

安 明 秀 教授指導

博士學位 請求論文

**WPI를 이용한 기능성 스폰지 케이크의  
제조 및 품질 특성에 관한 연구**

**2006**

誠信女子大學校 大學院

食品營養學科

金 璨 姬

**WPI를 이용한 기능성 스폰지 케이크의  
제조 및 품질 특성에 관한 연구**

**安 明 秀 教授指導**

**이 論文을 博士學位論文으로 提出함**

**2006年 4月**

**誠信女子大學校 大學院**

**食品營養學科**

**金 璨 姬**

# 認 准 書

金 璨 姬의 博士學位論文을 認准함

審査委員 \_\_\_\_\_ 印

審査委員 \_\_\_\_\_ 印

審査委員 \_\_\_\_\_ 印

審査委員 \_\_\_\_\_ 印

審査委員 \_\_\_\_\_ 印

誠信女子大學校 大學院

## 논문개요

식생활 패턴의 서구화에 따른 빵과 케이크류의 소비는 상당한 규모로 증가하고 있으며 또한 최근 식품의 소비 추세도 기능성 식품이나 저열량 제품에 대한 선호도로 급속히 바뀌고 있는 실정이다. 즉 각종 정보의 영향으로 기존의 재료보다는 기능성 부재료를 첨가하여 만든 건강지향적인 식품류를 선호하고 있어 제과제빵 분야에서도 특수 제과제빵류의 판매를 배가시키는 요인이 되고 있기 때문에 영양적으로 우수한 빵류 및 케이크류를 개발하는 것은 매우 중요하다.

우유의 유청단백질(whey protein)은 유청에서 추출한 단백질로서 필수 아미노산과 높은 생물가 및 영양생리적 활성을 가지면서 식품학적 기능도 가지고 있어서 낙농식품은 물론 제빵, 제과, 후식류, 시럽류, 육제품, 발효제품, 기능성식품, 영양강화 등으로 다양하게 이용되고 있다. 즉 단백질 보충제로서 뿐만 아니라 뛰어난 기포형 성능과 유화력, 용해성과 gel형성능, 수분흡착력(보수성), 점도생성력, 점도유지력으로 인하여 제과제빵에 있어서 중요한 기능성 원료가 되는데 이러한 특성은 달걀의 기능과 유사하여 이용가치가 높지만 현재 우리나라에서는 이것을 이용한 식품개발에 관한 연구가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 **Whey Protein Isolate(WPI)**의 기능성을 측정할 다음 달걀단백질의 기포 팽창이 이용되는 스폰지 케이크를

제조하여 **WPI**의 달걀 대체 적정율을 측정하고자 하였다. 즉 **WPI**의 달걀 대체율을 10, 20, 30, 40, 50%로 하여 스폰지 케이크를 제조한 후 케이크의 물성, 색도 측정, 외형, 주사전자 현미경을 이용한 미세구조 관찰, 아미노산 함량 측정 및 관능검사를 수행하였다. **WPI**의 기능성과 스폰지 케이크 제조시 **WPI**의 대체 가능성 여부 및 대체율에 대하여 실험한 결과는 다음과 같았다.

## 1. **WPI**의 이화학적 특성

- 1) **WPI**의 pH는 6.26, 적정산도는 0.18%이었으며 수분, 지방, 단백질, 회분, lactose의 함량은 각각 5.2, 0.6, 90.7, 2.7, 0.8%, 활성 SH 그룹 함량은 9 $\mu$ mol/g, 세균수는 5.9 $\times 10^3$ cfu/g이었다.
- 2) **WPI**의 총 아미노산 함량은 90.7%였고 그 중에서 필수 아미노산 함량이 44.03%를 차지하였다. 필수 아미노산 중에서는 leucine, lysine, isoleucine, valine 등의 BCAA(Branched chain amino acid) 함량이 높았다.
- 3) 전기영동에 의한 **WPI**의 단백질 양상은  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, BSA(bovine serum albumin)의 band가 뚜렷하였으며  $\beta$ -lactoglobulin이 **WPI**의 50%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

## 2. **WPI**의 기능성

- 1) pH에 따른 **WPI**와 sodium caseinate의 단백질 용해도는 각각 82~88%, 5~79%의 범위로 나타나 **WPI**의 용해성이 더 우수함

을 보였다. 용해도의 변화 범위로 볼 때 sodium caseinate의 용해성은 pH에 의해 영향을 받지만 WPI의 용해성은 pH에 의해 영향을 받지 않았다.

- 2) WPI의 유화력은 302.73ml/g으로 난황의 187.07ml/g보다 높았으며 유화안정성도 WPI가 65~97%로 난황의 60~89%보다 좀 더 높은 것으로 나타났다.
- 3) WPI와 난백의 기포형성력은 각각 323.33%, 186.67%로 WPI가 약 2배 정도의 높은 기포형성력을 나타냈고 기포안정성은 WPI가 85.91~97.73%, 난백이 84.88~95.35%로 거의 유사하였다.

### 3. WPI의 유지에 대한 항산화능력

옥배유에 WPI와 기존 항산화제를 각각 0.02, 0.1%를 첨가하여 60±2℃에서 저장하면서 항산화 효과를 측정한 결과 BHT와 AsA보다는 낮았지만 항산화효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 유도기간으로 관찰해 보면 control은 10.9일인데 비해 WPI 0.02, 0.1% 첨가기질은 각각 17.6일, 18.1일로 나타나 control보다 유도기간이 지연됨을 보여 항산화성이 유효하였다. 따라서 항산화효과의 상대적인 크기를 보여주는 RAE(relative antioxidant effectiveness)도 control을 100으로 정했을 때 WPI 0.02%와 0.1% 첨가기질이 161과 166을 나타내어 control보다는 약 1.6배 정도 높은 효과를 보였다. 위의 결과에서 나타난 항산화효과의 크기는 BHT 0.02%>AsA 0.1%> WPI 0.1%> WPI 0.02%>AsA 0.02%>

Control>Toc 0.02%>Toc 0.1%의 순이었다.

#### 4. WPI의 스펀지 케이크 품질에 미치는 효과

- 1) WPI를 대체한 스펀지 케이크 반죽의 비중은 WPI를 대체하지 않은 control에 비해 유의적으로 감소하여 반죽의 안정성이 증가되었다. 그 중에서 WPI 10% 대체 스펀지 케이크 반죽의 비중이 가장 낮아 안정된 반죽을 형성함으로써 완성된 케이크의 품질이 가장 좋은 것으로 평가되었다.
- 2) 스펀지 케이크 반죽의 점도와 meringue의 이액량은 상반된 결과를 보였다. 달걀을 대신한 WPI의 대체비율이 증가할수록 반죽의 점도는 유의적으로 증가하였고 meringue의 이액량은 감소함을 보여 스펀지 케이크 반죽의 안정성이 증가되었다.
- 3) 스펀지 케이크 제조 시 달걀을 WPI로 대체한 것이 control에 비해 굽기 손실율은 감소되었고 비용적은 더 높았다.
- 4) WPI를 대체하여 제조한 스펀지 케이크의 수분함량은 대체비율이 10%인 것이 수분함량이나 수분 보유력이 가장 좋았으며, 20%인 것은 control과 유사하였다. 한편 저장 기간 중 WPI 대체비율이 30% 이상인 스펀지 케이크에서는 수분함량과 수분 보유력이 감소하였다.
- 5) 스펀지 케이크의 부피는 WPI 대체 스펀지 케이크가 control보다 2배 정도로 증가하였으나 WPI 대체율에 따른 부피 차이는 거의 없었다. 결과적으로 WPI 10, 20% 대체 스펀지 케이크

의 부피가 가장 좋았다.

- 6) 주사전자 현미경으로 측정된 스폰지 케이크 단면의 미세구조에 있어서 단면과 air cell의 크기 및 수가 control의 스폰지 케이크보다 더 매끄럽고 부드러우며 균일하게 나타났다. 그 중에서도 **WPI 10%** 대체 스폰지 케이크가 가장 좋은 기공의 형태와 단면을 보였다.
- 7) 스폰지 케이크의 물성 중 경도, 점착성 및 씹힘성은 **WPI 10, 20%** 대체 스폰지 케이크가 control보다 약 2배 정도 감소한 결과를 보여 케이크의 물성이 향상된 것으로 나타났다.  
부서짐성은 **WPI**의 대체 유무와 상관없이 모든 스폰지 케이크에서 거의 같은 값을 나타내었다.
- 8) 스폰지 케이크 표면의 색도는 **20%** 대체비율까지는 명도(L값)가 유사하였고 적색도(a값)는 대체비율 **10%**까지는 유사하다가 대체비율이 증가함에 따라 다소 증가되는 경향이었다.  
황색도(b값)는 대체비율 간의 유의적인 차이를 나타내지 않아 총 색도( $\Delta E$ )는 명도와 동일한 경향을 보여주었다.  
스폰지 케이크 내부의 색도는 명도가 대체비율이 **40%**까지 유사하였고 적색도는 대체비율이 증가할수록 높아졌으며 황색도는 낮아졌다. 따라서 스폰지 케이크 내부의 총 색도( $\Delta E$ )는 **WPI** 대체비율이 증가할수록 값이 낮아져 색도가 밝아지는 것으로 나타났다.
- 9) 스폰지 케이크의 총 아미노산 및 필수 아미노산의 함량은 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 증가하였다.

