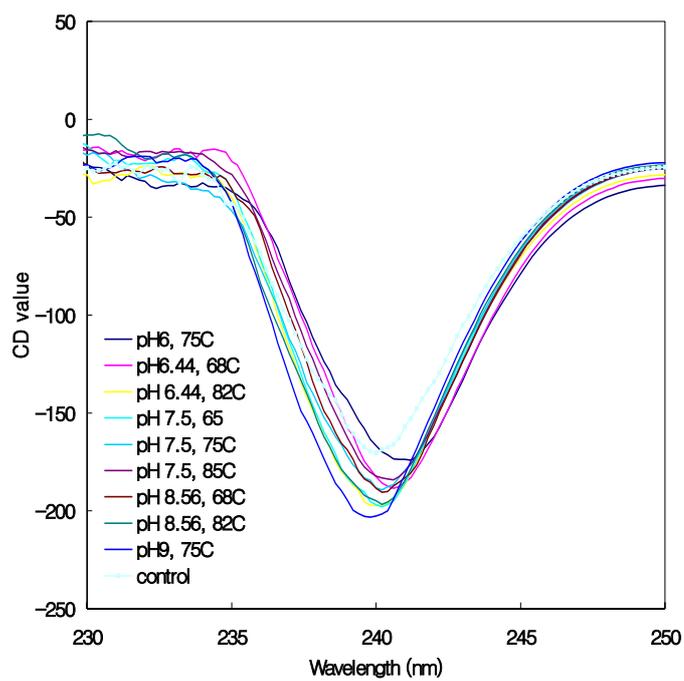


Fig. 44. Circular dichroism spectra of egg white powder produced at different heating temperature and pH.

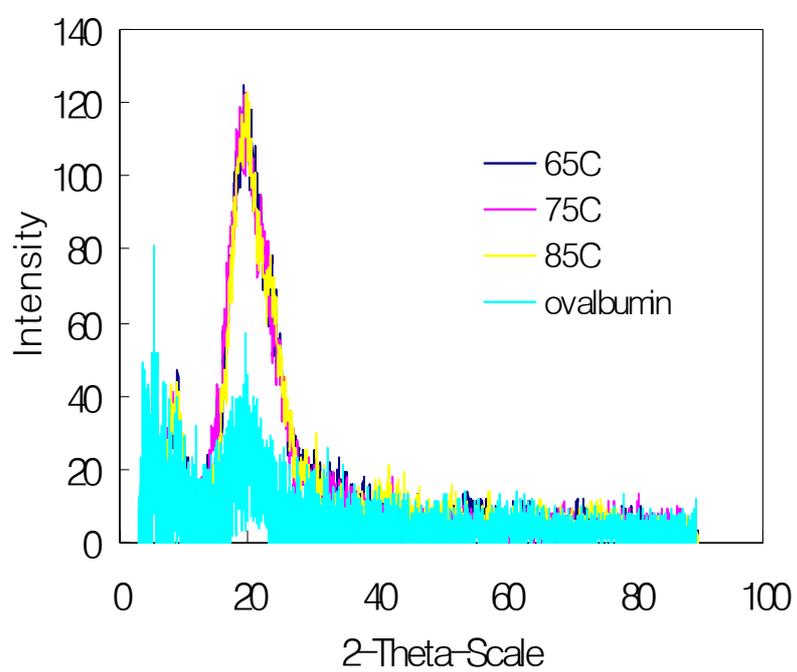


Fig. 45. X-ray diffraction patterns of spray dried egg white powders and ovalbumin.

**Table 34. The effect of dry-heating on texture profiles of their gels produced from optimized conditions.**

Sample	Dry heating (day)	Hardness (N)	Gumminess (N)	Resilience
pH 6.23	0	61.94 ± 1.10	80.73 ± 2.29	0.21 ± 0.02
	3	102.36 ± 1.31	113.03 ± 3.33	0.27 ± 0.01
	5	124.45 ± 1.47	129.59 ± 4.26	0.29 ± 0.02
	7	148.72 ± 2.29	146.79 ± 0.70	0.30 ± 0.01
pH 8.07	0	93.72 ± 0.45	86.46 ± 2.73	0.34 ± 0.00
	3	162.17 ± 4.10	160.56 ± 2.01	0.48 ± 0.03
pH 8.24	0	104.92 ± 3.54	96.93 ± 2.95	0.36 ± 0.01
	3	173.06 ± 2.37	169.50 ± 6.21	0.52 ± 0.01

pH 6.23의 시료는 건조가열 전 겔의 강도가 62 N에서 건조가열 시간이 3, 5, 7일로 증가함에 따라 각각 102 N, 124 N, 그리고 149 N으로 급격히 증가하였다. 이는 각각 65%, 100%, 140%가 증가한 값이다. 이와 마찬가지로 pH 8.07과 8.24의 시료도 건조가열 3일 후 겔의 강도가 각각 73%, 65%의 급격한 증가를 보였으나 그 이후의 건조가열에서는 겔의 제조 시 degasing 과정에서 거품이 제거되지 않아 겔을 제조할 수가 없었다. 겔의 다른 조직감도 건조가열의 시간이 증가함에 따라 증가하였다. 결과적으로 건조가열을 통해 겔의 모든 조직감의 향상을 가져올 수 있으며 또한 건조가열 시간이 증가함에 따라 더욱 증가하였다. 그러나 분무건조 시 난백액의 pH에 따라서 건조가열을 통해 겔의 조직감의 향상을 가져올 수 있는 건조가열 시간에 제한이 따fms다는 것을 알 수 있다.

#### 라) 탈당효과

분무건조 전 탈당이 건조 후 난백겔의 조직감에 미치는 영향에 대한 결과는 **Table 35**에 나타내었다. 탈당한 후의 조직감은 탈당전의 조직감과 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러므로 난백에 들어있는 당은 겔의 조직감에 큰 영향을 미치지 않으며 단지 건조가열 시 난백의 색깔 변화에만 관여함을 알 수 있다.

### 다. 난백분말을 이용한 시제품의 물성 및 조직감 평가 및 저장기간에 따른 난백겔의 물성변화 연구

#### 1) 시제품 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 물성 및 조직감 측정

##### 가) 시제품 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 조직감 특성

수리미의 제조시에는 걸착력을 높이고 겔 강도를 증가 시키기 위해 난백분말을 첨가하기도 한다. 보통 전체 수리미 중량의 1-5% 정도의 난백분말을 첨가하므로 시중에 유통되는 시판용 난백분말과 gel 형성용 최적조건에서 제조된 시제품 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 조직감을 TPA 방법을 이용하여 비교 분석하였다 (**Table 36**). 난백분말을 넣지 않은 수리미(control)의 hardness는 51.2 N을 나타내었고 시판용과 최적조건서 생산된 난백분말을 첨가한 수리미의 hardness는 각각 83.2 N과 81.8 N으로

**Table 35. The effect of desugarization on texture of egg white gels.**

Sample	Hardness (N)	Gumminess (N)	Resilience
Control	98.92 ± 10.1	99.87 ± 10.39	0.52 ± 0.02
Desugarization	104.53 ± 4.0	96.87 ± 4.87	0.38 ± 0.00

**Table 36. Changes in texture profiles of surimi by the addition of egg white powder.**

	Hardness (N)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Resilience
Control	51.2±1.05 <sup>b</sup>	-0.88±0.19 <sup>a</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>	0.62±0.058 <sup>b</sup>	31.9±2.79 <sup>b</sup>	26.06±2.91 <sup>b</sup>	0.32±0.04 <sup>b</sup>
C-EWP <sup>1)</sup>	83.2±3.24 <sup>a</sup>	-0.98±0.03 <sup>a</sup>	0.84±0.02 <sup>a</sup>	0.73±0.006 <sup>a</sup>	60.9±1.97 <sup>a</sup>	50.88±1.08 <sup>a</sup>	0.39±0.01 <sup>a</sup>
O-EWP <sup>2)</sup>	81.8±1.99 <sup>a</sup>	-0.68±0.31 <sup>a</sup>	0.86±0.02 <sup>a</sup>	0.74±0.006 <sup>a</sup>	60.4±1.04 <sup>a</sup>	51.64±0.81 <sup>a</sup>	0.39±0.01 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a,b</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

난백분말을 첨가한 수리미의 hardness가 유의적으로 증가하였다. 하지만 시판용 난백과 최적난백을 첨가한 수리미의 hardness는 유의적으로 차이를 보이지 않았다. 또한 수리미의 탄력성을 나타내는 척도인 springiness와 resilience는 난백을 첨가할 경우 0.82에서 0.84-0.86 (springiness), 0.32에서 0.39(resilience)로 유의적으로 증가하였다. 그러므로 난백분말의 첨가는 수리미의 탄력성을 크게 증대시킨다고 볼 수 있다. 다른 TPA profile (cohesiveness, gumminess, chewiness)들도 난백분말을 첨가하였을 때 유의적으로 증가하였는데 시판난백과 최적난백간의 유의적인 차이는 볼 수 없었다.

이와 같은 결과는 여러 문헌에서 제시된 결과와 일치하는 것으로 수리미의 강도와 탄력성 및 검성, 씹힘성 등을 증대시키기 위해서는 수리미 제조 시 난백 분말을 첨가하는 것이 유리할 것으로 보인다. 결과적으로 본 과제에서 수립된 겔강도를 위한 최적조건에서 생산된 난백분말은 순수한 난백겔의 강도도 우수할 뿐만 아니라 수리미의 첨가물로서도 어육 근섬유 단백질들의 겔 형성을 도와 수리미의 여러 조직감의 향상을 가져온다는 것이 확인되었다.

**Table 37**은 수리미를 부서뜨리는데 필요한 힘과 거리를 나타낸 fracture test 결과이다. 대조구의 경우 fracture시 소요된 최대 힘과 거리는 52.71 N과 8.9 cm였으며 시판용 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 경우 각각 154.53 N, 11.43 cm, 난백시제품을 첨가하여 만든 수리미의 경우는 각각 149.16 N, 11.34 cm로 유의적으로 증가하였다. 그러나 난백분말간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 이는 위의 TPA에서 나타난 결과와 동일한 양상이며 3%의 난백분말의 첨가만으로도 수리미의 조직감을 크게 변화시킬 수 있는 것으로 나타났다.

#### 나) 난백분말의 첨가에 의한 수리미 색도 변화

난백분말을 넣지 않은 수리미(control)와 시판용 난백분말과 시제품 난백분말을 첨가하여 만든 수리미의 색변화는 **Table 38**에 나타내었다. 일반적으로 수리미의 색은 높은 lightness(L\*), 낮은 yellowness(+b\*)와 높은 whiteness(W)를 요구한다 (Hsu and Chiang, 2002). Control의 경우 L\* 값이 81.15이며 시판용 난백분말을 첨가한 수리미의 경우 L\*값은 81.68, 난백시제품을 첨가한 수리미의 경우 L\*값은 80.06을 나타내었다.

**Table 37. Changes in fracture force and distance of surimi by the addition of egg white powder.**

	Hardness (N)	Distance (cm)
Control	52.71 ± 0.436 <sup>b</sup>	8.90 ± 0.508 <sup>b</sup>
C-EWP <sup>1)</sup>	154.53 ± 2.563 <sup>a</sup>	11.43 ± 0.346 <sup>a</sup>
O-EWP <sup>2)</sup>	149.16 ± 2.661 <sup>a</sup>	11.34 ± 0.386 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a,b</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

**Table 38. Changes in color parameters (lightness(L\*), redness(a\*), yellowness(b\*) and whiteness(W)) of surimi gels by the addition of egg white powder.**

	L*	a*	b*	W
Control	81.15 ± 0.217 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.154 <sup>ab</sup>	9.91 ± 0.448 <sup>b</sup>	51.43
C-EWP <sup>1)</sup>	81.68 ± 0.125 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.036 <sup>a</sup>	11.41 ± 0.106 <sup>a</sup>	47.45
O-EWP <sup>2)</sup>	80.06 ± 0.108 <sup>c</sup>	0.62 ± 0.059 <sup>b</sup>	10.73 ± 0.206 <sup>a</sup>	47.87

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

난백시제품을 첨가한 경우 대조구와 비교하여 명도가 약간 감소하였다. 본 실험에서 수리미의 lightness는 80-81.7정도의 값을 보이는데 이는 다른 논문에서 발표된 수리미의 lightness 값과 유사하였다. 수리미의 b\*값 (yellowness '+' or blueness '-')이 대조구의 9.91에서 난백분말을 첨가하였을 때 11.41(시판용)과 10.73(시제품)으로 증가하였다. 본 실험에서 얻어진 수리미의 전체적인 b\*값은 다른 논문의 b\*값에 비해 상대적으로 높은 값을 나타냈는데 이는 수리미 제조 시 사용한 냉동난백의 차이나 사용한 방법의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

일반적으로 수리미의 whiteness를 수리미의 품질 척도로 중요하게 생각하는데 이는 whiteness를 통해 수리미에 첨가된 첨가제의 정도를 알아낼 수 있고 또 수리미의 선호도에 예 중요한 영향을 미치는 인자이기 때문이다. Whiteness를 구하는 식은 여러 가지가 있지만 본 실험에서는 Park(1994)의 논문에서 사용된 식을 이용하였다. 수리미의 whiteness는 47.5%-51.4%의 값들을 보이는데 다른 논문의 whiteness보다 낮은 값이다. 또한 난백분말을 첨가함으로써 whiteness값이 감소하였다. 결과적으로 수리미에 난백분말을 첨가함으로써 lightness값은 크게 변화하지 않으며 yellowness는 증가하고 whiteness는 감소하는 것으로 나타났다.

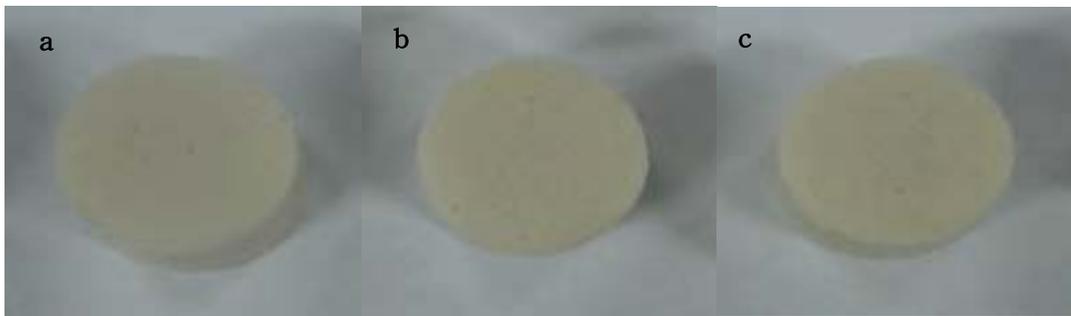
#### 다. 수리미의 표면 및 형태

Fig. 46은 난백분말을 첨가하지 않은 control 수리미와 시판난백과 최적난백을 첨가하여 만든 수리미의 사진이다. 그림에서 보는바와 같이 모든 수리미의 색이 약간 노란색을 띄는데 이는 앞에서 수리미 색의 높은 b\*값에서 예상할 수 있는 결과다. 수리미의 표면을 보면 작은 기포가 있는데 이는 수리미를 silent cutter에서 분쇄시 혼입된 공기 때문일 것으로 사료되는데 충분히 공기를 제거한 후 충진을 하면 기포의 크기나 양이 적어질 것으로 생각된다. 사진에서 보는바와 같이 대조구와 시판난백과 최적난백을 첨가하여 만든 수리미의 표면형태는 차이를 보이지 않았다.