**WPI 10%** 대체 스폰지 케이크는 control에 비해 isoleucine, leucine, lysine, aspartic acid가 약 2 배 정도로 높았으며 또한 **WPI**의 대체비율이 증가할수록 아미노산의 함량이 증가하여 표면의 색에서 갈색화가 크게 나타나 색이 짙어지는 경향을 보였다.

10) **WPI** 대체비율에 따른 관능검사 결과 외형, 기공, 부드러움, 씹힘성, 촉촉함, 향, 입안에서의 느낌, 전반적인 기호도 등 모든 검사항목에서 control에 비해 유의적인 차이를 나타내었다 ( $P<0.05$ ). **WPI** 대체비율 10, 20%인 스폰지 케이크가 우수한 것으로 나타난 것에 비해서 **WPI** 40, 50% 대체 스폰지 케이크의 경우는 기공과 향을 제외한 나머지 검사항목 모두에서 control보다 낮은 것으로 평가되었다. 따라서 관능검사 결과 스폰지 케이크의 달걀 대체물로 이용할 수 있는 **WPI**의 비율은 10, 20%가 가능할 것으로 보여진다.

위의 결과에서 **WPI** 대체 스폰지 케이크의 최종 품질은 이화학적 및 관능적 특성에서 가장 좋은 결과를 나타낸 **WPI** 10, 20% 대체 수준에서 좋았고 30% 수준까지는 가능하다고 볼 수 있으나 40% 이상에서는 좋지 않은 결과를 보였다. 따라서 스폰지 케이크 내에서 달걀 대체물로 이용하는 **WPI**의 가장 좋은 대체비율은 10%이며 20~30%까지도 가능한 것으로 보이며, 케이크 이외의 다른 식품에도 적용될 수 있도록 **WPI** 대체 식품의 범위를 확대하는 방법에 대한 연구도 필요하다고 사료된다.

# 목 차

## 논문개요

I. 서론 .....	1
II. 연구배경 .....	8
1. 기능성 식품의 성장 .....	8
2. 우유 유청(Milk whey)의 이용과 동향 .....	9
3. 유청제품의 유형 .....	10
4. 유청제품의 이용 .....	17
III. 연구방법 .....	25
1. 실험재료 .....	25
2. 실험방법 .....	27
1) WPI의 이화학적 특성 .....	27
(1) pH와 산도 .....	27
(2) 일반성분 분석 .....	27
(3) Lactose 함량 측정 .....	28
(4) 아미노산 함량 측정 .....	28
(5) 활성 SH group 정량 .....	31
(6) 전기영동에 의한 WPI의 양상 분석 .....	31
(7) WPI의 세균수 측정 .....	32

2) WPI의 기능성 측정 .....	32
(1) 용해도 측정 .....	32
(2) 유화력 측정 .....	32
(3) 유화안정성 측정 .....	34
(4) 기포형성력 측정 .....	34
(5) 기포안정성 측정 .....	35
3) WPI의 항산화효과 측정 .....	36
4) 스폰지 케이크 제조 .....	37
(1) 스폰지 케이크 제조방법 .....	37
(2) 스폰지 케이크 반죽의 비중과 점도 측정 및 meringue의 이액량 측정 .....	40
(3) 스폰지 케이크의 비용적과 팽화율 및 굽기손실을 측정 .....	41
(4) 스폰지 케이크의 외형 및 주사전자 현미경 관찰...	42
(5) 스폰지 케이크의 texture 측정 .....	42
(6) 스폰지 케이크의 색도 측정 .....	44
(7) 스폰지 케이크의 아미노산 함량 측정 .....	44
(8) 스폰지 케이크의 수분함량 측정 .....	44
(9) 관능검사 .....	45
(10) 통계처리 .....	46

#### IV. 결과 및 고찰

1. WPI의 이화학적 특성 .....	47
-----------------------	----

2. WPI의 기능성 .....	56
1) 용해도 .....	56
2) 유화력과 유화안정성 .....	60
3) 기포형성력과 기포안정성 .....	66
3. WPI의 유지에 대한 향산화능력 .....	72
1) 과산화물가, 유도기간 및 상대적 향산화효과 .....	72
2) 공액이중산 함량의 변화 .....	77
4. WPI의 스폰지 케이크 품질에 미치는 영향 .....	80
1) 스폰지 케이크 반죽의 비중과 점도 및 meringue의 안정성 .....	80
2) 스폰지 케이크의 비용적과 팽화율 및 굽기손실 .....	87
3) 스폰지 케이크의 수분함량 .....	94
4) 스폰지 케이크의 외관상 특성 .....	97
5) 스폰지 케이크의 미세구조 .....	100
6) 스폰지 케이크의 texture .....	103
7) 스폰지 케이크의 색도 .....	108
8) 스폰지 케이크의 아미노산 함량 .....	112
8) 관능검사 결과 .....	115
V. 결론 .....	122

## References

## ABSTRACT

## List of Table

Table 1. The amounts of whey products yield of the world ...	12
Table 2. Utilization of whey products .....	13
Table 3. Operating conditions of Bio-LC for lactose analysis .....	29
Table 4. Operating conditions of HPLC for amino acids analysis .....	30
Table 5. Proximate compositions of egg .....	33
Table 6. The formulation of sponge cake substituted by <b>WPI</b> at different levels .....	38
Table 7. Operating conditions of texture analyzer for measuring the texture of sponge cake .....	43
Table 8. Proximate compositions of <b>WPI</b> .....	50
Table 9. Physicochemical characteristics of <b>WPI</b> .....	48
Table 10. Amounts of amino acids in <b>WPI</b> .....	53
Table 11. Solubility of <b>WPI</b> and sodium caseinate at different pH .....	58
Table 12. Emulsifying capacity of <b>WPI</b> and Egg yolk .....	61
Table 13. The amounts of syneresis of emulsions made with <b>WPI</b> and Egg yolk measured by amount of syneresis .....	64

Table 14. Foam forming capacity of <b>WPI</b> and Egg white .....	68
Table 15. Foam stability determined by residue amount of foam made from <b>WPI</b> and Egg yolk upon time fluctuation .....	70
Table 16. Peroxide values of corn germ oil with each antioxidant and <b>WPI</b> stored at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days .....	74
Table 17. Induction period( <b>IP</b> ) and relative antioxidant effectiveness( <b>RAE</b> ) of the corn germ oils with each antioxidants and <b>WPI</b> stored at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days .....	76
Table 18. Conjugated dienoic acid values of corn germ oil with each antioxidant and <b>WPI</b> stored at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days .....	78
Table 19. Specific gravity and viscosity of cake batter substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	81
Table 20. Foam stability by drainage of meringues substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	85
Table 21. Specific loaf volume and expansion ratio of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	88

Table 22. Baking losses of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	92
Table 23. Moisture content of sponge cakes made with different <b>WPI</b> substituted amounts for storing periods .....	95
Table 24. Texture profile analysis of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	104
Table 25. L, a, b values of sponge cakes crust made with <b>WPI</b> substitution for egg .....	109
Table 26. L, a, b values of sponge cakes crumb made with <b>WPI</b> substitution for egg .....	110
Table 27. Amino acids amounts in sponge cakes made with <b>WPI</b> substitution for egg .....	113
Table 28. Quantitative descriptive analysis(QDA) data for sensory evaluation of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	116
Table 29. Pearson correlation coefficients among sensory characteristics .....	120

## List of Figure

Fig. 1. Appearances of <b>WPI</b> and other whey products .....	26
Fig. 2. Flow chart of sponge cake preparation .....	39
Fig. 3. SDS-PAGE patterns of <b>WPI</b> .....	55
Fig. 4. Changes of solubility of <b>WPI</b> and sodium caseinate at different pH .....	59
Fig. 5. Comparison of emulsifying capacity of <b>WPI</b> and Egg yolk by oil amounts until separation .....	62
Fig. 6. Comparison of syneresis amounts of emulsions made with <b>WPI</b> and Egg yolk upon time fluctuation .....	65
Fig. 7. Foam forming capacity of <b>WPI</b> and Egg white .....	69
Fig. 8. Comparison of residue amounts of foam made with <b>WPI</b> and Egg yolk upon time fluctuation .....	71
Fig. 9. Changes of peroxide values of corn germ oil added with BHT, Toc., AsA, <b>WPI</b> stored at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days .....	75
Fig. 10. Changes of conjugated dienoic acid values of corn germ oil added with BHT, Toc., AsA, <b>WPI</b> stored at $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days .....	79

Fig. 11. Changes of specific gravities of sponge cake batters with different levels of <b>WPI</b> substituted for egg .....	82
Fig. 12. Viscosity of the cake batters and stability of the egg foams substituted by different levels of <b>WPI</b> .....	86
Fig. 13. Specific loaf volume and expansion ratio of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	89
Fig. 14. Baking losses of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	93
Fig. 15. Changes of moisture content of sponge cake made with different level of <b>WPI</b> for storing periods .....	96
Fig. 16. Photographs of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	98
Fig. 17. Cross sectional view of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	99
Fig. 18. Photographs of scanning electron microscope of sponge cakes substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	102
Fig. 19. Texture profile analysis of sponge cakes	

	substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	105
Fig. 20.	Texture profile analysis of sponge cakes	
	substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	106
Fig. 21.	Contents of amino acid in sponge cakes	
	substituted by different levels of <b>WPI</b> for egg .....	114
Fig. 22.	QDA profile of sponge cake substituted	
	with different levels of <b>WPI</b> for egg .....	117

## I. 서 론

국민소득의 향상과 더불어 식생활의 서구화, 맞벌이 부부 및 독신 생활자의 증가 등으로 인하여 주식의 패턴이 간소화되고 있어 빵 및 케이크를 주식으로 하는 인구가 늘고 있다. 따라서 제과제빵 적성에 대한 연구도 활발하게 진행되면서 제과제빵 산업은 빠른 속도로 발전하고 있다. 제과제빵 시장의 매출액은 1990년 5300억원, 1998년 9000억원에서 2000년 이후에는 약 1조 5천억원 정도로 급상승했고 이제 2조원에 육박할 정도로 성장했다(1).

또한 식생활 문화의 변화와 더불어 국민들의 건강에 대한 관심이 증가함에 따라 기존의 과자류와 빵류는 단맛이 강하고 많은 양의 지방성분을 함유하고 있으므로 건강을 지향하는 현대 소비자들로부터 외면 당하고 있는 경향이 있다. 그러므로 최근에는 고정화된 제과제빵의 이미지를 개선시키고자 기능성이 있는 빵, 과자 제품을 개발하기 위해 노력하고 있다. 즉 제과제빵의 간편성, 고급화된 맛 이외에 건강이라는 요소를 만족시키면서도 기존의 재료보다는 다양한 기능성이 부각된 제품의 수요가 높아지고 있다. 이러한 현상은 성인병의 발병원인이 선천적인 요인에 의한 것도 있으나 후천적인 요인 중에서는 매일 섭취하는 식품의 선택이 매우 중요하다(2)는 역학조사 결과에서도 볼 수 있는 것과 같이 질병을 약으로 치료해야 한다는 사고방식에서 예방이

우선되어야 한다는 생각으로 변하고 있다. 또 식품 성분이 질병의 개선 및 건강유지, 건강증진과도 밀접한 관련이 있다는 것이 과학적으로 규명되고 있어(3) 각종 성인병에 대한 예방 가능한 다양한 생리 활성 물질을 함유한 천연소재에 관한 연구와 개발은 기능성 식품으로서의 이용 가능성 측면에서 의미가 크다고 할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 국내외의 제과제빵 분야에서도 밀가루에 각종 건강기능 소재를 첨가한 빵류와 케이크류에 관한 연구가 진행되고 있는 추세이다.

과거의 제과제빵에 관한 연구들이 원료로 사용되는 각 주·부재료의 역할과 기능탐색 연구, 맛이나 영양 및 경제성의 향상을 목적으로 하는 것에 중점을 두었다면 오늘날에는 식품 신소재 첨가에 의한 제과제빵의 노화방지 및 보존성 연장 연구, I.M.F(inter-mediate moisture food)성 제품개발에 관한 연구들이 주류를 이루고 있다(4-9). 또한 케이크 내에서 단순히 지방의 양을 줄이려는 연구보다는 지방의 일부 또는 전체를 대신할 수 있는 MCT (medium chain triglyceride), maltodextrin, rice flour, modified food starches, hydrolyzed oat flour 또는 polydextrose와 같은 지방 대체물을 케이크 제조시 첨가하여 칼로리 감소, 혈 중 콜레스테롤 농도 감소, 고혈압 예방 등의 생리활성 향상에 관하여 연구(10-15)되고 있다. 또 소장에서 소화 흡수되지 않고 대장에서 발효되어 부티르산과 같은 단쇄 지방산을 생성함으로써 혈당과 인슐린, 혈 중 콜레스테롤 농도를 감소시키고 대장에서의 세균 대사에 영향을 미쳐 대장암을 예방한다고 알려진 식이섬유, 저항

전분, 양과분말, 된장 등을 케이크 제조시 첨가한 효과에 대한 연구들도 있다(16-19). 최근에는 솔잎가루, 구기자분말, 포도씨추출분말, 늙은 호박 동결건조분말, 자스민차가루, 멀치분말, 발아현미분, 천마분말, 감피, 비지가루, 홍국분말, 칩즙, 감자즙, 볶음홍화씨, 복분자착즙액, 빵잎분말, 새송이 버섯 등을 이용하여 스펀지 케이크의 품질 및 관능적 특성을 조사하여 영양강화 및 각종 생리활성을 기대할 수 있는 기능성 제품에 대한 제과제빵 연구가 활발히 진행되고 있는(20-36) 실정이다. 김 등(37)은 의류용 고급 소재로 이용되어 왔던 silk protein을 빵에 첨가한 결과 맛이 우수하고 영양과 기능적 품질이 향상되었다고 보고하였다.

스폰지 케이크는 케이크의 기본이 되는 window bakery 뿐 아니라 양산업체에서도 대량 생산되는 제과 품목이다. 또한 유지를 함유하지 않은 케이크로 해면성이 크고 가벼운 특징이 있으며 필수재료로 밀가루, 달걀, 설탕 및 소금 등의 4가지이며 부재료로 분유, 물, 우유 및 베이킹파우더 등을 사용한다.

케이크의 맛과 조직감, 촉촉한 정도 등은 식감에 영향을 주는 중요한 인자들이며 케이크의 품질은 원료의 품질, 원료의 배합 비율, 반죽의 배합 및 굽기 등이 좌우하고 특히 달걀의 양과 품질은 케이크의 품질에 큰 영향을 미친다. 스펀지 케이크는 달걀의 기포성을 이용하여 팽화시키는 대표적인 기포류(foam type) 케이크로서 이상적인 조직감을 갖는 최종제품이 되기 위해서는 반죽단계에서 생성된 달걀 기포가 굽기 후까지 안정적으로 잘 유지될 수 있어야 한다(38).

Miller(39)는 달걀 기포가 구운 후에도 안정적으로 잘 유지될 수 있게 할려면 gum 물질을 첨가하여 반죽의 점도를 높여 주는 것이 유리하다고 하였다. Jeltema 등(40)은 거친 식이섬유나 곡류껍질의 첨가 등으로 조직감이 나빠진 케이크에 유화제인 sucrose ester를 분말형태로 첨가하여 케이크의 부피와 조직감을 향상시켰고 이들을 물에 수화시켜 첨가하였을 경우 더 큰 효과가 있다고 보고하였다. 이 등(41)은 스펀지 케이크의 단백질 함량과 기능적 성질을 증가시키고자 밀가루에 분리대두단백을 0~20% 대체할 때에 대체량의 증가에 따라 케이크의 비용적 및 팽화율에는 큰 차이를 보이지 않았으나 관능검사시 부드러운 정도와 촉촉한 정도가 낮았다고 보고하였다.

이러한 관점에서 볼 때 최근 천연 기능성 식품재료로 주목을 받고 있는 우유의 유청 단백질(milk whey protein)로 달걀을 대체함으로써 기능성 스펀지 케이크의 개발도 가능할 것으로 생각한다. 즉 빵과는 다른 복합 교질 체계의 하나인 스펀지 케이크에 WPI의 기능적 특성이 제품개발에 이용된다면 제품 자체의 영양성이나 건강성 증진 뿐만 아니라 품질 증진도 예상되며 WPI의 이용성 확대를 위한 새로운 제시가 가능할 것으로 사료된다.