### 2) 난백분말을 첨가한 국수의 특성

#### 가) 난백분말을 첨가한 밀가루의 호화 특성

난백분말의 첨가로 인한 밀가루의 호화특성 변화결과는 Table 39와 같다. 순수한 물을 사용한 대조구의 호화개시온도는 68.38℃로 나타났고 난백분말을 첨가



**Fig. 46. Picture of surimi containing egg white powder.**

a: control, b: commercial egg white powder, c: egg white powder produced by optimized condition.

**Table 39. Changes in pasting properties of wheat flour by the addition of egg white powder.**

	Peak viscosity (RVU) <sup>1)</sup>	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temp. (°C)
Control	237.00	146.79	90.21	248.67	101.88	68.38
C-EWP <sup>2)</sup> (2.5%)	278.25	162.96	115.29	280.54	117.59	67.20
C-EWP (5.0%)	310.83	172.84	138.00	303.75	130.92	66.98
O-EWP <sup>3)</sup> (2.5%)	299.21	174.88	124.34	294.75	119.88	66.58
O-EWP (5.0%)	317.04	193.09	123.96	323.25	130.17	66.83

<sup>1)</sup>RVU: rapid viscosity unit.

<sup>2)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>3)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

하였을 때 그 첨가량에 따라 약간의 차이를 보였지만 대체적으로 66.58-67.20℃로 다소 감소하였다. Peak 점도는 대조구의 경우 237 RVU로 가장 낮은 값을 보였고 난백분말의 첨가량이 증가함에 따라 5% 첨가 시 시료에 따라 310.83-317.04의 값으로 증가하였다. 시판난백을 첨가하였을 때의 peak 점도보다 시제품 난백분말을 첨가하였을 때의 peak 점도가 더 높은 값을 나타냈다. 최종점도, trough 점도, breakdown 및 setback 점도도 대체적으로 난백을 첨가함에 따라 증가된 값을 보였으며 최적난백의 첨가가 시판난백의 첨가보다 다소 높은 점도를 보였다. 이러한 결과는 난백의 denaturation 온도 이상에서의 단백질 변성이 전분의 점도상승에 기여했기 때문이라고 추측된다.

신선난백과 신선난백과 같은 고흡분의 함량(19%)으로 제조한 최적 난백분말액을 첨가하였을 때 밀가루의 호화특성의 변화결과는 **Table 40**에 나타내었다. 예상한 바와 같이 신선난백의 첨가는 밀가루의 호화 특성의 변화를 가져왔는데 모든 점도의 상승을 가져왔으며 같은 고흡분 함량으로 제조한 최적 난백분말액도 신선난백과 거의 비슷한 점도를 나타내었다.

#### 나) 난백분말을 첨가한 반죽의 혼합특성

난백분말을 첨가한 밀가루 반죽의 parinography의 결과는 **Table 41**에 나타내었다. 원료 밀가루에 대해 14%의 수분함량을 기준으로 반죽의 최적상태에 필요한 수분함량을 나타내는 수분흡수율은 대조구가 54%로 가장 높았으며 난백분말을 첨가함에 따라 감소하였다. 난백분말의 첨가량이 많아질수록 수분흡수율은 다소 감소하였으며 시판난백과 시제품간의 차이는 발견되지 않았다.

이와 같은 결과는 첨가한 난백분말과 밀가루 간의 수분을 흡수하는 능력의 차이와 경쟁 때문이라고 추측된다. 반죽의 굳기가 최고에 이르기까지의 시간인 반죽 형성시간은 대조구가 2.3분이었으나 시판난백을 2.5% 첨가한 경우 1.7분으로 크게 감소하였다가 함량이 5.0%로 증가함에 따라 5.9분으로 급격히 증가하였다. 시제품을 첨가한 경우 유사한 변화 양상을 보였으나 약간 지연된 반죽형성시간을 보였다. 난백분말의 첨가량이 2.5%정도는 밀가루 반죽의 글루텐 형성에는 크게 영향을 미치지 못하지만 첨가량이 5.0%정도가 되면 난백분말이 밀가루 반죽의 글루텐 형성을 억제하는 것으로 생각된다. 반죽의 안정도는 대조구가 6.1분으로 가장 짧게 나타났으며 난백분말을

**Table 40. Pasting properties of wheat flour containing fresh egg white and egg white powder produced by optimized condition.**

	Peak viscosity (RVU) <sup>1)</sup>	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temp. (°C)
Control	237.00	146.79	90.21	248.67	101.88	68.38
Fresh egg white	263.00	164.50	98.50	291.67	127.17	68.35
O-EWP <sup>2)</sup>	258.63	163.46	95.17	295.63	132.17	69.35

<sup>1)</sup>RVU: rapid viscosity unit.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

**Table 41. Mixing properties of wheat flour containing egg white powder.**

	Water absorption (%)	Development time (min)	Dough stability (min)	Dough weakness (F.U.)	Quality number
Control	54	2.3	6.1	43	62
C-EWP <sup>1)</sup> (2.5%)	52.5	1.7	6.5	33	65
C-EWP (5.0%)	51.7	5.9	7.2	52	77
O-EWP <sup>2)</sup> (2.5%)	52.1	2.4	9.7	28	81
O-EWP (5.0%)	51.1	6.5	13.2	28	119

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

첨가함에 따라 점차 증가하였고 같은 함량을 첨가하였을 경우 난백시제품의 첨가가 시판난백의 첨가보다 더 높은 안정도를 나타냈다. 일반적으로 반죽의 약화도는 안정도와 반비례관계를 나타내는데 최적난백을 첨가하였을 때 첨가량에 관계없이 가장 낮은 값을 보였다. 전체적인 반죽의 quality number는 난백분말의 첨가량에 따라 증가하였으며 난백시제품을 첨가하였을 때 시판난백보다 유의적으로 큰 quality number를 나타내었다. 이와 같은 결과로 밀가루를 반죽할 때 난백분말을 첨가함으로써 반죽의 여러 혼합특성을 변화시킬 수 있으며 이는 국수의 조리특성과 조리면의 조직감의 변화에 영향을 미치는 것이 확인되었다.

**Table 42**는 밀가루에 계란 1개 분량의 신선난백(약 30 g)과 같은 고형분의 함량이 되도록 제조한 최적 난백분말액을 첨가하였을 때 밀가루 반죽의 혼합특성을 조사한 결과이다. 수분흡수율은 위의 결과와 마찬가지로 신선난백이나 최적 난백분말액을 첨가하였을 때 모두 감소하였으나 둘 간의 유의적 차이는 없었다. 반죽형성시간은 신선난백이나 난백시제품의 첨가 시 유의적으로 크게 증가하였고 특히 신선난백의 첨가는 반죽형성시간을 크게 증가시켰다. 반죽의 안정도도 신선난백이나 난백시제품을 첨가하였을 때 7.8분에서 18.4-18.6분으로 크게 증가하였으며 반죽의 약화도는 크게 감소하였다. 반죽의 quality number는 신선난백과 최적 난백분말액 모두 76에서 200으로 크게 증가하였다. 따라서 시제품 난백분말을 밀가루 반죽에 첨가하면 신선난백을 첨가하였을 때와 비슷한 혼합특성을 나타낼 수 있다.

#### 다) 난백분말의 종류와 함량에 따른 국수의 조리특성

시판 난백분말과 시제품 난백분말을 첨가하여 만든 국수의 조리특성 변화는 **Table 43**과 같다. 조리면의 중량은 control이 36.89 g 이었고 시판난백과 최적난백을 첨가한 조리면의 중량은 각각 34.64 g과 33.64 g으로 유의적인 차이는 없었다. 조리면의 부피와 수분흡수율도 난백분말의 첨가로 인한 유의적인 차이는 없었다.

**Table 44**는 신선난백을 첨가한 국수의 조리특성과 신선난백의 고형분 함량과 동일하게 환원한 난백 시제품을 첨가한 국수의 조리특성을 비교한 결과이다. 난백 시제품을 첨가하였을 때 수분흡수율, 조리면 중량 및 부피의 변화는 없었으나 신선난백을 첨가하였을 때는 수분흡수율, 조리면 중량 및 부피가 다소 증가하였다.

**Table 42. Mixing properties of wheat flour containing fresh egg white or reconstituted egg white powder.**

	Water absorption (%)	Development time (min)	Dough stability (min)	Dough weakness (F.U.)	Quality number
Control	51.7	1.7	7.8	24	76
Fresh egg white	45.6	14.4	18.6	8	200
O-EWP <sup>1)</sup>	45.5	8.5	18.4	12	200

<sup>1)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

The solid content of reconstituted egg white powder was the same as that of fresh egg white.

**Table 43. Cooking properties of noodles containing 3% egg white powder.**

	Water absorption (%)	Weight of cooked noodles (g)	Volume of cooked noodles (mL)
Control	35.89±0.78 <sup>a</sup>	36.89±0.78 <sup>a</sup>	33.67±0.58 <sup>a</sup>
C-EWP <sup>1)</sup>	33.64±1.60 <sup>a</sup>	34.64±1.53 <sup>a</sup>	31.67±1.53 <sup>a</sup>
O-EWP <sup>2)</sup>	32.64±1.20 <sup>a</sup>	33.64±0.58 <sup>a</sup>	30.33±0.58 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

**Table 44. Cooking properties of noodles containing fresh egg white or reconstituted egg white powder.**

	Water absorption (%)	Weight of cooked noodles (g)	Volume of cooked noodles (mL)
Control	59.44±0.587 <sup>b</sup>	60.44±0.587 <sup>b</sup>	56.25±1.768 <sup>b</sup>
C-EWP <sup>1)</sup>	61.78±1.068 <sup>a</sup>	62.78±1.068 <sup>a</sup>	58.75±1.768 <sup>a</sup>
O-EWP <sup>2)</sup>	59.29±0.714 <sup>b</sup>	60.29±0.714 <sup>b</sup>	56.25±1.768 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a-c</sup>: means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

The solid content of reconstituted egg white powder was the same as that of fresh egg white.

### 라) 난백분말을 첨가한 국수의 조직감

시판 난백분말과 최적난백분말의 첨가량을 0, 2.5%, 5.0%로 달리한 밀가루 반죽으로 만든 국수를 조리한 후 texture analyzer를 사용하여 측정된 여러 가지 텍스처 값을 **Table 45**에 나타내었다. 난백분말을 첨가하지 않은 control의 hardness는 39.2 N으로 가장 낮았으며 난백분말의 첨가량이 증가함에 따라 유의적으로 증가하여 최적 난백 5% 첨가구의 경우 61.45 N의 hardness를 보여 약 57%의 증가를 보였다. 또한 시판난백을 첨가한 국수의 hardness 보다 최적난백을 첨가한 국수의 hardness가 다소 큰 값을 보였다. Springiness는 control이 0.93의 값을 보였고 난백분말을 첨가하여도 그 값은 유의적인 차이를 보이지 않았다. Gumminess와 chewiness는 control에 비해 난백분말을 첨가한 시료에서 유의적으로 큰 값을 나타내었고 hardness와 마찬가지로 최적난백을 첨가한 시료가 시판난백을 첨가한 시료보다 큰 값을 보였다.

밀가루 반죽 시 달걀 한개 분량의 신선난백 (30 g)과 이와 같은 고형분의 함량을 같도록 조절하여 만든 최적 난백액을 첨가하여 만든 국수의 여러 가지 텍스처 값은 **Table 46**에 나타내었다. 신선난백과 난백분말액의 첨가로 인해 여러 가지 텍스처 값들은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이는 본 실험에서 사용된 신선난백과 최적 난백액의 양이 조리된 국수의 텍스처를 변화시키기에는 부족했던 것으로 사료된다. 하지만 본 실험에서 최적조건 하에서 만들어진 최적난백분말은 신선난백을 대체하여 국수의 조직감의 변화를 가져올 수 있음을 알 수 있었다.

## 3) 저장기간과 저장온도에 따른 난백겔의 변화

### 가) 저장에 따른 난백겔의 물성변화

건조가열한 난백분말을 여러 가지 저장온도(냉동, 20, 30, 40℃)에서 3주간 저장하면서 난백겔의 물성변화를 측정된 결과는 **Table 47**과 같다. 난백겔의 hardness는 저장기간에 따라 다소 감소하는 경향을 보였으며 감소의 폭은 저장온도에 따라 조금씩 달랐다. 그러나 40℃ 저장시 난백 시제품 분말의 hardness 감소의 폭이 냉동 저장시와 차이를 보이지 않았음을 고려할 때 hardness의 감소는 저장온도에 의존적인 변화를 나타내지 않는 것으로 생각된다. 난백겔의 springiness는 저장기간과 저장온도에 따라 0.882에서 0.911의 값으로 유의적인 차이를 보이지 않았다.

**Table 45. TPA profiles of cooked noodles containing egg white powder.**

	Hardness (N)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Resilience
Control	39.20±1.25 <sup>c</sup>	-0.99±0.233 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.01 <sup>a</sup>	24.86±0.69 <sup>bc</sup>	23.07±0.97 <sup>c</sup>	0.25±0.01 <sup>a</sup>
C-EWP <sup>1)</sup> (2.5%)	50.40±2.21 <sup>b</sup>	-1.13±0.480 <sup>a</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>b</sup>	29.52±0.97 <sup>b</sup>	27.69±1.59 <sup>b</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>
C-EWP (5.0%)	55.31±2.84 <sup>b</sup>	-0.70±0.139 <sup>a</sup>	0.94±0.03 <sup>a</sup>	0.58±0.02 <sup>b</sup>	32.20±2.29 <sup>ab</sup>	30.14±2.11 <sup>ab</sup>	0.198±0.01 <sup>b</sup>
O-EWP <sup>2)</sup> (2.5%)	50.50±1.76 <sup>b</sup>	-1.29±0.244 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>a</sup>	0.58±0.01 <sup>b</sup>	29.42±1.15 <sup>b</sup>	29.35±1.33 <sup>ab</sup>	0.197±0.01 <sup>b</sup>
O-EWP (5.0%)	61.45±1.75 <sup>a</sup>	-1.07±0.552 <sup>a</sup>	0.92±0.02 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>ab</sup>	36.27±1.85 <sup>a</sup>	33.41±2.21 <sup>a</sup>	0.198±0.01 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>2)</sup>Egg white powder produced by optimized condition.