우유의 유청(whey)은 치즈 제조시 커드로부터 방출되는 불투명하고 황록색을 띤 액체로서 치즈의 소비가 늘어남에 따라 생산량도 늘어나고 있으며 탈지분유 대용품 등으로 중요하게 인식이 되고 있는 유가공 부산물이다. 유청에는 유당, 유청단백질, 무기질, 수용성비타민, 미량의 지방 등이 함유되어 있으며 유화성, 기

포성, 용해성(분산성), 점도증가, gel 형성능, 물성의 향상, 향미증가 등 폭넓은 식품학적 기능도 있다(42).

Bettermann(43)은 유청이 운동선수의 체력, 순발력 그리고 지구력을 향상시키는데 효과적이라고 주장하였으며 Hermann은(44) 전기투석으로 탈염시킨 유청이 음료, 식이요법, 과일첨가 음료, 식품 첨가물 등에 다양하게 이용될 수 있음을 제시하였다. Delaney(45)는 유청분말의 66%가 식품제조에 이용되는데 주로 낙농제품과 제빵에 이용된다고 보고하였다.

Allum(46)은 탈염 또는 유청 단백질 농축물 등과 같은 유청제품들의 23%가 동물사료로, 11%가 식품첨가물로 사용된다고 하였다. 유청에 관한 연구와 이를 이용한 식품들로 Lang(47)의 주류 개발, Smith(48)에 의한 빵, 음료, 소시지 개발, 그리고 Jelen(49)에 의한 음료개발에 관한 논문들이 발표되었다. 또한 유청단백질의 기능성을 향상시키기 위해서 화학적, 효소적 및 물리적인 기법을 이용한 실험들도 수행되었는데 최근에는 유청단백질 가수분해물이 튀긴 육제품의 산화를 억제시키는 항산화제 역할을 한다는 연구결과도 보고되었다(50).

유청의 성분에서 단백질만 분리시켜 농축해 놓은 WPI(whey protein isolate)는 단백질 보충제로서 뿐만 아니라 뛰어난 기포형성능과 유화력, 용해성과 gel 형성능, 수분흡착력(보수성), 점도생성, 점도유지력을 가지고 있기 때문에 제과제빵에 있어서 중요한 기능성 원료가 되는데 이러한 성질은 달걀과 유사한 역할을 한다고 보고되었다(51). 또한 WPI는 식품가공시 교질형성 첨가물로

사용하기도 하는데 이는 총 **WPI** 단백질의 50%를 점유하는  $\beta$ -lactoglobulin이 교질형성 능력을 가지고 있기 때문이다. 이것은 가공식품에 대해 많은 사람들이 심각하게 고려하는 식품첨가물의 안전성 측면에서 볼 때 천연의 고품질 단백질로서 교질형성 능력을 주므로 식품의 첨가물로서 안전하다는 이점이 있다(52).

현재 우리나라에서는 유청과 농축유청단백질 및 분리유청단백질을 이용한 식품개발에 관한 연구가 아직까지 미비한 실정이다. 국내에서의 유청과 유청단백질에 관한 연구는 유청제품의 이화학적 및 기능적 특성(53), 유청을 이용한 유산균 발효유와 요쿠르트(54-58) 및 인삼 음료(59-60)의 제조, 유청분말을 첨가한 제면의 특성(61) 등이 보고되고 있다. 또 현재 우리나라에서 우유에 함유된 각종 단백질을 분리하여서 앞에서 지적한대로 식품첨가물이나 단백질 보충제로 쓰일수 있는 시설과 그만큼의 여유분의 우유량이 확보되는지에 대한 자세한 정보는 없으나 앞으로 긴 안목으로 볼때에 우유의 소비량과 치즈, 요쿠르트를 위시한 낙농제품의 소비량이 증가하고 있는 점을 생각하여 유청단백질의 제품개발에 대한 연구가 필요한 것으로 사료되었다.

이에 본 연구에서는 **WPI**의 이화학적 특성, 기능성 및 항산화 효과를 측정하였으며 **WPI**를 스폰지 케이크 제조시 주된 역할을 하는 달걀의 대체물로 이용하여 케이크를 제조하고 제조과정 중의 반죽 상태와 제품 특성을 조사하였다. 즉 **WPI**의 대체비율에 따른 각 제품의 물리적, 관능적 특성 평가를 수행하여 생리활성이 부여된 기능성 케이크 제조에 적합한 **WPI**의 대체비율을 조

사하고 이와 관련된 제품 연구개발에 필요한 자료를 제시하고자 하였다.

## II. 연구 배경

### 1. 기능성 식품의 성장

경제성장과 더불어 의학의 발전으로 평균수명은 증가하고 있지만 식생활의 서구화로 인한 성인병의 증가는 사회적인 문제로 부각되고 있다. 이에 따라서 식품이 지닌 영양소나 생리활성 물질에 대한 관심이 높아지고 있으며 기능성 식품이나 건강식품의 섭취가 증가하고 있는 추세이다.

기능성 식품은 일반적으로 어떤 식품이나 식품 일부의 물질이 의학적 또는 건강에 유익한 것으로 질병을 예방하고 치료하는 기능을 가지는 것을 말한다. 즉 기능성 식품은 천연 물질로부터 유래하는 것으로 일상적인 식단 식품의 일부로 소비되며 이들이 소화됐을 경우에 목표가 확실한 생리적 기능을 나타내야 한다(62).

기능성 식품의 시장은 급속한 속도로 성장을 하고 있으며, 특히 아시아나 북미에서 그런 추세이고 라틴아메리카에서는 성장과도기에 있다. 신제품 개발에서는 현재 저지방, 저당, 저칼로리 제품부터 건강증진 물질의 함량을 증가시키는 제품개발로 방향을 전환하고 있다(63).

기능성 식품 관련 세계시장 규모는 1120억 달러로 추정되고 있으며 우리나라의 경우 10억 달러 내외로 세계시장 점유율은 매우 낮은 편이나 매우 빠른 속도로 증가하고 있다(2).

## 2. 우유 유청의 이용과 동향

우유의 유청(whey)은 치즈 제조시 지방과 casein 성분을 제거한 후에 남는 액상의 부산물로 얻어지는 천연물질로 기능성, 영양성, 생리활성 등의 다양한 기능을 내재한 단백질이 풍부한 혼합물을 포함하고 있다. 치즈 1kg을 생산하기 위해 생산되는 평균 유청의 양은 치즈 생산량의 10배인 10kg이 된다고 보고되고 있으며 세계적으로 치즈 생산의 증가와 더불어 유청의 생산 역시 증가하는 추세에 있고 이 중에서 유럽 공동체의 생산량이 가장 높으며 그 다음이 미국, 소련, 프랑스 그리고 독일의 순이며 우리나라의 생산량은 아직까지 많지 않으나 증가될 것으로 예상된다(64).

유청은 과거에는 액체상태로 동물에게 사료로 이용되었다. 그 후 중세시대에는 약제, 정력제, 피부 방향제로서 이용하였으며 화상을 완화시키거나 체력을 회복시키고 질병을 치료하는 약제나 연고의 구성성분으로서도 이용된 것으로 나타났다(48).

유청에는 단백질, 유당, 무기질, 수용성 비타민, 미량의 지방, 젖산 및 효소 등이 함유되어 있어 영양학적으로 우수하여 고급 영양식품 소재로서의 이용에 관한 연구들이 진행되어 왔다(65). 또 유청 속에 들어 있는 단백질은 필수 아미노산과 높은 생물가 및 영양생리적 기능을 가지고 있을 뿐만 아니라 유화작용, 기포형성력, 용해성, 점도증가, gel 형성능, 물성의 향상, 향미의 제공 등 폭넓은 식품학적 기능성으로 인하여 낙농식품은 물론 제빵,

제과, 후식류, 시럽류, 육제품, 발효제품, 기능성식품, 식품강화 등에 다양하게 이용되고 이에 관한 연구들(54-60)이 활발하게 수행되어 왔다.

유청단백질은 하나의 단백질로 이루어진 것이 아니라 여러 가지 성질이 다른 단백질의 집합체이다. 유청을 구성하는 주된 단백질은  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin이며 이들이 유청단백질의 70~80%를 차지하고 있다. 이외의 단백질 성분들은 bovine serum albumin(BSA), lactoferrin, lactoperoxidase, immunoglobulin (IgG), 성장요소, 여러가지 생리활성 요소 등이다. 또한 유청단백질의 기능성을 향상시키기 위해서 화학적, 효소적 및 물리적인 기법을 이용한 시도들도 수행되었다(66). 최근에는 유청단백질 가수분해물이 튀긴 육제품의 산화를 억제시키는 항산화제 역할을 한다는 연구결과도 보고되었다(50).