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

**Table 46. TPA profiles of cooked noodles containing fresh egg white reconstituted egg white powder.**

	Hardness (N)	Adhesiveness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N)	Resilience
Control	33.71±2.31 <sup>a</sup>	-0.86±0.28 <sup>a</sup>	0.92±0.03 <sup>a</sup>	0.63±0.024 <sup>a</sup>	21.36±1.74 <sup>a</sup>	19.65±1.99 <sup>a</sup>	0.25±0.011 <sup>a</sup>
Fresh egg white	35.94±2.03 <sup>a</sup>	-0.84±0.17 <sup>a</sup>	0.89±0.04 <sup>a</sup>	0.61±0.026 <sup>a</sup>	21.87±1.15 <sup>a</sup>	19.44±1.68 <sup>a</sup>	0.24±0.016 <sup>b</sup>
O-EWP <sup>1)</sup>	36.74±2.28 <sup>a</sup>	-0.96±0.18 <sup>a</sup>	0.88±0.05 <sup>a</sup>	0.64±0.027 <sup>a</sup>	23.41±1.59 <sup>a</sup>	20.67±2.41 <sup>a</sup>	0.25±0.019 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Commercial egg white powder.

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

The solid content of reconstituted egg white powder was the same as that of fresh egg white.

**Table 47. Changes in TPA profiles of egg white gels during storage.**

Temperature (°C)	Storage time (day)	Hardness (N)	Springiness
-70	0	416.92±0.274 <sup>a</sup>	0.901±0.007 <sup>a</sup>
	7	429.37±8.533 <sup>a</sup>	0.902±0.004 <sup>a</sup>
	14	370.72±4.055 <sup>b</sup>	0.897±0.017 <sup>a</sup>
	21	373.06±12.587 <sup>b</sup>	0.911±0.004 <sup>a</sup>
20	0	416.92±0.274 <sup>a</sup>	0.901±0.007 <sup>a</sup>
	7	412.37±10.791 <sup>a</sup>	0.911±0.007 <sup>a</sup>
	14	388.43±8.997 <sup>b</sup>	0.882±0.007 <sup>b</sup>
	21	350.36±9.332 <sup>c</sup>	0.89±0.011 <sup>a</sup>
30	0	416.92±0.274 <sup>a</sup>	0.901±0.007 <sup>a</sup>
	7	378.27±15.165 <sup>cd</sup>	0.900±0.011 <sup>a</sup>
	14	393.17±6.282 <sup>bcd</sup>	0.896±0.021 <sup>a</sup>
	21	372.65±3.128 <sup>d</sup>	0.892±0.006 <sup>a</sup>
40	0	416.92±0.274 <sup>a</sup>	0.901±0.007 <sup>a</sup>
	7	420.15±10.001 <sup>a</sup>	0.904±0.005 <sup>a</sup>
	14	407.04±6.387 <sup>a</sup>	0.889±0.005 <sup>a</sup>
	21	374.64±5.757 <sup>b</sup>	0.899±0.006 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

따라서 건조가열한 난백분말 시료를 여러 가지 온도에서 저장할 때 난백겔의 변화는 크지 않다고 볼 수 있으며 이는 건조가열시 이미 높은 온도에서 충분한 열처리가 이루어져 이후 저장기간이나 온도에 따라 그 변화가 크지 않았을 것으로 사료된다.

#### 나) 저장에 따른 난백겔의 색변화

건조가열한 난백분말을 여러 가지 저장온도(냉동, 20, 30, 40℃)에서 3주간 저장하면서 만든 난백겔의 색 변화를 측정된 결과를 **Table 48**에 나타내었다. 난백겔의 lightness (L\*)는 저장기간이 증가함에 따라서 다소 증가하는 경향을 보였으나 2주 이상의 저장기간에서는 유의적인 증가가 관찰되지 않았다. 이러한 경향은 저장온도에 따라 조금씩 달랐는데 특히 40℃에서 저장 시 3주째 난백겔의 lightness는 다소 감소하였다. 전체적으로 건조가열한 난백분말로 만든 난백겔의 색의 변화는 저장온도나 저장기간에 따라서 크게 변화하지 않음을 알 수 있었고 이러한 결과는 위의 겔의 조직감의 변화에서와 동일한 경향을 나타냈다.

결론적으로 건조가열을 통해서 난백분말을 열처리하는 것은 난백겔의 경우 저장온도와 저장시간에 따른 그들의 조직감이나 색의 변화가 크지 않기 때문에 난백분말의 살균에 유용하게 이용될 수 있으며 난백분말의 유통기간을 효과적으로 늘릴 수 있을 것으로 사료된다.

**Table 48. Changes in color parameters (lightness (L\*), redness (a\*), yellowness (b\*) and whiteness (W)) of egg white gels during storage.**

Temperature (°C)	Storage time (day)	L*	a*	b*	W
-70	0	45.307±0.144 <sup>b</sup>	-7.100±0.022 <sup>c</sup>	-1.883±0.290 <sup>c</sup>	50.95
	14	49.700±0.053 <sup>a</sup>	-7.784±0.073 <sup>a</sup>	-2.581±0.159 <sup>b</sup>	57.44
	21	49.790±0.011 <sup>a</sup>	-7.620±0.012 <sup>b</sup>	-3.155±0.021 <sup>a</sup>	40.24
20	0	45.307±0.144 <sup>b</sup>	-7.100±0.022 <sup>a</sup>	-1.883±0.290 <sup>bc</sup>	50.95
	14	45.904±2.028 <sup>a</sup>	-7.309±0.249 <sup>a</sup>	-2.904±0.637 <sup>ab</sup>	54.62
	21	45.499±0.007 <sup>b</sup>	-7.326±0.023 <sup>a</sup>	-4.003±0.027 <sup>a</sup>	57.51
30	0	45.307±0.144 <sup>b</sup>	-7.100±0.022 <sup>a</sup>	-1.883±0.290 <sup>b</sup>	50.96
	14	51.439±0.459 <sup>a</sup>	-7.887±0.021 <sup>b</sup>	-2.593±0.145 <sup>a</sup>	59.22
	21	51.378±0.013 <sup>a</sup>	-7.837±0.031 <sup>c</sup>	-2.925±0.016 <sup>a</sup>	60.15
40	0	45.307±0.144 <sup>a</sup>	-7.100±0.022 <sup>b</sup>	-1.883±0.290 <sup>c</sup>	50.96
	14	45.214±0.165 <sup>a</sup>	-7.269±0.072 <sup>a</sup>	-3.221±0.113 <sup>b</sup>	54.88
	21	43.677±0.002 <sup>b</sup>	-7.079±0.013 <sup>b</sup>	-3.820±0.037 <sup>a</sup>	55.137

<sup>a-c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different (p<0.05).

### 제 3 절 제 2 협동과제 :

## 액란의 이화학적 기능성 유지를 위한 건조 및 안정화 조건 설정 및 대량 생산 공정 확립

### 1. 연구수행방법

#### 가. 재료 및 실험기기

##### 1) 재료

신선한 달걀은 참여기업인 조인(주)을 통해 2~3주 간격으로 공급받아 사용하였으며 공급된 달걀은 신속하게 실험에 이용하였다. 실험에 사용되기 전까지 달걀은 4℃에서 보관하였다.

##### 2) 실험기기

Spray dryer(Samjin Engineering, Korea), Lab-stirrer(PL-S10, Poonglim, Korea), standard testing sieve(No.25/710 $\mu$ m, No.50/300 $\mu$ m), pH meter(Jeio Tech, Korea), shaking water bath(BS-20, JEIO TECH)를 실험에 이용하였다.

#### 나. 난백액의 농도가 건조과정에 미치는 영향

입고된 달걀 중 외관이 깨끗한 것을 선별하여 겉표면을 70% alcohol로 소독한 후 난백을 분리하였으며 분리된 난백액은 증류수를 이용하여 40%, 60%, 100% 농도로 희석하여 시료를 제조하였다. 알끈의 제거 후 Lab-stirrer를 사용(2000 rpm, 5분)하여 시료를 균일하게 혼합하였다. 시료를 분무건조기에 투입하여 배풍온도는 92℃, 송풍온도는 130℃로 분무건조를 실시하였다.

#### 다. 난백의 pH를 조절하여 생산한 난백건조분말의 특성

신선한 달걀로부터 난백을 분리한 후 HCl을 이용하여 난백액의 pH를 5.0, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0으로 조절하였다. 시료를 앞서 언급한 방법으로 균일하게 혼합하고

standard testing sieve를 이용하여 난백을 2회 여과하였으며(710  $\mu\text{m}$ , No.25; 300  $\mu\text{m}$ , No.50)로 분무건조 하였다. 난백분말의 pH와 수분함량은 pH meter와 105°C 상압가열 건조법으로 각각 측정하였다.

## 라. 난각과 난백, 난백분말의 미생물 분석 및 살균처리

### 1) 난각으로부터 미생물의 분리

난각 표면을 3×3 cm의 면적으로 swab 면봉 3개를 이용하여 일정한 힘으로 swab 하였다.

### 2) 시료 전 처리

달걀에서 난백만을 분리하여 25 g을 채취하여 225 mL 0.1% phosphate buffer로 희석한 후, Stomacher(Casta Brava, Spain)를 이용하여 2분간 균질화 한 다음 0.1% phosphate buffer를 이용하여 적정 농도 배양까지 연속 희석하였다.

### 3) 총호기성균

각 단계 희석액 1 mL씩을 멸균 페트리접시 3 매에 무균적으로 취하여 약 43-45°C로 유지한 tryptic soy agar(TSA)배지 약 15 mL를 이용하여 pour plate method에 의해 무균적으로 분주하고 페트리 접시 뚜껑에 부착되지 않도록 주의하면서 회전한 후 냉각 응고시켜 분주한 페트리접시는 거꾸로 하여 35±1°C 배양기에서 배양 하였다. 24-48시간 배양한 후 생성된 집락수를 계산하였다.

### 4) 대장균 및 대장균군

3M 주식회사의 Petrifilm™ *E. coli* count(PEC)를 이용하여 37°C에서 24시간 배양 후 SPC에 의하여 측정하였고 기포를 형성한 red colony만을 coliform, 기포를 가진 blue colony만을 *E. coli*로 인정하였다.

### 5) 살모넬라

각 단계 희석액 1 ml씩을 멸균 페트리접시 3매에 무균적으로 취하여 MacConkey 한천배지에 접종하여 35°C에서 24시간 배양하였다.

## 6) 건조가열의 살균효과

다양한 온도에서 난백분말의 건조가열을 실시하고 살균처리 효과를 측정하였다.

### 마. 이화학적 기능성 향상을 위한 난백분말의 제조

#### 1) 동일 분무건조온도 조건에서의 난백분말 제조

분무건조 온도를 90℃로 고정하고 난백의 pH, 열처리, xanthan gum의 첨가 조건에서 난백분말을 제조 하였다. 난백 pH는 1 N HCl을 이용하여 5.0, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0 으로 조정하였으며, 열처리(pH는 6.0, 6.5)는 shaking water bath를 이용하여 50℃에서 1시간 동안 실시하였다. 난백의 온도가 50℃로 고정된 후 온도를 유지하면서 1시간 동안 분무 건조기 내로 시료를 주입하였으며 난백의 온도유지를 위해 시간당 1 L가 주입되도록 설정하였다. Xanthan gum의 첨가 시에는 난백(pH 6.0, 6.5) 중량의 0.5%가 되도록 첨가하고 분무건조를 실시하였다.

#### 2) 분무건조 온도 조건 변화에 따른 난백분말제조

난백의 pH는 조절하지 않고 분무건조 온도를 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85℃로 하여 분무건조하여 하거나 pH는 6.5로 조절한 후 건조온도를 변화시키거나 가열처리를 조합하여 다양한 조건에서 난백분말을 제조하였다.

#### 3) 반응표면분석 조건에 따른 난백분말 제조

주관 연구과제에서 언급한 12개 난백 pH 및 분무건조온도 조합 처리 조건에서 난백분말을 제조하고 주관연구기관 및 제 1 협동 기관에 공급하였다.

### 바. 난백의 탈당 처리 조건 설정

난백액의 1.2%에 해당하는 yeast(인스턴트 이스트, saf-instant, 프랑스) 용액을 첨가하여 탈당효과를 측정하였으며 yeast는 증류수에 녹여(5 mL/1.2g yeast) 사용하였다.

탈당 과정 중 난백의 당 함량 변화는 one touch glucose meter(Johnson & Johnson)를 이용하여 측정하였으며 탈당 후 분무건조하여 난백분말을 제조하고 주관기관 및 제 1 협동 기관에 공급하였다.

#### 사. 효소처리 난황분말의 제조

신선한 달걀을 할란하여 난황을 분리하고 난백분말의 제조와 동일하게 건조 전 전처리를 실시하였다. 난황의 분무건조 조건 설정을 위해 증류수를 이용하여 난황의 농도를 70%, 50%의 농도로 조절하여 난황분말을 제조하였다. 분무건조온도는 80℃와 85℃의 조건으로 하였으며 분무건조 된 난황의 수분 함량을 측정하였다. 주관 연구 기관에서 서술한 반응 조건으로 효소처리를 실시하고 효소처리 난황분말을 제조하였다.

#### 아. Angel food cake의 제조

Angel food cake은 난백의 기포성을 이용한 대표적인 식품으로 알려져 있으므로 반응표면분석의 중심합성설계에 따라 제조된 난백분말을 이용하여 angel food cake을 제조하였다. 거품과 겔형성을 위한 최적조건에서 제조된 난백분말 시제품(pH 6.34, 72.5℃ / pH 6.74, 66.5℃ / pH 7.72, 76℃)을 이용하여 angel food cake을 제조하고 다양한 품질특성을 측정하였다.

##### 1) 재료

박력분 1급(수분 13.5%, 단백질 7.75%, 회분 0.39%, 대한제분(주)), 설탕(삼양사), 분당(백설탕 85%, 전분15%, 성립식품), 주석산(L-Tartaric acid, Industial, Chile), 소금(순도 98% 이상, 한주소금), 난백분말(pH 6.34, 72.5℃ / pH 6.74, 66.5℃ / pH 7.72, 76℃)과 상업용 난백분말(Ovonor, France)을 사용하였다.

##### 2) Angel food cake의 제조

AACC method 10-15에 준하여 각 재료의 배합률은 **Table 49**와 같이 정하였으며 cake 반죽은 제과용 mixer(Kitchen aid K5SS, USA)를 사용하였다.

**Table 49. Formula of angel food cake.**

Ingredients		Weight (g)	F. B. <sup>1)</sup> (%)
Flour		140.0	100.0
Sugar	Sugar	266	190
	Powdered sugar	133	95
Egg white powder		50.96	36.4
Water		375.2	268
Acid salt		1.96	1.4
NaCl		3.78	2.7

<sup>1)</sup>F. B.: flour basis.

### 가) 신선난백을 이용한 angel food cake의 제조

난백은 달걀을 24℃에서 3시간 방치 한 다음 난백만을 분리하여, 혼합조 (Mixing bowl)에 난백, 설탕, 소금 및 주석산 등을 넣고 거품기가 바닥까지 닿도록 하여 2단으로 2분간 저어 주었다. 이때, 혼합액의 온도는 24℃를 유지하였다. Bowl의 옆면을 긁어 준 후 6단으로 4분 30초간 혼합 한 후 체에 친 박력분과 분당을 넣고 주걱을 사용하여 60회 저어 가루를 분산시켜 반죽을 마무리 하였다. 반죽온도는 23~24℃로 조정하였다. 반죽은 평균지름 17.5 cm, 깊이 8.5 cm의 엔젤 팬을 사용하여 386 g을 팬에 넣어 주었다. 막대 봉을 사용하여 20회 저어 팬 고르기를 한 다음 팬을 바닥에 3회 내리쳐서 충격을 주어 큰 기포를 제거한 후 예열 시킨 전기 데크 오븐 (Woo-Jung Co., Korea)을 사용하여 윗불 170℃, 아랫불 160℃에서 30분간 굽기를 실시하였다.

### 나) 난백분말을 이용한 angel food cake의 제조

난백분말을 증류수와 잘 혼합되도록 stirrer를 사용하여 10분간 저어 난액 (egg white solution)을 만들었다. Mixing bowl에 난액, 설탕, 소금 및 주석산을 넣고 혼합액을 만든 후 거품기가 바닥까지 닿도록 하여 2단으로 2분간 저어 주었다. 이때 혼합액의 온도는 24℃로 유지하였으며, 나머지는 대조구의 제조방법과 동일하게 하였다.

## 3) Angel food cake의 물성

### 가) pH 측정

난액, 거품 및 반죽의 pH를 pH meter를 이용하여 측정하였다.

### 나) 비중 및 부피 측정

거품 및 반죽의 비중(Specific gravity)은 물의 무게에 대한 거품 및 반죽의 무게 비(AACC methods 10-15)로 나타냈다. 굽기를 마친 cake를 상온에서 30분간 냉각 시킨 다음 팬에서 분리하여 종자치환법(AACC methods 72-10)을 이용하여 부피를 3회 반복 측정하였다.

#### 다) Angel food cake 물성과 색도 측정

제조한 cake를 25℃의 온도에서 24시간 방치한 다음 cake의 아래 부분 2 cm를 제거한 후 6.0×6.0×2.0 cm로 절단하여 Hunter colorimeter(Henter Lab, USA)를 사용하여, L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값을 9회 반복 측정하였다. 동일한 조건에서 보관한 cake를 4.0×4.0×3.0 cm로 절단하여 Texture analyzer(Stable Microsystems, UK)를 이용하여 texture profile analysis(TPA)를 실시하였으며 측정조건은 **Table 50**에 제시하였다.

#### 라) 관능적 품질 평가

각각 제조된 cake에 대한 관능평가를 하기 위하여 cake를 밀봉하여 실온에서 6시간 방치한 뒤 cake를 5×5×2.5cm의 크기로 잘라, 각 처리 시료 당 2개씩을 용기에 담아 폴리비닐 랩을 씌워 미리 훈련된 12명의 관능검사원에게 제시하였다. 평가 특성은 cake 단면의 기공 크기와 기공의 균일성, cake의 색, 맛, 이취, 강도 및 전체적인 기호도에 대하여 평가하였다. 평가의 척도는 9점 척도로 1점에서 9점으로 하였으며 신선난백으로 제조한 angel food cake의 특성을 5점으로 설정하여 비교토록 하였다.

**Table 50. Testing condition for texture profile analysis.**

Test mode	TPA
Probe type	A/TBL
Pre test speed	2.00 mm/s
Test speed	1.00 mm/s
Post test speed	1.0 mm/s
Rupture test distance	1.0 %
Distance	75 %
Force	100 g
Time	5 sec

#### 마) 결과의 평가 및 통계적 처리

각 항목에 대하여 5회 반복 실시하였으며 이 결과에 대해서는 SAS program을 이용한 Duncan's multiple range test법으로 평가하였다.

### 2. 연구개발수행 내용 및 결과

#### 가. 투입난백 농도의 조정이 난백분말의 제조에 미치는 영향

난백의 분무건조가 용이한 분무조건을 조사하기 위하여 투입 난백의 농도를 조정하여 분무건조를 실시하고 건조기의 막힘 현상을 최소화하였다. 증류수를 이용하여 난백액을 40, 60, 100%의 농도로 하여 균일화 한 후 분무건조에 사용하였으며 투입난백의 농도 차이의 변화가 분무건조 과정에 미치는 영향을 조사하였다.

##### 1) 난백의 농도를 40%로 하여 제조한 경우

난백의 농도를 40%로 하여 분무건조 하였을 경우, 건조기의 막힘 현상이 관찰되었다. 이 현상은 수차례 반복되었으며, 난백 전체가 분무건조기 안으로 투입된 후 증류수로 마지막 처리를 하는 순간에 일어났다. 지속적인 막힘 현상으로 건조 후 회수된 난백분말의 양도 적었다. 제조된 분말의 양은 난백액의 농도를 60%나 100%의 농도로 하여 난백분말을 제조하였을 때 적었으나 그 차이는 크지 않았다(Table 51).

##### 2) 난백의 농도를 60%로 하여 제조한 경우

난백액의 농도를 60%로 하였을 경우에도 40%로 난백을 조정된 경우와 유사한 막힘현상이 나타났다. 그 결과 건조시간이 충분하지 않았으므로 회수된 양도 많지 않았다. 다른 처리구와 동일하게 막힘 현상이 나타났으나 그 횟수가 작았다.

##### 3) 난백의 농도를 100%로 하여 제조한 경우

난백액을 희석하지 않고 분리된 난백액을 균일화하여 분무건조 하였다. 난백액을 희석하지 않고 난백분말을 제조할 경우 희석한 난백을 사용하여 난백분말을 제조하였을 때와는 달리 기계의 막힘 현상이 적게 나타났다. 시료량을 증가시켜 분무건조를 실시한 경우에도 다른 처리구보다 막힘 현상이 적었으나 분무건조 후 분말의 양은 다른 처리구보다 낮은 것으로 나타났다.

**Table 51. Yield of egg white powder at different feeding conditions.**

Feeding condition	Yield of egg white powder <sup>1)</sup>
Undiluted control (100%)	6
Diluted egg white (40%)	5
Diluted egg white (60%)	8

<sup>1)</sup>Based on initial feeding weight.

**Table 52. Moisture content and pH of fresh egg white.**

	Moisture (%)	pH
Fresh egg white	87.1	9.1

난백의 농도를 달리하여 난백분말을 제조한 결과 각 처리구에서 제조된 분말의 양은 유사했으나 난백의 농도를 40% 또는 100%로 처리한 시료는 난백고형분이 제대로 회수되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 분무건조 시 투입된 난백의 회석여부는 큰 문제가 되지 않는 것으로 생각된다.

#### 나. 난백의 pH를 달리한 난백분말 제조

투입된 난백의 농도를 다르게 하여 난백분말을 제조한 결과 난백액의 농도에 따라 회수율의 큰 차이가 없었으므로 난백의 pH를 다르게 하여 난백분말을 제조하였다. 신선한 난백의 pH는 약 7.6정도이며 저장기간이 경과함에 따라 난백의 CO<sub>2</sub>가 소실되어 pH 9.0으로 이행된다(하 등, 1992). 따라서 난백의 pH를 5.0/ 6.0/ 6.5/ 7.0/ 7.5/ 8.0으로 조절하여 실험하였다. 난백액의 농도를 조절하여 분무건조 한 실험에서 분무건조기의 막힘 현상이 난백의 전처리의 문제일 가능성을 배제할 수 없으므로, 난백의 균일화와 여과에 중점을 두어 난백분말을 제조하였다.

##### 1) 난백의 pH 및 수분함량 측정

난백의 수분함량과 pH를 측정한 결과는 **Table 52**와 같다. 난백의 수분함량은 87.1%로 난백의 약88%가 수분으로 되어 있다는 보고와 유사하였다(양 등, 1999.). pH 측정결과 난백의 pH는 9.1이었으며, 전란의 경우 pH는 7.6이었다. 달걀의 pH는 산란직 후 7.6~8.5이며 저장기간에 따라 pH가 9.4까지 증가한다고 알려져 있으며 실험에 사용한 달걀의 경우 전란의 pH가 7.6이므로 신선한 달걀로 볼 수 있다.

##### 2) 난백의 균일화 및 여과

난백의 전 처리 중 균일화와 여과 과정을 중점으로 전 처리를 실시 하였다. 처음 실험에 균일화를 통해 분무건조 하였으나 이번 실험에는 균일화 후 여과과정을 2회 반복하였다. 즉, 난백의 pH를 조절한 후 lab-stirrer를 이용하여(2,000 rpm, 5분) 시료를 균일하게 혼합한 후 standard testing sieve를 이용하여 두 차례의 여과과정을 통해 난백의 전처리를 실시하였다. 여과 후 분무건조 시 난백의 분무건조가 훨씬 용이해졌으나 시료의 양을 늘릴 경우 건조시간의 지연이 관찰되었다.

### 3) 난백의 pH를 조정하여 제조한 난백분말의 회수율

난백의 균일화와 여과 과정을 통해 난백의 pH를 달리하여 난백분말을 제조하였다. pH의 조정 조건 중 난백의 pH를 5.0로 하여 난백분말을 제조하는 경우 분무기의 막힘 현상이 지속되어 난백분말의 제조가 불가능하였다. pH를 6.0, 7.0, 7.5, 8.0으로 하여 분무건조 한 경우에는 약간의 막힘 현상은 있었으나 pH 5.0보다는 양호하게 분말을 제조할 수 있었다. 각 처리구에서 제조된 난백분말의 회수율은 투입된 시료의 10%~12% 정도로 나타났다. 난백의 수분이 87~88%임을 고려할 때 건조 수율은 고형분 함량을 기준으로 78~93%의 수준이었다. 회수율은 각각의 pH 처리구에서 유사하여 pH 6.0~8.0 범위의 pH 조정은 난백분말의 회수율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 각 처리 조건에서 제조한 시료는 주관연구기관 및 제1협동연구기관에 공급되었으며 각 기관에서 거품형성능력 및 안정성, 이화학적특성변화, 물성변화를 평가하였다.

### 4) 난백의 pH를 조정하여 제조한 난백분말의 수분함량

난백의 pH를 달리하여 분무건조하여 얻은 난백분말의 수분함량을 측정하였다. pH를 6.0, 7.0, 8.0으로 처리하여 제조한 난백건조분말의 수분함량은 **Table 53**에 나타내었다. 수분함량을 측정한 결과 분무건조된 난백분말의 수분함량 차이는 크지 않았으며 약 2~3% 내외로 나타났다.

## 다. 달걀의 미생물 분포 특성 및 살균효과

### 1) 난백의 미생물 분포 특성

난백의 총균수는  $2.6 \times 10^6$ 이었으며, *Salmonella*, *E. coli*는 검출한계에서 검출되지 않았다.

### 2) 가열처리 후 미생물 분포변화

중심부 온도가 50, 55°C가 된 후 3, 6, 9분마다 시료 채취 후 미생물 분석을 실시한 결과 3, 6, 9분에서 총균수, *Salmonella*, *E. coli* 모두 검출되지 않았다. 하지만 60°C의 경우에는 중심부 온도가 60°C가 된 후 5분이 지나면서 난백이 익기 시작하여 살균 처리 온도로 적절하지 않은 것으로 판단되었다. 열처리에 의한 잔존 미생물

**Table 53. Moisture content of egg white powder produced after pH adjustment.**

pH prior to drying	Moisture content (%)
5.0	-
6.0	1.85
7.0	2.20
7.5	3.76
8.0	3.41

분석 결과에 따르면, 계란의 위생 상태가 양호하여 오염에 대한 우려는 적은 것으로 보인다. 또한 비병원성 미생물의 오염은 50℃에서 최소 3분의 처리로 제거할 수 있는 것으로 나타나 난백의 살균은 물성 특성에 변화를 주기 위한 열처리 조건으로 충분한 것으로 판단된다.

## 라. 기능성 난백 분말 제조

### 1) 난백의 pH 조정 후 분말제조

난백액의 pH를 5.0로 조절하여 분무건조 하였을 경우 분무건조기의 노즐이 막히는 현상이 발생하였다. 따라서 pH를 5.0으로 조절한 조건에서는 난백분말을 제조할 수 없었으며 난백의 pH는 6.0~8.0로 조절하여 분무건조 하였다. 각각의 pH로 제조된 난백분말의 수분함량과 분말 후 pH를 측정된 결과는 **Table 54**와 같다. 난백의 pH가 높을수록 분말의 수분함량은 증가하는 경향을 나타냈으며 분말 후 pH의 변화는 6.0으로 조절한 경우 크지 않았으나 pH 6.5이상으로 제조한 분말은 pH의 차이가 관찰되었다. pH 6.5로 조절하여 분말을 제조한 조건에서 난백의 pH 9.2와 가까운 pH 9.12를 나타내었다.

### 2) 난백의 열처리와 pH 조절에 따른 분말 제조

분무건조 온도는 90℃로 고정하고 난백의 pH를 6.0, 6.5로 조절한 후 열처리 하여 분무건조한 분말의 수분의 함량과 pH는 **Table 55**와 같다. 난백을 열처리하여 분무건조 할 경우 난백의 pH는 최종 분말의 수분 함량에 영향을 미치지 않았으나 분말 후 pH는 6.0과 6.5가 6.36과 8.22로 차이를 나타냈다.

열처리 조건에 대한 난백의 분무건조 온도에 대한 영향을 조사하기 위해 난백액의 pH는 6.5로 고정하였고, pH를 조절한 후 난백액을 무처리 또는 50℃ shaking water bath에서 열처리하여 분무건조 온도는 80℃로 난백분말을 제조하였다. 열처리하여 분무건조 한 경우에 열처리를 하지 않은 조건과 비교하여 수분함량이 더 낮은 것으로 나타났다(**Table 56**).

**Table 54. Moisture content and pH of egg white powder produced after pH adjustment.**

	pH of egg white prior to drying				
	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Moisture content of egg white powder (%)	1.85	1.92	2.20	3.76	3.41
pH of egg white powder	6.76	9.12	9.68	9.89	10.11

Inlet temperature of spray drying: 90°C.

**Table 55. 열처리와 pH 조정 후 제조한 난백분말의 수분함량과 분말 후 pH.**

	Heat (50°C, 1hr) and pH adjusted to	
	6.0	6.5
Moisture content of egg white powder (%)	3.06	3.45
pH of egg white powder	6.36	8.22

Inlet temperature of spray drying: 90°C.

Moisture content and pH of egg white powder produced after heating and pH adjustment.

**Table 56. Effect of heating on moisture content of egg white powder.**

	Moisture content (%)	
	heating (50°C, 1hr)	Without heating
Moisture content of egg white powder (%)	3.42	2.19

The pH of egg white was adjusted to 6.5 prior to spray drying.  
Inlet temperature of spray drying: 80°C.