### 3. 유청제품의 유형

유청으로 생산된 다양하고 새로운 기능성 및 생리활성 원료가 현재 상업적으로 이용되고 있는데 유청을 농축, 건조시키는 방법 이외에 각종 막을 이용하여 유청 성분을 농축 또는 분리시키는 한외여과, 역삼투, 전기투석 등의 막분리 방법을 사용하는 기술이 많이 개발되어 여러 가지 방법으로 제조된 각종 유청제품이 광범위한 용도로 이용되고 있다(51).

세계의 유청제품 생산량은 Table 1에서 보는 바와 같았고 유청

제품의 유형은 Table 2에 나타나 있는 것과 같이 유청 그대로 건조시킨 유청분말(whey powder), 부분적으로 성분을 분리시켜 건조한 저유당유청(reduced-lactose whey)과 탈염유청(demineralized whey) 및 유당(lactose), 유청에서 비단백 성분을 제거하여 양질의 유청단백질을 농축시켜 건조한 농축유청단백질(WPC ; Whey Protein Concentration)과 분리유청단백질(WPI ; Whey Protein Isolate)이 있다. 농축유청단백질에는 여과, 투석, 기타 물리적 분리 기술을 통하여 단백질 함량을 34%부터 80%사이로 농축시킨 다양한 제품(WPC34, WPC50, WPC75, WPC80)들이 있고 분리유청단백질은 단백질의 함량이 90%이상인 유청제품을 말한다. 탈염유청분말은 유당과 유청단백질이 농축된 형태로 되어 있기 때문에 조제분유 제조시 우유성분에 유당과 유청단백질을 보강하기 위해 많이 이용되고 있으며 육가공, 제과, 제빵 그리고 청량음료 등 식품공업의 원료 또는 첨가물로 이용된다. 또 역삼투압 방식으로 분리된 유당은 유제품, 제빵, 육제품, 스낵, 제과 및 여러 가지 식품과 영양제품에 다양한 용도로 이용되고 있다 (51).

Table 1. The amounts of whey product yields of the world(51)

(Unit : 1000 ton)

	EEC	USA	Oceania	The others	The whole world
Whey power	824	648	48	115	1635
Lactose	280	438	30	12	460
WPC 35%	150	408	-	7	265
WPC > 35%	40	-	15	-	55

Table 2. Utilization of whey products(51)

Products	Composition			Functional benefits	Food applications
	Protein(%)	Lactose(%)	Mineral(%)		
<b>Sweet whey powder</b>	11~14.5%	63~75%	8~8.8%	Color and flavor development, Whipping, Dairy flavor, Bulking agent, Solubility	Dairy products, Confectionery products, Bakery products, Frozen desserts
<b>Acid whey powder</b>	11~13.5%	61~70%	8~12.3%	Acid flavor	Dairy products, Bakery products, Sauces, Dressings
<b>Reduced lactose whey</b>	18~24%	52~58%	11~22%	High protein and mineral content, Solubility/ Colloidal stability, Dairy flavor, Color and flavor development, Water-binding, Dispersibility, Bulking agent	Dairy products, Meat products, Baked goods, Snacks, Frozen desserts, Soups, Sauces
<b>Demineralized whey</b>	11~15%	70~80%	1~7%	Solubility/ Colloidal stability, Gelation, Acid stability, Water-binding/ Viscosity, Dairy flavor, Aeration, Color and flavor development, Bulking agent, Nutrition	Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products

<p><b>Whey concentrate 34% (WPC 34)</b></p>	<p>34~36%</p>	<p>48~52%</p>	<p>6.5~8%</p>	<p>Emulsification, Color and flavor development, <b>Water-binding/</b> Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding</p>	<p>Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products</p>
<p><b>Whey concentrate 50% (WPC 50)</b></p>	<p>50~52%</p>	<p>33~37%</p>	<p>4.5~5.5%</p>	<p>Emulsification, Heat-setting, <b>Whipping,</b> <b>Water-binding/</b> Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding</p>	<p>Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products</p>
<p><b>Whey concentrate 60% (WPC 60)</b></p>	<p>60~62%</p>	<p>25~30%</p>	<p>4~6%</p>	<p>Emulsification, Heat-setting, <b>Whipping,</b> <b>Water-binding/</b> Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding</p>	<p>Reduced-fat dairy products, Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products</p>

<p><b>Whey concentrate 75% (WPC 75)</b></p>	75~78%	10~15%	4~6%	<p>Gelation, Emulsification, Heat-setting, Whipping, Water-binding/ Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding</p>	<p>Dairy products, Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products</p>
<p><b>Whey concentrate 80% (WPC 80)</b></p>	80~82%	4~8%	3~4%	<p>High protein level, Gelation, Emulsification, Heat-setting, Whipping, Water-binding/ Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding</p>	<p>Reduced-fat dairy products, Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products</p>
<p><b>Whey protein isolate (WPI)</b></p>	90~92%	0.5~1%	2~3%	<p>High protein level, An abundant supply of BCAAs (Branched chain amino acids), Cholesterol-reducing activity, Emulsification, Heat-setting, Whipping, Water-binding/ Viscosity, Dairy flavor, Solubility/ Colloidal</p>	<p>Reduced-fat dairy products, Bakery products, Baked goods, Dairy products, Frozen desserts, Confectionery, Salad dressings, Sport beverages, Nutritional products including infant formula, Meat and seafood products,</p>

				<b>stability, Nutrition, Acid stability, Aeration, Dispersibility, Fat-binding, Antioxidant activity</b>	
<b>α-Lact albumin</b>	> 90%	< 1%	< 5%	High protein level	Infant fomula
<b>β-Lacto globulin</b>	> 90%	< 1%	< 5%	High protein level, Gelation	Egg substitution, Fat substitution
<b>Lactoferrin</b>	> 90%	< 1%	< 1.5%	Enhance iron transport, Promotion of cell growth, Stimulation of immunity, Antioxidant, Stimulation of bifidobacteria, Antibacterial properties, Non-allergenic	Iron fortified food, Dairy products, Nutritional products including infant formula, Drugs and nutritional supplements in tablets
<b>Lacto peroxidase</b>	> 90%	< 1%	< 5%	Antibacterial, Preservative effects	Nutritional products, Personal care products (mouth care and skin care products), Dairy products

## 4. 유청제품의 이용

### 1) 제과제빵 분야

WPC와 WPI는 기포형성능과 유화력, 용해성과 gel 형성능, 수분흡착력(보수성), 점도생성, 점도유지력을 가지기 때문에 제과제빵에 중요한 기능성 원료가 된다. WPC는 비스킷, 쿠키, 케이크, 스펀지 케이크, 아이싱, 글레이즈 등 다양한 제품에 사용되는데 주로 제품의 질감이나 모양을 개선하기 위해 이용하고 빵이나 케이크의 생지를 더 크게 부풀려 주기도 하며 그 외 여러가지 제품에는 촉촉하고 부드러운 질감을 부여해 주는 역할을 한다고 보고되어 있다(67). WPI와 WPC34 그리고 WPC80은 일반 쿠키와 저지방 쿠키의 색, 질감 및 부피를 향상시켜 주고 또 케이크의 모양과 크기도 향상시켜 준다고 보고되었다. 빵 표면(crust)의 갈색화를 촉진시키며 빵 내부(crumb)의 조직감과 풍미를 더욱 우수하게 만들어 줄 뿐만 아니라 토스트로 만들었을 때의 식감을 좋게 하면서 나아가 곱팡이와 부패도 막아주는 것도 보고되어 있다(68). 그 외에도 달걀, 탈지분유, 쇼트닝을 대체할 수 있기 때문에 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있고 소맥단백질에는 없는 아미노산인 lysine이 많이 함유되어 있기 때문에 소맥단백질에 비해 유청단백질의 양을 늘리면 결국 아미노산 함량을 증가시키는 결과가 된다고 하였다. 일반적으로 빵이나 소프트 롤에 사용하는 lactose나 유청제품의 양은 사용하는 소맥전분 무게의 2~4%

가 적당하다고 하였으며 **WPC**는 거의 무미하기 때문에 제과제빵의 원료로 사용해도 제품의 풍미에는 전혀 영향을 주지 않는다고 보고하였다(68). 특히 **WPI**는 식품가공시 교질형성 첨가물로 사용하는데 이는 유청단백질 전체의 50%를 점유하는  $\beta$ -lactoglobulin이 교질형성 특성을 나타내기 때문이라고 하였다(52). 요즘 가공식품에 대해 많은 사람들이 고려하고 있는 가장 심각한 점은 가공 시에 첨가되는 화학첨가물의 안전성으로 이러한 점에서 볼때 **WPI**는 고품질 단백질이며 교질 형성을 할 수 있는 특성을 지니고 있다는 점에서 식품의 첨가물로서 안전하다는 이점이 있다고 하겠다.