### 3) Xanthan Gum 첨가에 의한 난백분말 제조

난백의 pH를 6.0, 6.5으로 조정 한 후 xanthan gum을 0.5% 첨가하여 90℃에서 분무건조 하였다. Gum을 첨가하여 분무건조 하였을 경우 pH 6.0으로 조절 한 난백분말이 pH 6.5로 조절 한 난백분말보다 수분함량이 증가하는 것으로 나타났다(**Table 57**). 다른 처리조건과 달리 gum을 첨가했을 경우 더 낮은 pH에서 수분의 함량이 높았으며 분말 후 pH의 변화도 난백의 pH와 비교할 때 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 pH 6.5의 경우 분말 후 pH가 더 낮은 것으로 나타났다.

### 4) 분무 건조 온도 변화에 따른 난백분말의 특성

분무건조기의 온도를 설정하기 위해 분무건조기로 유입되는 열풍 온도(Inlet temperature)를 조절하여 배풍온도(outlet temperature)를 설정하였으며 각 처리구마다 설정된 온도조건은 **Table 58**과 같다. 실험에 사용한 분무 건조 온도범위에서 난백분말 제조의 어려움은 없었다. 그러나 55℃ 조건의 경우, 분무온도가 낮아 건조가 충분히 되지 않아 최종 제품이 다소 높은 수분함량을 나타냈었다. 55℃ 이하에서는 분말화가 이루어지지 않았으며, 각각의 분무건조 온도조건으로 제조된 난백분말의 수분함량과 pH는 **Table 59**와 같다. 분무건조 온도가 높을수록 분말의 수분함량은 적어지고 분말의 pH는 높아지는 것으로 나타났다. 건조 시 높은 온도에서 pH의 증가가 높은 것은 난백의 변성이 증가하므로 건조온도를 낮추는 것이 난백분말의 기능성 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

### 5) 난백분말에 대한 분무건조온도와 열처리의 영향

난백의 pH는 6.5로 조정 한 후 분무건조온도를 65, 75, 85℃로 하여 난백액을 건조하거나 열처리하여 분무건조 하였을 경우에는 열처리 유무에 상관없이 분무건조 온도가 높을수록 수분함량은 낮았다(**Table 60**). 그러나 분말 후 pH는 열처리한 난백 분말이 무 가열 처리 난백분말보다 높았다. 난백을 열처리하였을 경우 열처리하지 않은 분말의 pH는 더 낮은 것으로 나타났다.

**Table 57. Effect of xanthan gum on moisture and pH of egg white powder.**

	Adjusted pH	
	6.0	6.5
Moisture content (%)	6.30	2.80
pH	6.42	6.11

The additive level of xanthan gum was 0.5%.

Inlet temperature of spray drying: 90°C.

**Table 58. Level of drying parameters varied during spray-drying.**

Inlet temperature (°C)	79	84	89	94	104	110	118	122
Outlet temperature (°C)	55	60	65	70	75	80	85	90

**Table 59. Moisture content and pH of egg white powders produced various drying temperatures.**

Inlet temperature (°C)	55	60	65	70	75	80	85
Moisture content (%)	5.60	3.65	3.93	2.27	3.84	2.50	2.69
pH	9.79	9.84	9.96	10.17	10.18	10.19	10.24

**Table 60. Effect of heating on moisture content and pH of egg white powders produced various drying temperatures.**

	Heating (50°C, 1hr)			Without heating		
	Inlet temperature (°C)			Inlet temperature (°C)		
	65	75	85	65	75	85
Moisture content (%)	3.11	3.02	2.35	4.16	3.84	3.43
pH	9.02	9.30	9.52	8.71	9.01	8.87

The pH of egg white was adjusted to 6.5 prior to spray drying.

## 6) 반응표면분석 조건에 따른 난백분말의 제조

반응표면분석의 중심합성설계에 따라 pH와 분무온도의 조절하여 난백분말을 제조한 후 분말의 수분함량과 분말 후 pH를 측정한 결과는 **Table 61**과 같다.

RSM 분석을 통해 도출된 최적 pH와 건조 온도는 거품 형성능의 경우 1) pH 6.23, 온도 69°C, 2) pH 8.07, 온도 66°C의 두 가지였다. 따라서, 최종 확인을 위해 이 두 가지 조건에서 난백분말을 제조하였다. 젤 강도의 경우 pH 8.24, 온도 66°C가 최적의 조건으로 도출되었다. 이들 조건에 의해 제조된 분말의 pH와 수분함량 특성은 **Table 62**와 같다.

### 마. 난백분말의 미생물 분포 특성 및 살균효과

다양한 건조온도와 pH 조건에서 제조된 난백분말의 미생물 분포를 조사한 결과는 **Table 63**과 같다. 살모넬라는 모든 건조 시료에서 검출되지 않았고(검출 한계 <10), 대부분의 시료에서 총호기성균수는  $1\sim 2 \times 10^2$ 의 분포를 보였다. 한 시료에서 대장균 균이 검출되었는데, 이러한 미생물 오염정도는 건조용 액란을 준비하는 과정에서 오염된 것으로 판단된다. 모든 시료는 실험실에서 준비된 것이므로, 생산설비를 갖춘 업체에서 제조할 경우에는 제조 공정 중 미생물 오염이 거의 없을 것으로 판단된다.

다양한 조건에서 제조된 분말의 안전성은 큰 문제가 없는 것으로 생각되며, 특히 건조 가열 처리 시에는 균이 검출되지 않음으로써 안전한 제품의 생산이 가능할 것으로 판단된다.

### 바. 탈당 처리에 의한 난백분말 특성

Yeast 처리를 이용한 난백의 탈당효과를 조사하기 위하여 시간의 경과에 따른 당수치의 변화를 측정하였다(**Table 64**). 실험실 조건에서 실시한 탈당 과정에는 약 7 시간이 소요되었으며 탈당과정중 표면응고물이 관찰되었다. 이와 같은 응고물은 탈당과정에서 일반적으로 관찰되는 현상으로써 ovomucin과 lysozyme이 응집되어 큰 입자형 응고물을 만드는 것으로 생각된다. 탈당처리 후 분무 건조한 분말의 pH는 탈당과정을 거치지 않은 건조 분말과 유사한 것으로 나타났으며(**Table 65**), 수분함량은 약간 높게 나타났다.

**Table 61. Moisture content and pH of egg white powders produced by response surface methodology.**

	Experiment number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH of egg white	6.44	8.56	6.44	8.56	7.5	7.5	9.0	6.0	7.5	7.5	7.5	7.5
Inlet temperature (°C)	68	68	82	82	75	75	75	75	85	65	75	75
Moisture content (%)	2.86	2.98	3.15	2.96	3.25	2.40	2.38	3.22	2.49	3.26	2.80	2.80
pH	8.92	10.00	8.79	10.16	9.83	9.82	9.96	7.04	9.97	9.89	10.05	10.13

**Table 62. Moisture content and pH of egg white powders produced by optimized condition for maximum foaming and gelling response.**

	Predicted condition (pH/inlet temperature (°C))		
	6.23 / 69	8.07 / 66	8.24 / 66
Moisture content (%)	2.96	2.85	2.90
pH	7.93	9.84	10.01

**Table 63. Microbiological properties of egg white powders produced by various drying conditions.**

Drying condition		Total aerobic count (cfu/g)	E.coli (cfu/g)	<i>Salmonella</i> (cfu/g)
pH	Temperature (°C)			
9.0	75	< 10	-	-
9.0	75	$5.0 \times 10^1$	-	-
7.5	75	$2 \times 10^1$	20	-
7.5	75	< 10	-	-
7.5	85	< 10	-	-
6.0	75	$1.6 \times 10^2$	-	-

**Table 64. Changes in glucose content during desugaring process.**

Reaction time (hr)	Concentration of glucose in egg white (mg/L)	
	1st trial	2nd trial
0	4360	3810
1	4720	4930
2	4870	5070
3	4580	4780
4	3990	3770
5	2210	2890
6	-	1230
7	-	230

**Table 65. Moisture content and pH of egg white powders produced after desugaring process.**

	Drying condition (pH/temperature (°C))		
	6.23 / 69	8.07 / 66	8.24 / 66
Moisture content (%)	3.28	3.21	4.60
pH	7.33	9.94	10.30

## 사. 난황 분말제조

난황은 난백보다 수분함량이 적기 때문에 전 처리시 균질화가 쉽게 이루어지지 않았다. 이러한 문제로 인해 난황액을 증류수로 희석하여 난황 분말을 제조하였다. 난황의 농도를 70%로 조절하여 균질화를 시킨 경우에도 균질화 후 여과는 용이하지 않았으며 50%로 농도를 조절하여 균질화할 경우 여과가 용이하여 전 처리 시간의 단축이 가능하였다. 난황의 농도는 50% 정도에서 분무건조가 용이하였다. 각 농도 차이에 따른 난황의 분무건조에 따른 수분함량의 차이는 없는 것으로 나타났다 (Table 66).

## 아. 기능성 향상을 위한 달걀의 분말 제조

### 1) Yeast를 이용한 난백의 탈당 처리

이전 실험에서 사용된 12가지 조건을 이용하여 본 실험에서는 난백액을 yeast로 탈당한 후 분무건조 하였다. 탈당의 최적 조건을 찾기 위해 12가지 조건에서 분무건조 하였다 분무건조 후 분말의 수분함량과 분말 후 pH를 측정하였다. (Table 67).

### 2) 난백의 탈당 처리 조건 설정

12가지 조건을 이용하여 탈당처리 후 반응표면분석의 중심합성설계에 따라 도출된 최적 pH와 건조 온도는 1) pH 6.34, 온도 72.9℃, 2) pH 6.74, 온도 66.5℃ 3) pH 7.72, 온도 76℃ 였다. 이들 조건에서 제조된 난백분말의 수분함량은 Table 68과 같다.

### 3) 효소변형 난황분말 제조

효소처리 난황분말 생산을 위한 분무건조 온도는 85℃로 하였으며 동일한 조건에서 무처리 대조구의 난황분말을 함께 제조하고 난황분말의 수분함량을 측정할 결과는 Table 69와 같다.

**Table 66. Moisture content of egg yolk powders produced by various drying conditions.**

	Feed level <sup>1)</sup> (%) / inlet temperature (°C)			
	80 / 70	80 / 50	85 / 70	85 / 50
Moisture content (%)	0.57	0.72	0.46	0.73

<sup>1)</sup>Diluted level based on initial weight of egg yolk.

**Table 67. Moisture content and pH of desugared egg white powders produced by response surface methodology.**

	Experiment number											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH of egg white	6.44	8.56	6.44	8.56	7.5	7.5	9.0	6.0	7.5	7.5	7.5	7.5
Inlet temperature (°C)	68	68	82	82	75	75	75	75	85	65	75	75
Moisture content (%)	3.07	2.75	2.15	2.57	4.75	4.30	3.00	3.41	2.76	2.97	3.69	3.68
pH	9.00	9.80	9.01	9.91	9.63	9.47	10.04	6.89	9.80	9.67	9.74	9.74

**Table 68. Moisture content and pH of egg white powders produced by optimized condition for maximum foaming and gelling response.**

	Predicted condition (pH/inlet temperature (°C))		
	6.34 / 72.9	6.74 / 66.5	7.72 / 76
Moisture content (%)	2.92	5.68	5.37

**Table 69. Moisture content of enzyme treated egg yolk powder.**

	Moisture content (%)
Control egg yolk powder	3.74
Enzyme treated egg yolk powder	0.70

## 자. Angel food cake의 일반적 특성

### 1) Angel food cake의 pH 측정

시제품 난백분말(pH 6.34, 72.5°C / pH 6.74, 66.5°C / pH 7.72, 76°C)과 상업용 난백분말로 angel food cake를 제조하였다. 연구방법에 제시한 비율로 증류수를 혼합하여 액화시킨 난액(egg white solution)의 pH, 설탕과 소금 및 주석산 등을 혼합하여 혼합액을 만든 후 휘저었을 때 만들어진 거품상태에서의 pH (foam), 거품에 밀가루를 넣어 반죽한 angel food cake 반죽상태의 pH (batter)를 측정한 결과는 **Table 70**과 같다.

사용된 난백분말의 종류에 따라 난액, 거품 및 반죽상태의 pH는 큰 차이를 나타냈다. 시제품 난백분말로 만든 난액에 설탕과 소금 및 주석산 등을 혼합하여 휘저었을 때 만들어진 거품의 상태는 안정적인 반면, 상업용 난백을 사용하여 형성된 거품은 불안정하고 약하게 보였으며 쉽게 꺼지는 현상도 관찰 되었다.

Oldham et al.(2000) 따르면 난백의 기포성은 달걀의 신선도, 교반시 온도, 난백분말 상태의 pH 및 교반속도 등에 의해 다소 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 또한 난백은 알칼리성 상태(pH 9)에서는 거품의 형성능력은 크나 안정성이 저하되며, 거품의 안정성은 등전점(pH 4.6~4.9)에서 가장 크다고 하였다.

Angel food cake의 반죽 상태에서의 pH는 상업용 난백분말을 소재로 한 반죽의 경우 4.36으로 대조구의 pH인 5.85에 비해 크게 벗어났으며 시제품 난백분말을 소재로 한 반죽의 경우 pH는 각각 4.61~5.89의 범위를 보였다. 이 중 pH 7.72/76°C인 난백분말을 소재로 한 반죽의 경우 pH가 5.89로 대조구의 pH 5.85와 거의 일치하였다. 김 등(2001)은 cake의 반죽이 고유의 pH 범위를 벗어나 산성 쪽으로 치우치게 되면 cake는 미세한 기공, 옅은 표피의 색깔, 약한 향, 톡 쏘는 맛 및 작은 부피 등을 나타내며 알칼리성 쪽으로 치우치게 되면 거친 기공, 강한 표피의 색상 및 강한 향과 소다 맛이 난다고 보고하였다. 또한 angel food cake 반죽의 pH는 5.2~6.0으로 약산성이어야만 cake의 특성을 잘 살릴 수 있다고 하였다. 본 실험에서 주어진 3가지 조건으로 제조된 난백분말을 소재로 하여 만든 반죽의 경우 pH가 4.61~5.89까지로 다소 차이는 있지만 pH 6.34/72.5°C인 난백분말을 소재로 한 경우를 제외하고 나머지 경우는 모두 pH가 5.2~6.0 범위에 속하므로 cake로서 요구되는 여러 가지 특성에 바람직한 결과를 가져올 수 있으리라 생각된다.

**Table 70. pH of egg white solution, foam and angel food cake batter.**

	pH of samples				
	FEW <sup>1)</sup>	Egg white powder			
		pH 6.34/72.5°C	pH 6.74/66.5°C	pH 7.72/76°C	Commercial
Solution <sup>2)</sup>	9.51 <sup>d</sup>	9.78 <sup>c</sup>	10.30 <sup>b</sup>	10.65 <sup>a</sup>	6.42 <sup>e</sup>
Foam <sup>3)</sup>	6.02 <sup>a</sup>	4.47 <sup>c</sup>	5.48 <sup>b</sup>	5.88 <sup>a</sup>	4.29 <sup>d</sup>
Batter <sup>4)</sup>	5.85 <sup>a</sup>	4.61 <sup>c</sup>	5.34 <sup>b</sup>	5.89 <sup>a</sup>	4.36 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Fresh egg white.

<sup>2)</sup>Egg white or egg white powder + D.W.

<sup>3)</sup>2) + sugar + NaCl + L-tartaric acid.

<sup>4)</sup>3) + powdered sugar + flour.

<sup>a,e</sup>: Means not sharing a superscript in the same column are significantly different (p<0.05).

## 2) Angel food cake의 비중 및 부피

일반적으로 cake의 반죽온도는 cake 제품의 부피와 조직의 치밀도에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. Cake의 반죽온도가 18℃이하로 낮은 경우 거품형성 능력이 저하되어 비중이 높아져 제품의 부피가 작아지고 조직이 치밀하게 형성되며 반대로 반죽의 온도가 26℃이상으로 높아지면 비중이 낮아져서 기공이 크게 되고 부피가 큰 제품이 형성된다.

따라서 정확한 비중을 측정하기 위하여 거품 낼 때와 반죽할 때의 온도를 24℃로 일정하게 유지한 상태에서 비중을 측정한 결과는 **Table 71**과 같다. 시제품 난백분말로 만든 거품의 비중은 0.20~0.22로 대조구의 비중과 유사하게 나타났으나 상업용 난백분말로 만들어진 거품의 비중은 0.31로 유의적 차이를 보였다. 반죽의 비중 역시 시제품 난백분말로 만든 반죽의 경우 0.32~0.33으로 대조구의 비중과 유의차가 없으나 상업용 난백분말로 만든 반죽은 0.42로 큰 차이가 관찰되었다.

Angel food cake의 부피를 측정한 결과 주어진 시제품 난백분말로 만든 cake의 부피는 1718.33~1773.67 cc로 대조구의 부피와 유사한 반면 상업용 난백분말로 만든 cake의 부피는 1345.42 cc로 대조구의 부피에 비해 매우 적은 것으로 나타났는데 이는 불안정하고 약했던 거품이 반죽과정에서 쉽게 꺼지거나 소멸되기 때문인 것으로 생각된다.

## 3) Angel food cake의 물성과 색도

### 가) Angel food cake의 물성

Kawasome(1990)에 따르면 cake의 경도, 검성 및 씹힘성 등은 입안에서의 촉감과 상관관계가 높은 것으로 보고되어 있다. 따라서 angel food cake의 물성을 측정하는데 있어 입안의 촉감과 높은 상관관계를 보이는 경도(hardness), 검성(gumminess) 및 씹힘성(chewiness) 등을 중심으로 하였으며 참고적으로 그 외 취성(fracturability), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness) 및 원상회복성(resilienc) 등의 물성의 변화를 관찰하였다(**Table 72**).

경도는 시제품 난백분말로 만든 angel food cake의 경우 대조구의 경도와 비교하여 유의적 차이를 보이지 않았으며 난백의 pH가 상승함에 따라 경도가 증가하는 경향을 나타냈다. 상업용 난백분말로 만든 angel food cake의 경우는 경도가 매우 높았으며 대조구 경도의 10배에 해당하였다.

**Table 71. Specific volume and volume of angel food cake.**

		FEW <sup>1)</sup>	Egg white powder			
			pH 6.34/72.5°C	pH 6.74/66.5°C	pH 7.72/76°C	Commercial
Specific volume (g/cc)	Foam	0.22 <sup>b</sup>	0.20 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.22 <sup>b</sup>	0.31 <sup>a</sup>
	Batter	0.33 <sup>b</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.33 <sup>b</sup>	0.32 <sup>b</sup>	0.42 <sup>a</sup>
Volume (cc)		1716.22 <sup>b</sup>	1718.33 <sup>b</sup>	1731.00 <sup>ab</sup>	1773.67 <sup>a</sup>	1345.42 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Fresh egg white.

<sup>a,c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 72. Textural attributes of angel food cake.**

		FEW <sup>1)</sup>	Egg white powder			
			pH 6.34/72.5°C	pH 6.74/66.5°C	pH 7.72/76°C	Commercial
Hardness		1710.22 <sup>b</sup>	1195.58 <sup>b</sup>	1528.74 <sup>b</sup>	2308.33 <sup>b</sup>	17122.79 <sup>a</sup>
Gumminess		1210.00 <sup>b</sup>	1089.66 <sup>b</sup>	1109.14 <sup>b</sup>	1587.42 <sup>b</sup>	11882.37 <sup>a</sup>
Chewiness		1074.33 <sup>bc</sup>	1011.43 <sup>b</sup>	1035.21 <sup>bc</sup>	1449.89 <sup>b</sup>	7551.92 <sup>a</sup>
Fracturability		17.50 <sup>b</sup>	17.76 <sup>b</sup>	18.22 <sup>a</sup>	17.65 <sup>b</sup>	17.05 <sup>b</sup>
Springiness		0.90 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.58 <sup>b</sup>
Adhesiveness		-23.73 <sup>a</sup>	-33.23 <sup>a</sup>	-23.32 <sup>a</sup>	-28.69 <sup>a</sup>	-168.97 <sup>b</sup>
Resilience		0.27 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.35 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Fresh egg white.

<sup>a,c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

검성과 씹힘성 모두 시제품 난백분말로 만든 angel food cake는 대조구와 비교하여 유의적 차이가 관찰되지 않았으나 상업용 난백분말로 만든 angel food cake의 경우 대조구와 차이를 나타냈다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 angel food cake의 조직감 특성은 신선난백과 차이를 나타내지 않았으며, 시판되고 있는 난백분말과 비교하여 훨씬 더 신선난백의 기능특성에 근접하는 것으로 판단된다.

#### 나) Angel food cake의 색도

Angel food cake 내부의 색도를 Hunter 색차계의 L, a, b 값으로 표시한 결과는 **Table 73**과 같다. L값은 상업용 난백분말과 pH 6.34/72.5°C 조건의 난백 시제품을 이용하여 제조한 angel food cake의 경우만 대조구와 차이를 보이지 않았으며 나머지의 경우 대조구와 비교하여 명도가 감소하는 것으로 나타났다. 적색도(a)는 모든 처리구간에 차이를 나타내지 않았으며 황색도(b)는 시제품 중 pH6.34/72.5°C, pH6.74/66.5°C 가 대조구와 차이를 보이지 않았다. Redle(1983)은 cake는 당의 카라멜화와 아미노카르보닐 반응에 의해 착색된다고 보고하였으며 Bower(1992)에 따르면 반죽의 pH는 cake의 착색정도에 영향을 주어 pH가 높을수록 당의 카라멜화와 아미노카르보닐 반응에 의한 착색이 쉽게 일어난다고 보고하였다.

#### 4) Angel food cake의 관능적 품질평가

시제품 난백분말을 이용하여 제조한 angel food cake의 관능적 특성을 9점 척도법을 이용하여 평가하였다. 외관의 특성을 평가하는데 중요한 cake 단면의 기공 크기와 기공의 균일성은 모두 대조구의 기준치 5보다 크게 나타나 기공의 크기가 대조구에 비해 큰 것으로 나타났으나 통계적 유의차는 없었다.

Cake 내부의 색과 맛 역시 대조구와 비교하여 유의적인 차이는 나타나지 않았다(**Table 74**).

이취의 경우에는 상업용 난백분말이 높은 것으로 나타났으며 angel food cake의 강도 역시 대조구의 조직감 특성과 차이를 보여 전반적 기호도를 감소시키는 원인이 되었다. **Fig. 47**은 시료로 사용된 angel food cake의 단면을 촬영한 사진으로서 상업용 분말의 경우 육안으로도 기공의 크기가 크고 균일하지 않음을 식별할 수 있었다.

**Table 73. Crumb color values of angel food cake.**

Color	FEW <sup>1)</sup>	Egg white powder			
		pH 6.34/72.5°C	pH 6.74/66.5°C	pH 7.72/76°C	Commercial
L	93.21 <sup>a</sup>	92.44 <sup>ab</sup>	91.80 <sup>b</sup>	91.46 <sup>b</sup>	91.84 <sup>b</sup>
a	-1.18 <sup>a</sup>	-1.11 <sup>a</sup>	-1.10 <sup>a</sup>	-1.04 <sup>a</sup>	-1.02 <sup>a</sup>
b	10.44 <sup>b</sup>	10.85 <sup>b</sup>	10.80 <sup>b</sup>	11.43 <sup>a</sup>	11.31 <sup>a</sup>
$\Delta E$	95.35 <sup>a</sup>	94.43 <sup>ab</sup>	94.38 <sup>ab</sup>	94.25 <sup>b</sup>	94.47 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup>Fresh egg white.

<sup>a,b</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Table 74. Sensory characteristics of angel food cake.**

	FEW <sup>1)</sup>	Egg white powder			
		pH 6.34/72.5°C	pH 6.74/66.5°C	pH 7.72/76°C	Commercial
Cell size	5 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>	6.67 <sup>a</sup>	6.0 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a</sup>
Cell uniformity	5 <sup>a</sup>	4.36 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	4.91 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>
Color	5 <sup>b</sup>	5.81 <sup>a</sup>	5.83 <sup>a</sup>	5.67 <sup>a</sup>	5.64 <sup>a</sup>
Taste	5 <sup>a</sup>	4.27 <sup>a</sup>	5.25 <sup>a</sup>	5.25 <sup>a</sup>	3.64 <sup>a</sup>
Off-odor	5 <sup>c</sup>	6.27 <sup>bc</sup>	5.25 <sup>c</sup>	5.08 <sup>c</sup>	7.72 <sup>ab</sup>
Hardness	5 <sup>b</sup>	4.18 <sup>b</sup>	4.08 <sup>b</sup>	4.67 <sup>b</sup>	7.73 <sup>a</sup>
Overall acceptance	6.42 <sup>a</sup>	4.54 <sup>ab</sup>	6.25 <sup>a</sup>	5.08 <sup>ab</sup>	2.45 <sup>bc</sup>

<sup>1)</sup>Fresh egg white.

<sup>a,c</sup>: Means not sharing a superscript letter in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

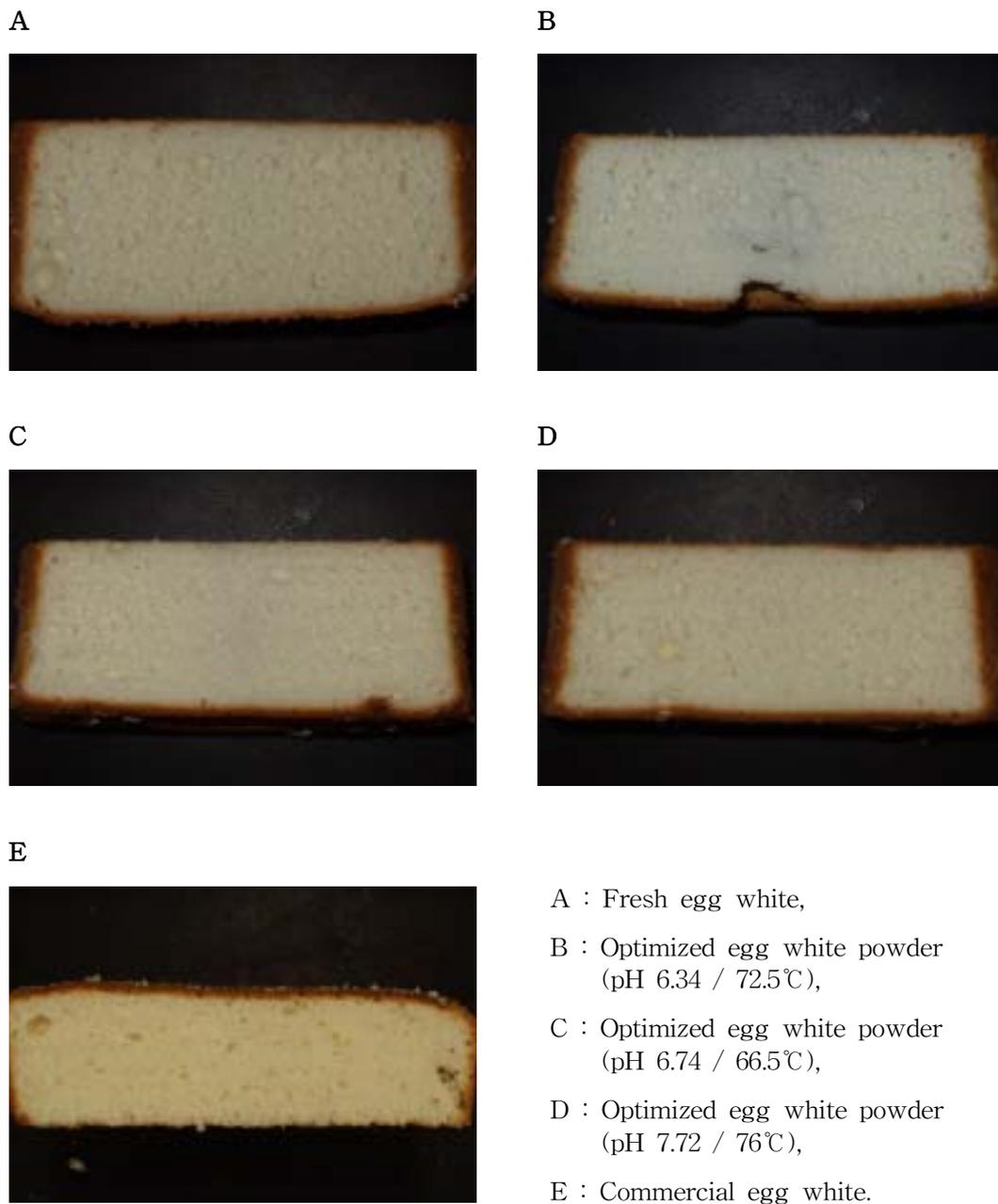


Fig. 47. Cross sectional view of angel food cakes prepared using egg white powder.

위의 결과를 종합하면 pH 6.74/66.5°C 조건의 시제품으로 제조한 angel food cake은 관능적 품질 평가의 모든 면에서 대조구의 평가 수준과 같게 나타났으며 다른 시제품도 대조구와 근소한 차이를 보였다. 그러므로 신선난백을 본 연구과제에서 생산한 시제품으로 대체하여 angel food cake를 제조하여도 전반적인 관능적 특성에는 변화가 없을 것으로 판단된다.