제과제빵 제품에 사용되는 **WPC**와 **WPI**, 그리고 그 외 유청제품의 기능을 살펴보면 다음과 같았다.

#### (1) 빵

빵을 만드는 데 있어 유제품 원료가 많이 이용되어 왔는데 부드럽고 촉촉한 식감을 위해서는 주로 유청원료를 첨가한다고 하였다. 농축유청 단백질인 **WPC34**, **WPC50**, **WPC80**으로 실험한 결과 **WPC34**를 사용했을 때의 식감이 가장 부드러웠다고 하였으며 그 이유는 **WPC34**의 칼슘 함량이 가장 적기 때문이라고 보고하였다. 칼슘함량은 제빵제품의 질감 변화에 영향을 주는 것은 실험을 통해 소화된 전분이 많을 경우 칼슘 함량이 낮은 **WPC**일수록 고온에서 응집되고 따라서 유청단백질 사슬이 전분사슬 사이로 확장되어 전분사슬의 수축을 막는 것에 의한다는 것이었

다(69). 반죽에 lactose 함량을 늘려 주는 것도 빵을 부드럽게 하고 보존성을 높일 수 있는 좋은 방법이 되며 반죽내에 지방과의 유화력을 증가시켜도 질감이 더 부드러워 진다고 하였다. 또한 제빵제품에서 발견되는 lactose 결정체는 특유의 수분흡착력을 나타낸다. 농축유청단백질을 2%, 4%, 6% 첨가한 실험에서 WPC34 4% 첨가 시에 빵의 부피가 가장 큰 것으로 나타났으며 또한 WPC34를 적절한 온도로 가열했을 때 유청단백질이 변성되어 빵의 질감을 개선시켜 주는 것으로 밝혀졌다(69). 그리고 대부분의 경우 농축유청단백질의 단백질 함량이 많을수록 빵의 부피가 감소한다고 하였고 WPC는 빵의 식감 개선 이외에도 제빵 제품에 첨가되는 달걀의 기능을 대신하는 대체제로 많이 이용할 수 있다는 보고도 있다(68).

## (2) 케이크

조직감이 좋은 케이크 crumb를 얻기 위해서는 단백질이 더 많이 필요하고 완성된 케이크의 구조는 전분의 호화와 단백질의 변성에 의해 좌우되며 케이크에 설탕이 첨가되면 gluten이 gel화될 수 있는 온도가 높아진다. 전란과 난백은 케이크의 원하는 구조를 만들기 위해서 첨가되는데 WPC를 달걀 대체제로 사용하려면 케이크 안의 당분이나 지방함량을 고려해야 하는 것으로 밝혀졌다(70). WPC80을 사용해서 난백을 완전 대체 또는 부분 대체 할 수도 있지만 당분함량이 너무 높고 지방 함량이 상대적으로 낮으면 WPC로 달걀을 완전히 대체하기는 어려운 것으로 보

고되었다(71). 그러나 gel 형성능이 있기 때문에 케이크에 **WPC**를 첨가하는 것이 보편적인 방법으로 되고 있다. **WPC34**, **WPC50**, **WPC80**은 모두 케이크에 들어가는 달걀의 기능을 부분적으로 대체할 수 있고 특히 **WPC80**은 난백을 대체하기에 적합하였다. **WPC**는 케이크 반죽에 부피와 점성을 부여해 줄 뿐만 아니라 기포를 형성해 주고 케이크의 보수성을 향상시켜 주며 **WPI**로 대체할 수 있는 또 다른 케이크의 재료는 지방으로 알려졌다. **WPC80**을 저지방 파운드 케이크에 2%정도 첨가하면 더 푸짐하고 부드러운 파운드 케이크를 만들 수 있으며 이 경우 맛이나 입안에서의 촉감이 일반 파운드 케이크나 유청단백질을 첨가하지 않은 저지방 파운드 케이크에 비해 훨씬 좋은 품질로 평가된 바 있다(69).

### (3) 쿠키

부드러운 쿠키를 만들 때에도 달걀 대신 **WPC**를 사용하여 부드러운 쿠키를 만들었다. 쿠키와 같이 발효가 필요치 않은 제품의 경우엔 저지방 탈지 분유나 달걀을 **WPC**로 쉽게 대체할 수 있다. **WPC34**와 **WPC80**은 쿠키의 부피나 색, 질감을 향상시켜 주는 것으로 나타났다. 저지방 쿠키의 경우 **WPC80**과 전분, 유화성물질, 물 등을 적절히 배합해서 사용할 경우 달걀과 쇼트닝을 완전히 대체할 수 있었다. 이러한 대체 첨가물을 사용할 경우 쿠키의 반죽이나 완성된 쿠키의 질감에 전혀 차이가 없을뿐더러 맛이나 식감에 있어서 오히려 더 우수하다고 보고되어 있다(72).

## 2) 건강 기능성 식품 분야

유청단백질이 우수한 영양적 가치와 물리적 기능 특성을 공급하는 면에서 오히려 생리학적 기능을 더 많이 부여한다는 개념이 부각된 것은 비교적 최근의 일이다. 그리고 이들이 생리활성적 특성을 증가시킨다는 것이 알려진 이후에는 유제품이 기능성 식품의 신장에 중추적인 요소가 되었다(65). 건강기능성 식품 분야에서 응용되는 유청단백질의 중요한 이점은 다음과 같이 설명되고 있다.

### (1) 활동적인 사람과 운동선수를 위한 고품질 단백질원

유청단백질은 스포츠 영양에 중요한 역할을 하며 특히 인내와 강도 높은 훈련, 근육 섬유의 회복 등에 중요하며 운동선수들의 집중적, 계획적인 운동의 에너지원으로 이용된다. 이들 에너지원은 우선 leucine, isoleucine, valine 등의 BCAAs(branched chain amino acids)들로부터 유래한다고 알려져 있으며 근육에 의해 직접 대사되기 때문에 운동하는 동안에 많이 필요한 아미노산들이다. Davis(73)는 BCAAs가 단백질의 합성을 향상시키고 휴식하는 동안에 근육을 회복시키는 작용을 하므로 섭취하는 것이 매우 유익하다고 하였다. 유청단백질은 BCAAs의 함량이 단백질 중 25.9%를 차지하고 있어 어떤 단백질에서 보다 월등히 많으며 대두단백질에는 18%, 난백 단백질에는 22.3%가 함유되어 있다.

유청단백질은 증가된 근육질을 증진시키는 성장호르몬의 합성

과 이완에도 작용하는 것이 알려졌으며 또한 유청단백질은 소화력이 뛰어나고 다양한 아미노산이 균일하게 함유되어 있기 때문에 스포츠 식이와 음료에 유용한 것으로 보고되었다(74-76).

## (2) 대장암의 예방효과

동물실험을 통하여 유청단백질 식품은 대장암을 예방하는 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 유청단백질을 동물에게 급여했을 경우 육류나 콩을 급여한 동물에서보다 암의 발생율이 50% 감소되었다(77). 또한 유청의 항종양 효과와 영양적 유익성에 관한 연구 내용도 보고된 바 있다(51).

## (3) 콜레스테롤 수준을 조절하는 작용

동물실험에서 지방성분이 많은 사료에 유청단백질을 혼합하여 쥐에게 섭취시켰을 경우에 콜레스테롤의 분비가 급격히 올라갔으며 지방성분이 전혀 없는 사료에 유청단백질을 혼합하여 쥐에게 먹였을 때는 콜레스테롤의 합성이 억제되었다(78).

또 다른 실험에서는 대두단백질, 카제인, 유청단백질을 동일한양으로 쥐에게 주었을 때 카제인의 급여시는 콜레스테롤치가 3배 증가하였고 대두단백질의 경우는 2배 증가하는 반면, 유청단백질을 주었을 때는 오히려 30% 감소하는 경향을 보였다(79). 이러한 점을 이용하여 최근 일본에서는 유청단백질을 함유하고 콜레스테롤을 감소시키는 건강보충제가 개발되어 "Enjoy"라는 제품이 시판되고 있는 실정이다(51). 유년기에 콜레스테롤 수치가 높

은 사람은 성인이 되어도 그 상태를 계속 유지한다는 이론에 기인하여 많은 연구자들이 조제분유에 있는 지방 성분이 혈중 콜레스테롤 양에 미치는 영향에 대하여 연구하고 있다. 최근의 새로운 연구에 의하면 새끼돼지에게 유청단백질을 먹였을 때 혈중 콜레스테롤치가 낮게 나타났는데 이것은 유년기에 유청단백질을 섭취시킴으로써 성인이나 노년기에 콜레스테롤치를 감소시킬 수 있는 가능성을 제시하고 있다(80).

#### (4) 면역 증강 활동

HIV-혈청 양성 환자에 관하여 수행된 연구에서 적당량의 칼로리 섭취를 유지하는 환자에게 농축유청단백질을 전체 단백질 섭취의 중요한 부분으로 첨가하여 먹였을 때 몸무게가 증가하고 단핵세포의 글루타치온 함량이 정상적인 수준으로 증가되어 유청단백질의 면역증강 특성이 확인되었다(81).

#### (5) 어린이 뼈 성장 촉진

WPC80은 조직배양 실험에서 조골세포의 성장과 증식을 증가시킨다. 골다공증을 방지하기 위해서는 칼슘 섭취가 필수적이라는 것은 잘 알려져 있지만 뼈의 신진대사에 관계하는 단백질 섭취도 중요하다. 뼈에는 조골세포(osteoblast)나 파골세포(osteoclast)와 같은 여러 가지 세포가 존재하여 각각 중요한 작용을 하면서 뼈를 형성한다. 조골세포는 분화하여 collagen 등의 골기질을 형성하는 세포이며 파골세포는 뼈를 흡수하므로써 뼈의 재형성이

나 혈청 칼슘농도를 조절하는 세포이다. Whey 중에 함유되어 있는 MBP(milk based protein)는 농도에 의존해서 조골세포의 증식과 collagen 합성을 활성화할 뿐만 아니라 파골세포에 직접 작용하여 그 형성과 분화를 억제한다. MBP를 배합한 사료를 골다공증 모델 쥐에 3주간 투여한 결과 MBP 투여군 쥐의 대퇴골 파단응력과 파단 에너지가 함께 증가하였다(82). 따라서 MBP는 뼈 대사의 개선 및 골다공증의 예방과 개선에 유효한 효과를 나타내기 때문에 MBP를 이용한 제품이 개발되고 있다.

#### (6) 비만 치료 보조효과

유청단백질은 동물실험을 통해서 식욕억제 호르몬인 cholecyst-kinin(CCK)을 방출하는데 성공하였으며 그 결과 유청 펩타이드를 20~30g을 투여하여 CCK를 자극함으로써 식욕을 감퇴시켰다. 한편 유청 펩타이드는 체내 대사율을 증가시키고 글루카곤을 일정한 속도로 흐르게 하여 지방이 축적되는 것을 방지함으로써 체중감소의 효과를 나타내는 것으로 알려지기도 하였다(83).

따라서 유청단백질의 식품학적 기능성과 생리활성은 식품가공과 기능성식품 산업에 있어서 매우 중요한 요소가 될 것으로 사료된다.

### Ⅲ. 연구방법

#### 1. 실험재료

본 실험에서 사용한 **WPI(Proliant, USA)**는 2005년 12월 아이상사에서 구입하여 사용하였고 스폰지 케이크 제조에 사용된 밀가루[(주)제일제당, 박력분:수분 12.65%, 단백질 7%, 회분 0.31%], 설탕[(주)제일제당], 소금(한주), 달걀은 시중에서 무작위로 구입하여 사용하였으며 달걀은 신선란의 알끈을 제거한 후 사용하였다. Fig. 1은 실험에 사용한 **WPI**와 그 밖의 유청제품들이다.

**WPI(Whey Protein Isolate)**는 단백질 함량이 많고 유당의 함량이 적어 끈적임이 덜하고 다른 유청제품들에 비해 선명한 백색을 나타냈다. 그 밖의 다른 여러 가지 시약은 특급을 사용하였고 향산화효과 측정시 이용한 기질 유지는 향산화제가 전혀 들어있지 않은 옥배유를 (주)롯데삼강에서 공급받아 시료로 이용하였다.



Fig. 1. Appearances of **WPI** and other whey products

A : Lactose	D : <b>WPC 80</b>
B : Whey permeate	E : <b>WPI</b>
C : <b>WPC 34</b>	

## 2. 실험방법

### 1) WPI의 이화학적 특성

#### (1) pH와 산도

pH 및 적정산도는 한국 식품공업협회 식품공전(84)의 방법에 따라 실시하였다. 즉 pH는 WPI를 10% 용액으로 만들어 pH meter(Orion, model 420A, USA)를 사용하여 25℃에서 측정하였으며 적정산도는 시료 10g에 증류수 100ml를 가하고 1% 페놀프탈레인 지시약 0.5ml를 첨가하여 0.1N NaOH 용액으로 적정하였고 이에 소요된 NaOH 용액을 다음 식에 따라 계산하였다.

$$\text{적정산도} = \frac{A \times F \times 0.009}{\text{Weight of sample}} \times 100$$

A : 0.1 N NaOH 용액의 소비 ml

F : 0.1 N NaOH의 역가

0.1 N NaOH 1ml = 0.009g lactic acid

#### (2) 일반성분 분석

WPI의 일반성분, 즉 수분, 조지방, 조단백질, 조회분의 함량은 각각 A.O.A.C 3.003, 7.056, 22.054, 32.026(85)에 설명된 상압 가열건조법, Soxhlet 추출법, Kieldahl법, 건식회화법으로 측정

하였다.

### (3) Lactose의 함량 측정

Lactose 함량은 Olano 등(86)의 방법을 수정하여 분석하였다. WPI 2g에 3차 증류수를 첨가하여 40ml로 정용한 다음 homogenizer로 균질화하였다. 균질화된 현탁액을 4℃에서 15,000 rpm으로 원심분리시켜 상등액을 filter paper(Whatman No. 2)로 여과시켰다. 여과시킨 추출액을 0.45 $\mu$ m PDF syringe filter로 다시 여과하여 활성화시킨 Sep-pak C<sub>18</sub> cartridge로 정제한 후 Bio-Liquid Chromatograph(Dionex, DX-2500, USA)를 이용하여 분석하였다. 이 때의 분석조건은 Table 3과 같았다.

### (4) 아미노산 함량 측정

김 등(87)의 방법을 수정하여 WPI 구성 아미노산 함량을 측정하였다. 시료 약 0.2g을 정확히 취하여 ampule에 넣고 6N HCl 15ml을 가한 다음 N<sub>2</sub>로 치환하여 신속하게 밀봉하였다. 이를 110℃ 오븐에서 24시간 가수분해 시킨 뒤 방냉하여 deionized water로 50ml volumetric flask에 정용 후 0.2 $\mu$ m membrane filter로 여과한 다음 적당하게 희석하여 Accq-Tag 방법으로 유도체를 생성시켜 분석하였으며 이 때의 분석조건은 Table 4와 같이 하였다.

Table 3. Operating conditions of Bio-LC for lactose analysis

<b>Instrument</b>	Bio-LC(Dionex, DX-2500, USA)																																
<b>Detector</b>	Electro chemical detector (Dionex, ED 40, USA)																																
<b>Working electrode</b>	Au																																
<b>Column</b>	Carbopac PA 1(4×250mm)																																
<b>Temperature</b>	4°C																																
<b>Mobile phase</b>	A : Sodium acetate(600mM) B : Sodium hydroxide(150mM)																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Gradient</th> </tr> <tr> <th>Time (min)</th> <th>Flow (ml/min)</th> <th>% A</th> <th>% B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Initial</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>12.5</td> <td>1</td> <td>85</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>12.6</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>18.0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>18.1</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>28.1</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Gradient				Time (min)	Flow (ml/min)	% A	% B	Initial	1	100	0	12.5	1	85	15	12.6	1	0	100	18.0	1	0	100	18.1	1	100	0	28.1	1	100	0
Gradient																																	
Time (min)	Flow (ml/min)	% A	% B																														
Initial	1	100	0																														
12.5	1	85	15																														
12.6	1	0	100																														
18.0	1	0	100																														
18.1	1	100	0																														
28.1	1	100	0																														
<b>Standard solution</b>	Lactose(Sigma, USA)																																
<b>Flow rate</b>	1.0ml/min																																
<b>Injection</b>	50μl																																