#### 차. 고기능성 달걀분말 생산을 위한 공정 설계

본 연구의 결과를 토대로 달걀을 수집하는 단계로부터 시작하여 최종제품이 생산되기까지 가공공정을 설계하여 흐름도로 표시하면 Fig. 48과 같다. 수집된 달걀은 최종제품의 위생적 품질 유지를 위하여 물로 세척하거나, 필요한 경우 비누를 이용할 수 있다. 비누의 pH는 잔존하는 미생물의 종류와 수에 영향을 미칠 수 있으므로 주의하여 선택하여야 하며 세정수의 온도는 달걀의 품온보다 약 10°C 정도 높은 것이 권장되고 있다. 세척된 달걀은 즉시 할란작업을 수행하도록 하는 것이 좋다. 액란 처리 시설을 가지고 있으면 대부분의 경우 자동할란 장치를 이용하고 있다.

할란 후 고 기능성 난백 분말 생산을 위한 첫 번째 단계는 원심분리 등의 방법을 이용하여 알끈(chalazae)이나 침전물을 제거하는 단계이며 알끈의 경우 부산물 가공을 위하여 회수되기도 한다. 또한 고부가가치의 기능성 소재 분리 시설이 있는 경우에는 탈당 전 lysozyme 등을 추출하는 공정을 수행할 수 있다. 탈당의 경우 주로 박테리아, 효모 발효나 glucose oxidase를 이용한 발효 공정을 적용할 수 있는데 본 연구의 경우 효모 발효를 이용하여 우수한 결과를 얻었다. 탈당 과정은 난백 분말의 기능성에 영향을 미치지 않는 않지만 건조가열 처리의 적용과 장기적인 저장을 위해서는 필수적인 과정으로 판단된다.

분무건조 전 난백의 고형분 함량이 20% 정도가 되도록 농축하여 건조 효율을 높이는 방법을 산업적으로 적용할 수 있다. 농축은 한외여과 설비가 있는 경우 이용할 수 있으나 이 여과법에서는 나트륨과 같은 저분자의 염이 제거되므로 염의 감소가 거품형성 능력에 영향을 줄 수 있다. 난백의 분무건조 조건은 생산된 난백 분말의 기능성에 결정적인 영향을 미치는 것으로 조사되었는데 생산하고자 하는 소재의 용도에 따라 난백의 pH와 건조온도를 달리하여 적용하는 것이 바람직하다. 본 연구 결과에 따르면 거품형성용 난백의 경우는 pH 6.34, 건조온도 73°C, 고강도 겔 형성용 난백은 pH 8.23,

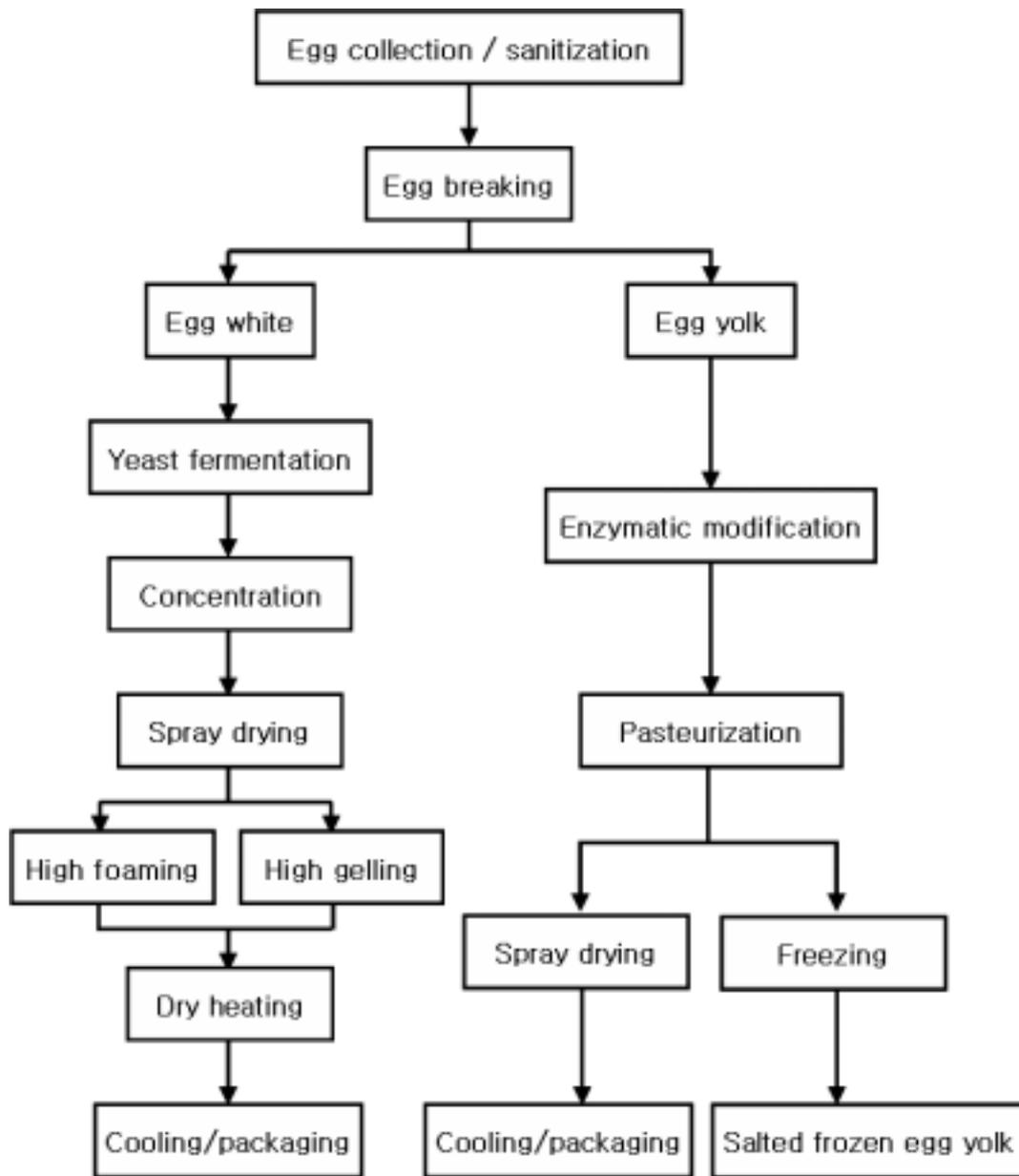


Fig. 48. Flow chart for the production of functional egg white and egg yolk powder.

건조온도 66°C가 건조 조건으로 적당하였다.

분무 건조에 의한 난백의 분말화 후 건조가열은 거품형성능력 및 겔의 강도 등 난백의 기능 특성을 효과적으로 향상시키는 것으로 보고되어 있다. 효율적 건조가열 조건은 연구자에 따라 차이를 나타내는데 주로 67°C 15일(Baron et al., 2003), 80°C 10일(Kato et al., 1989), 90°C 21시간(Hammershøj et al., 2004) 등이 적용되고 있다. 본 연구에서는 75°C 5일의 건조 가열 시 기능 특성의 유의적 상승효과가 관찰되었으며 더 이상 건조가열 시간의 연장은 불필요한 것으로 나타났다. 최근에는 fluidized bed를 이용한 건조가열 방법이 소개되었으며 난백분말의 건조가열에 의한 미생물학적 물리화학적 특성 변화가 보고되었다(Hammershøj et al., 2006a; Hammershøj et al., 2006b). 건조가열 과정 후 난백분말의 미생물학적 품질은 문제가 없는 것으로 나타났으며 액상 난백의 살균 과정 중 기능성의 감소가 일어날 수 있으므로 건조가열로 살균을 대체하는 방법의 적용이 바람직한 것으로 판단된다. 분무건조 된 난백의 경우 산업적으로는 54.4°C 7일의 건조가열 공정을 거친 제품은 "*Salmonella free*"로 인정할 수 있다고 보고되어 있다.

난황의 경우 유화능력 및 안정성을 향상시키고자 하는 주요 기능 특성으로 선정하였다. Phospholipase A<sub>2</sub>에 의한 난황인지질의 변형은 난황의 친수성을 향상시킴으로써 유화능력과 안정성의 현저한 개선이 관찰되었으며 더불어 용해도의 유의적 증가를 나타냈다. 효소처리 과정은 55°C에서 73분간 진행되므로 반응시간 중 미생물의 오염 가능성이 크지 않은 것으로 판단된다. 효소반응과정에서는 11%의 식염이 첨가되므로 신선 난황 살균 조건의 변형이 필요한데 이는 식염의 첨가가 살모넬라의 내열성을 증가시키기 때문이다. 가열난황의 살균 온도는 62.2°C 3.1분이나 63.3°C 1.75분 정도면 충분한 것으로 알려져 있으며 이 같은 난황의 살균 조건은 유화능력의 변화를 일으키지 않는 것으로 보고되었다.

살균 후 급속 냉동을 실시하면 기능 특성이 향상 된 냉동가열난황의 형태로 유통시킬 수 있으며 분무건조를 거쳐 난황건조분말을 제조할 수 있다. 현재 냉동가열난황은 마요네즈 생산의 원료로 사용되고 있다. 난황분말의 경우 열에 대한 민감성이 난백보다 더 높을 수 있으므로 분무건조 후에는 신속하게 냉각하는 것이 바람직하다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야의 기여도

### 제 1 절 주관과제 :

#### 달걀 소재의 표준화된 기능성 평가 방법의 설정 및 고기능성 분말 소재 생산을 위한 단백질 구조 변형 기술의 개발

주관과제는 난백과 난황의 이화학적 특성을 평가하기 위한 간편하고 재현성 있는 방법을 설정하고 난백과 난황분말의 기능성 향상을 위한 가공 방법을 제안하는 것을 목표로 하고 있다.

이 중 난백의 거품형성을 간편하게 측정하는 방법은 새롭게 정리하여 한국식품과학회지에 게재하였으며 유화능력의 측정 방법은 기존에 사용되고 있는 방법을 난황의 유화능력 평가에 적합하도록 변형하였다. 다양한 가공 조건을 변형하여 난백분말을 생산하고 난백분말의 거품 형성 능력을 평가하여 가공 조건의 변형이 난백분말의 기능성에 미치는 효과를 측정하였으며 반응표면분석법을 이용하여 기능성 향상에 결정적인 영향을 미치는 건조 전 난백의 pH와 분무 건조 조건의 최적화 조건을 도출하였다. 또한, 기능성 난황분말의 생산을 위한 효소적 변형 조건을 제시하였으며 시제품을 마요네즈 제조에 활용하여 신선 난황을 대체할 수 있음을 입증하였다.

본 연구과제에서 제시한 가공 기술은 일차적으로 고기능성 달걀 분말의 생산을 위한 난가공 방법으로 적용이 가능하며 향후 식품 분말 소재의 기능성 평가 방법 및 이화학적 기능성 극대화를 위한 연구에 활용될 수 있다. 난가공 기술에 관한 체계적 연구가 전혀 이루어지지 않은 국내의 실정을 고려할 때 본 연구 결과는 매우 구체적이고 유익한 정보를 제공하였다고 자부하는 바이다.

## 제 2 절 제 1 협동과제 :

### 달걀 단백질의 구조적 특성 변화와 이화학적 기능성의 상관관계 및 처리조건 최적화

제 1 협동 과제에서는 다양한 전처리 조건에 따른 난백의 물성 변화를 측정하고 단백질의 구조적 변화와 물성과의 상관성을 규명하였으며 여러 가지 조건에서 제조된 난백분말 겔의 조직감을 평가하여 반응표면분석법으로 최적 처리조건을 도출하였다.

건조 전 난백의 pH 조절은 동일한 건조 조건에서 제조된 난백분말 겔의 조직감 변화를 일으키는 중요한 요인이 될 수 있음을 실험적으로 입증하였으며 이때 일어나는 난백단백질들의 변화와 이화학적 특성과의 상관관계에 관한 결과를 Food Science and Biotechnology에 게재하였다.

겔 형성 능력이 최적화 된 난백분말 시제품의 용도별 적용 연구결과 수리미와 국수의 물성을 효과적으로 변형할 수 있었으며 수입 시판난백분말과 유사한 제품적성을 가진 것을 확인하였다.

## 제 3 절 제 2 협동과제 :

### 액란의 이화학적 기능성을 유지할 수 있는 건조 및 안정화 조건 설정을 통한 대량생산 공정 확립

제 2 협동 과제에서는 고기능성 난백이나 난황의 생산을 위하여 필요한 전처리 조건 및 분무 건조 조건이 다른 다양한 시료를 생산하고 주관기관 및 제 1협동기관에 제공하여 기능성 평가가 가능하도록 하였다. 가공 처리 방법에서는 효과적인 탈당공정을 정립하였으며 난백시제품의 미생물학적 품질을 조사하여 가열 살균 방법으로서 건조 가열의 유효성을 확인하였다.

시제품의 적용 실험에서는 거품형성 능력이 최적화 된 난백시제품을 이용하여 angel food cake을 제조하고 물리적, 관능적 품질 특성을 비교분석하여 상업적으로 신선 난백의 잠재적 대체 가능성이 충분함을 입증하였다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용 계획

달걀은 저장성이 떨어지고 생산의 급격한 조절이 불가능하여 저장 및 보관, 가공시설이 필수적이다. 그럼에도 불구하고 우리나라의 난가공 시설은 매우 빈약하여 물량을 조절할 수 있는 기능이 약하고 수급조절이 불가능해지며 궁극적으로는 가격의 불안을 초래한다.

국내 산란계 농가는 급속히 대형화 되는 추세인데 반하여 국내 액란 가공산업은 영세한 수준에 머무르고 있으므로 액란 가공기술의 개발은 산란계 농가 보호를 위하여 필수적인 것으로 생각된다. 액란가공산업 주체가 경제적 가치가 적은 등외란이나 파란을 적극적으로 활용하여 2차 가공산업을 실시할 경우 고부가가치의 자원으로 전환이 가능할 수 있다. 현실적인 측면에서 냉장 및 냉동유통의 비용 및 안전성의 문제를 고려할 때 현 단계에서는 안전성의 문제가 적으며 범용적인 사용 형태인 분말 제품화의 기술 개발이 적합하다.

따라서, 본 연구의 최종 목표인 달걀 분말 제품의 물리화학적 기능성의 향상 및 대량생산 기술은 상업적 이용가능성을 가지고 있으며 침체한 액란 가공 산업의 활성화를 위한 돌파구가 될 것으로 생각된다. 현재 해외에서는 일부 용도가 차별화 된 난백이나 난황 분말이 판매되고 있기는 하나 전세계적으로 고부가가치의 식품소재 생산기술은 특허화 하여 보호되고 있으므로 기술도입보다는 현 연구개발 결과의 산업적 활용이 합리적으로 판단된다.

본 연구과제에서 생산된 시제품의 식품 생산 적용 결과는 시제품이 신선한 난백이나 난황을 대체할 수 있는 가능성을 가지고 있음을 시사하였으며 시판중인 수입 난백이나 난황보다 기능적 측면에서 우수함을 입증하였다. 따라서 본 연구에서 제안한 가공 기술은 산업체로의 기술 이전을 통하여 산업적 활용이 가능할 것으로 판단되며 일차적으로 수입 달걀 분말이 주류를 이루고 있는 내수시장의 국산화를 통한 자원의 효율적 활용이 가능하리라 생각 된다. 또한 고기능성 달걀 분말 제품이 신선 난백이나 난황의 기능을 효과적으로 대체하고 균일하고 표준화 된 제품 생산에 기여할 수 있음을 적극 홍보하도록 하면 난가공 기술의 활용 범위를 증대시킬 수 있을 것으로 기대한다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

고분자 물질의 겔 형성능력은 인체 내 기능성 성분을 전달하는 담체로 사용될 수 있다. 실제적으로 의약품의 유효 성분을 전달하는 담체로 활용되는 물질은 식품으로 활용하기에 적합하지 않은 것들이 대부분이므로 식품단백질은 기능성 식품의 효율적 전달을 위한 담체로 활용하기에 적합한 장점을 가지고 있다(Chen et al., 2006). 최근 식품단백질을 이용하여 나노영역의 담체를 형성하려는 노력이 활발히 진행되고 있으며 우유 단백질의 하나인  $\beta$ -lactoglobulin과 난백단백질인 ovalbumin을 이용한 나노입자의 형성은 잠재적인 응용가능성이 높은 것으로 평가되고 있다.

식품이 아닌 분야에서 난백분말의 이용가능성은 거의 주목을 받지 못하였다. 난백분말은 80℃ 이상의 온도에서 비가역적인 겔을 용이하게 형성할 수 있는데 단백질의 아미노산 잔기를 화학적으로 변형하면 겔의 수화능력이나 특정 이온에 대한 흡수 능력을 변화시킬 수 있는 것으로 보고되었다(Rathna et al., 2004). 따라서, 난백겔의 특성을 적절히 변형할 경우 식품 분야 뿐 아니라 의약품이나 생물공학의 분야로 응용될 수 있는 소재의 생산이 가능할 것으로 추측된다.

## 제 7 장 참고문헌

AACC. Approved method. The Association of American Association of Cereal Chemists, St, Paul, Minn. Sec. 10 - 15 (1985)

Abousalham A, Verger R. Egg yolk lipoproteins as substrates for lipases. *Biochim. Biophys. Acta* 1485: 56-62 (2000)

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)

Baron F, Nau F, Guerin-Dubiard C, Gonnet F, Dubois JJ, Gautier M. Effect of dry heating on the microbiological quality, functional properties, and natural bacteriostatic ability of egg white after reconstitution. *J. Food Protect.* 66: 825-832 (2003)

Beveridge T, Toma SJ, Nakai S. Determination of SH- and SS-groups in some food proteins using Ellman's reagent. *J. Food Sci.* 39: 49-51 (1974)

Bower, J. *Food theory and applications*. 2nd ed. pp. 326. MacMillan. (1992)

Buttkus H. On the nature of the chemical and physical bonds which contribute to some structural properties of protein foods: A hypothesis. *J. Food Sci.* 39: 484-489 (1974)

Cameron DR, Weber ME, Idziak ES, Neufeld RJ, Cooper DG. Determination of interfacial areas in emulsions using turbidimetric and droplet size data: correction of the formula for emulsifying activity index. *J. Agric. Food. Chem.* 39: 655-659 (1991)

Campbell L. Fat replacement material and method of manufacture. Patent PCT WO 02/49442 A1 (2002)

Chen L, Remondetto E, Subirade M. Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends Food Sci. Technol.* 17: 272-283 (2006)

Clark DC, Mackie AR, Smith LJ, Wilson D. The interaction of bovine serum albumin and lysozyme and its effect on foam composition. *Food Hydrocolloids* 2: 209-223 (1988)

Cunningham FE. Egg-products pasteurization. pp. 289-321. In: *Egg Uses and Processing Technologies*. Sim JS, Nakai S. (eds). CAB International, Wallingford, UK (1994)

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)

Damodaran S. Functional properties. pp. 167-234. In: *Food Proteins, Properties and Characterization*. Nakai S, Modler HW (eds). VCH Publishers Inc., New York, NY, USA (1996)

Davis JP, Foegeding EA. Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *J. Food Sci.* 69: 404-410 (2004)

Depree JA, Savage GP. Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends Food Sci. Technol.* 12: 157-163 (2001)

Dickinson E. Competitive protein adsorption. *Food Hydrocolloids* 1: 3-23 (1986)

Doi E, Kitabatake N. Structure and functionality of egg proteins. pp. 325-340. In: Food Proteins and Their Applications. Damodaran S, Paraf A (eds). Marcel Dekker Inc., New York, NY, USA (1997)

Donovan JW, Mapes CJ, Davis JG, Garibaldi JA. A differential scanning calorimetric study of the stability of egg white to heat denaturation. J. Sci. Food Agric. 26: 73-83 (1975)

Dutilh CE, Groger W. Improvement of product attributes of mayonnaise by enzymic hydrolysis of egg yolk with phospholipase A<sub>2</sub>. 32: 451-458 (1981)

Foegeding EA, Luck PJ, Davis JP. Factors determining the physical properties of protein foams. Food Hydrocolloids 20: 284-292 (2006)

Franke K, Kießling M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. J. Sci. Food Agric. 82: 1837-1841 (2002)

Guilmineau F, Kulozik U. Impact of a treatment on the emulsifying properties of egg yolk. Part 2: Effect of the environmental conditions. Food Hydrocolloids. Received 25 July 2005; accepted 8 December 2005

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)

Hagolle N, Launay B, Relkin P. Impact of structural changes and aggregation on adsorption kinetics of ovalbumin at the water/air interface. Colloids Surf. B. Biointerface 10: 191-198 (1998)

Halling PJ. Protein-stabilized foams and emulsions. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15: 155-203 (1981)

Hammershøj M, Nording JA, Rasmussen HC, Carstens, JH, Pedersen H. Dry-pasteurization of egg albumen powder in a fluidized bed. I. Effect on microbiology, physical and chemical parameters. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41: 259-261 (2006a)

Hammershøj M, Rasmussen HC, Carstens, JH, Pedersen H. Dry-pasteurization of egg albumen powder in a fluidized bed. II. Effect on functional properties: gelation and foaming. *Int. J. Food Sci. Technol.* 41: 263-274 (2006b)

Hammershøj M, Peters LV, Anderson HJ. The significance of critical processing steps in the production of dried egg albumen powder on gel textural and foaming properties. *J. Sci. Food Agric.* 84: 1039-1048 (2004)

Hammershøj M, Qvist KB. Importance of hen age and egg storage time for egg albumen foaming. *Lebensm. Wiss. Technol.* 34: 118-120 (2001)

Handa A, Hayashi K, Shidara H, Kuroda N. Correlation of the protein structure and gelling properties in dried egg white products. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3957-3964 (2001)

Handa A, Takahashi K, Kuroda N, Fronning GW. Heat-induced egg white gels as affected by pH. *J. Food Sci.* 63: 403-407 (1998)

Hsu KC, Chian BH. Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the colour and texture of threadfin and hairtail surimi gels. *Int. J. Food Sci. Tech.* 37: 387-393 (2002)

Huh YS, Kim HW, Kim IH. Purification of lysozyme from egg white by multicycle ion exchange chromatography. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 18: 122-126 (2003)

Jang A, Jo YJ, Lee M, Kim JC. Development of the purification method of ovotransferrin in egg white. *J. Anim. Sci & Technol.* 47: 1025-1032 (2005)

Johnson TM, Zabik ME. Response surface methodology for analysis of protein interactions in angel cakes. *J. Food Sci.* 46: 1226-1230 (1981)

Kato A, Ibrahim HR, Nakamura S, Kobayashi K. New methods for improving the functionality of egg white proteins. pp. 250-268. In: *Egg Uses and Processing Technologies*. Sim JS, Nakai S. (eds). CAB International, Wallingford, UK (1994)

Kato A, Ibrahim HR, Takagi T, Kobayashi K. Excellent gelation of egg white preheated in the dry state is due to the decreasing degree of aggregation. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1868-1872 (1990)

Kato A, Ibrahim HR, Watanabe H, Honma K, Kobayashi K. Structural and gelling properties of dry-heating egg white proteins. *J. Agric. Food Chem.* 38: 32-37 (1990)

Kato A, Ibrahim HR, Watanabe H, Honma K, Kobayashi K. New approach to improve the gelling and surface functional properties of dried egg white by heating in dry state. *J. Agric. Food Chem.* 37: 433-437 (1989)

Kawamoto S, Yamamoto Y. Effect of butter content on the texture of sponge cakes. *J Home Econ.* 41: 71-75 (1990)

Kim J, Lee CS, Oh J, Kim BG. Production of egg yolk lysolecithin with immobilized phospholipase A2. *Enzyme Microb. Technol.* 29: 587–592 (2001)

Kinsella JE. Functional properties of protein: possible relationships between structure and function in foams. *Food Chem.* 7: 273–288 (1981)

Kitabatake N, Doi E. Conformational change of hen egg ovalbumin during foam formation detected by 5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid). *J. Agric. Food Chem.* 35, 953–957 (1987)

Kristinsson HG, Hultin HO. Effect of low and high pH treatment on the functional properties of cod muscle proteins. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5103–5110 (2003)

Kuksis A. Yolk lipids. *Biochim. Biophys. Acta* 1124: 205–222 (1992)

Lau K, Dickinson E. Structural and rheological properties of aerated high sugar systems containing egg albumin. *J. Food Sci.* 69: 232–239 (2004)

Lechevalier V, Croguennec T, Pezennec S, Guerin-Dubiard C, Pasco M, Nau F. Evidence for synergy in the denaturation at the air-water interface of ovalbumin, ovotransferrin and lysozyme in ternary mixture. *Food Chem.* 92: 79–87 (2005)

Lechevalier V, Croguennec T, Pezennec S, Guerin-Dubiard C, Pasco M, Nau F. Ovalbumin, ovotransferrin, lysozyme: three model proteins for structural modifications at the air-water interface. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6354–6361 (2003)

Lee WC, Chen TC. Functional characteristics of egg white solids obtained from papain treated albumen. *J. Food Eng.* 51: 263–266 (2000)

- Liang Y, Kristinsson, HG. Influence of pH-induced unfolding and refolding of egg albumen on its foaming properties. *J. Food Sci.* 70: C222-C230 (2005)
- Li-Chan EC, Powrie WD, Nakai S. The chemistry of egg and egg proteins. pp. 105-175. In: *Egg Science and Technology*. Stadelman WJ, Cotterill OJ (eds). Food Products Press., New York, NY, USA (1995)
- Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193: 265-275 (1951)
- Margoshes BA. Correlation of protein sulfhydryls with the strength of heat-formed egg white gels. *J. Food Sci.* 55: 1753-1756 (1990)
- Markwell MA, Hass SM, Bieber LL, Tolbert NE. A modification of the lowry procedure to simplify protein determination in membrane and lipoprotein samples. *Anal. Biochem.* 87: 206-210 (1978)
- McBee LE, Cotterill OJ. High temperature storage of spray dried egg white. 3. Thermal resistance of *Salmonella organienburg*. *Poultry Sci.* 50: 452-458 (1971)
- Mine Y. Emulsifying characterization of hens egg yolk proteins in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids* 12: 409-415 (1998)
- Mine Y. Effect of dry heat and mild alkaline treatment on functional properties of egg white proteins. *J. Agric. Food Chem.* 45: 2924-2928 (1997)
- Mine Y. Effect of pH during the dry heating on the gelling properties of egg white proteins. *Food Res. Int.* 29: 155-161 (1996)

Mine Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 225-232 (1995)

Mitzutani R, Nakamura R. The contribution of polypeptide moiety on the emulsifying properties of egg yolk low density protein (LDL). *Lebensm. Wiss. Technol.* 18: 60-63 (1985)

Neto VQ, Narain N, Silva JB, Bora PS. Functional properties of raw and heat processed cashew nut (*Anacardium Occidentale L.*) kernel protein isolate. *Nahrung* 45: 258-262 (2001)

Oldham AM, McComber DR, Cox DF. Effect of cream tartar level and egg white temperature on angel food cake quality. *Family Consumer Sci. Res. J.* 29: 111-124 (2000)

Onda M, Tatsumi E, Takahashi N, Hirose M. Refolding of urea-denatured ovalbumin that comprises non-native disulfide isomers. *J. Biochem.* 122: 83-89 (1997)

Park JW. Ingredient technology and formulation development. pp. 343-391 In : *Surimi and surimi seafood*. Park JW (eds). Marcel Dekker, New York, NY, USA (2000)

Park JW. Functional protein additives in surimi gels. *J. Food Sci.* 59: 525-527 (1994)

Pearce KN, Kinsella JE. Emulsifying properties of protein: evaluation of a turbidimetric technique. *J. Agric. Food Chem.* 26: 716-723 (1978)

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)

Pozharski EV, McWilliams L, MacDonald RC. Relationship between turbidity of lipid vesicle suspensions and particle size. *Anal. Biochem.* 291: 158-162 (2001)

- Rathna GVN, Li J, Gunasekaran S. Functionally-modified egg white albumen hydrogels. *Polym. Int.* 53: 1994-2000 (2004)
- Reidle MA, Klein BP. Effect of soy field flour substitution on physical characteristics of chemically leavened quick bread. *Cereal Chem.* 60: 367-370 (1983)
- Relkin P, Hagolle N, Dalgleish DG, Launay B. Foam formation and stabilization by pre-denatured ovalbumin. *Colloids Surf. B. Biointerface* 12: 409-416 (1999)
- Ryu JH, Park CW, Lee JM, Shon DH. Antigenicity changes of ovomucoid and ovalbumin in chicken egg white by NaOH, heat and protease treatments. *Korean J. Food Sci. Technol.* 36: 147-151 (2004)
- Singer NS, Yamamoto S, Latella J. Protein product base. U.S. patent 4,734,287 (1988)
- Stahe SK, Deshpande SS, Salunkhe DK. Functional properties of lupin seed proteins and protein concentrates. *J. Food Sci.* 47: 491-497 (1982)
- Tatsumi E, Yoshimatsu D, Hirose M. Conformational state of ovalbumin at acidic pH as evaluated by a novel approach utilizing intrachain sulfhydryl mixed disulfide exchange reactions. *Biochemistry* 37: 12351-12359 (1998)
- Van der Plancken I, Van Loey A, Hendrickx ME. Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 6: 11-20 (2005)
- Yang SC, Baldwin RE. Functional properties of eggs in foods. pp. 405-463. In: *Egg Science and Technology*. Stadelman WJ, Cotterill OJ (eds). Food Products Press, Binghamton, NY, USA (1995)

Yoo IJ, Park WM, Jeon KH, Choi SH, Choi SY. Hydrolysis of egg protein by animal proteases. Korean J. Food Sci. Ani. Resour. 19: 72-80 (1999)

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)

김성곤, 조남지, 김영호. 제과제빵과학, pp. 146-176. 비엔씨월드 (2001).