Table 4. Operating conditions of HPLC for amino acids analysis

Instrument	HPLC system (JASCO, Amino acid analysis system, Japan)																																																
Detector	Fluorescence (JASCO, FP-920, Japan)																																																
Column	<b>Waters Nova-Pak C<sub>18</sub></b> (Waters 3.9mm $\phi$ ×150mm, 4 $\mu$ m)																																																
Absorbance	Ex.:250nm Em.:395nm																																																
Temperature	37°C																																																
Eluent solvent	<b>Waters Pico-Tag eluent A;</b> 0.14M sodium triacetate 0.05% Triethylamine 1 $\ell$ Milli-Q quality Water → pH 6.4 with phosphoric acid → 缓冲액 : Acetonitrile=94:6(v/v) <b>Waters Pico-Tag eluent B;</b> 60% Acetonitrile																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Gradient</th> </tr> <tr> <th>Time (min)</th> <th>Flow (ml/min)</th> <th>%A</th> <th>%B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Initial</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>98</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>1</td> <td>93</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>90</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>1</td> <td>67</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>1</td> <td>67</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>34</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>37</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>38</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>49</td> <td>1</td> <td>100</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Gradient				Time (min)	Flow (ml/min)	%A	%B	Initial	1	100	0	0	1	98	2	15	1	93	7	19	1	90	10	32	1	67	33	33	1	67	33	34	1	0	100	37	1	0	100	38	1	100	0	49	1	100	0
Gradient																																																	
Time (min)	Flow (ml/min)	%A	%B																																														
Initial	1	100	0																																														
0	1	98	2																																														
15	1	93	7																																														
19	1	90	10																																														
32	1	67	33																																														
33	1	67	33																																														
34	1	0	100																																														
37	1	0	100																																														
38	1	100	0																																														
49	1	100	0																																														
Standard solution	250pmol of amino acid standard H (Wako, Japan)																																																
Flow rate	1.0ml/min																																																
Retention time	50min																																																
Injection volume	10 $\mu$ l																																																

(5) 활성 SH group 정량

활성 sulfhydryl기는 Hardham 등(88)의 방법에 따라 정량하였다. 즉 **WPI 2%** 수용액을 준비하고 Tris-glycine 완충용액(pH 8, Tris-HCl 10.4g, glycine 6.9g, EDTA 1.2g을 1ℓ로 조제) 8ml에 위의 단백질 용액 1ml를 가한 용액을 Ellman시약(5, 5'-dithiobis-2-nitrobenzoic acid 4ml를 Tris-glycine 완충용액 1ml에 혼합 조제) 1ml로 희석하고 22℃에서 30분간 방치 후 9ml Tris-glycine 완충용액과 1ml Ellman시약을 공시험액으로 하여 412nm에서 흡광도를 측정 한 후 다음 식에 의하여 활성 sulfhydryl기를 정량하였다.

$$\mu\text{mol SH/g} = \frac{73.53 \times A_{412} \times D}{C}$$

C : mg solids/ml

D : dilution factor

(6) 전기영동에 의한 **WPI**의 양상 분석

전기영동은 Laemmli의 방법(89)에 따라 slab type(50×80×1mm : Hoefer Scientific사)의 SDS-PAGE(Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis)로 행하였다. 전기영동시 gel의 농도는 15%로 하였으며 40mA 전압에서 90분간 실온에서 실시하였다. 전기영동 gel은 coomassie brilliant blue로 15분간 염색 후 초산-메탄올-증류수(1:3:6)의 혼합액에서 탈색하였다.

## (7) WPI의 세균수 측정

WPI 1g을 멸균된 식염수로 균질화한 후 1ml를 취한 다음 10배 희석법으로 연속적으로 희석하여 표준평판 한천배지(Plate Count Agar, Difco, USA)를 이용하여 평판도말법에 의해 세균수를 측정하였다. 37℃에서 48시간 배양 후 colony 수를 측정하였고 세균수는 CFU(Colony Forming Unit)/g log값으로 나타내었다.

## 2) WPI의 기능성 측정

### (1) 용해도 측정

WPI의 용해도는 Lee 등(90)의 방법에 따라 구하였다. WPI를 1% 수용액으로 조제하여 0.1M HCl 또는 0.1M NaOH로써 pH를 각각 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9로 조절한 후 25℃에서 30분간 정치한 후 10,000×g에서 30분간 원심분리(Hittich, Universal 32R, Germany)하여 Biuret법(106)에 의해 단백질 함량을 측정하여 용해도(Protein Solubility, PS)를 구하였다. WPI의 용해도를 비교하기 위하여 위와 동일한 방법으로 sodium caseinate의 용해도도 측정하였으며 이때 표준 단백질로는 BSA(bovine serum albumin)를 사용하였다.

### (2) 유화력 측정

WPI의 유화력(Emulsifying Capacity, EC)은 Borton 등(91)의 방법을 응용하여 측정하였고 유화력의 정도를 비교하기 위하여

Table 5. Proximate compositions of egg\*

		Whole egg	Egg yolk (36%)	Egg white (64%)
Energy(kcal)		158.0	339.0	53.0
Moisture(%)		74.4	48.8	87.1
Protein(g)		12.7	15.6	11.3
Fat(g)		11.0	29.7	0.1
Carbohydrate	Saccharide(g)	1.0	0.9	0.9
	Fiber(g)	0.0	0.0	0.0
Ash(g)		0.9	1.6	0.7
Ca(mg)		47.0	129.0	7.0
P(mg)		168.0	550.0	11.0
Fe(mg)		1.8	5.5	0.2
Vitamin	A(R.E)	156.0	453.0	0.0
	B <sub>1</sub> (mg)	0.1	0.2	0.01
	B <sub>2</sub> (mg)	0.26	0.42	0.38
	Niacin(mg)	0.1	0.1	0.1
	C(mg)	0.0	0.0	0.0

\* : Recommended Dietary Allowances for Koreans, 7th Revision, 2000

난황을 이용하였다. 난황의 유화력은 난황 15g, 대두유 20ml, 식초 10ml를 15,000 rpm에서 2분간 blending하여 emulsion을 제조하였다. 제조된 emulsion 1g을 0.1M NaCl 9ml에 혼합하여 대두유를 1ml/sec로 떨어뜨리면서 2,000 rpm으로 유화시킨 다음 emulsion이 파괴될 때까지의 소요 ml를 측정하여 난황 1g에 대한 대두유 소요 ml로 표시하였다. WPI의 유화력은 WPI가 분말 상태이므로 난황의 수분함량(Table 5)을 고려하여 WPI와 증류수를 혼합한 다음 위와 동일한 방법으로 측정하였다.

### (3) 유화안정성 측정

WPI의 유화안정성(Emulsion Stability, ES)은 Johnson(92)의 방법을 이용하여 측정하였고 난황의 유화안정성도 측정하여 비교하였다. 난황의 유화안정성은 난황 8.5g, 대두유 11g, 증류수 46ml를 혼합하여 12,000 rpm에서 90초 동안 혼합하여 제조된 emulsion 100ml를 메스실린더에 취하여 정치시키면서 30분 간격으로 4시간 동안 분리된 이액량을 측정하여 최초 100ml에 대한 100분율로 표시하였다. 또 분말상태인 WPI의 유화안정성은 유화력 측정시와 같은 방법으로 시행하였다.

### (4) 기포형성력의 측정

기포형성력(Foam Forming Capacity, FC)의 측정은 Chen 등(93)이 제시한 방법을 사용하였고 난백의 기포형성력을 측정하여 비교하였다. 난백의 기포형성력은 난백 30g과 동량의 증류수를

혼합한 다음 homogenizer로 12,000 rpm에서 15분간 whipping하여 기포를 형성시켰다. 또 WPI의 기포형성력은 분말 WPI에 위와 같은 방법으로 처리하여 whipping하였으며 기포형성력은 교반 전 용액의 부피와 교반 후 생성된 기포의 부피를 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$FC(\%) = \frac{\text{Total volume of foam including liquid} - \text{Initial liquid volume}}{\text{Initial liquid volume}} \times 100$$

#### (5) 기포안정성 측정

기포안정성(Foam Stability, FS)은 변 등(94)의 방법을 수정하여 측정하였는데 기포형성력 측정시와 동일한 방법으로 기포를 형성시켜 30분 경과 후 남아있는 기포의 부피를 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$FS(\%) = \frac{\text{Foam volume including liquid after 30min}}{\text{Initial foam volume including liquid}} \times 100$$

### 3) WPI의 항산화 효과 측정

WPI의 항산화 효과 측정은 항산화제 무첨가 옥배유를 100ml 비이커에 각각 50g 씩을 담고 BHT 0.02%, tocopherol 0.02% 및

0.1%, ascorbic acid 0.02% 및 0.1%, WPI 0.02% 및 0.1%를 각각 첨가하여 60±2℃의 항온기(Daeyang Scientific Instrument, Korea)에서 30일간 저장하면서 3일 간격으로 각 시료를 채취하여 peroxide value(POV)와 conjugated dienoic acid value(CDV)를 측정하였다.

과산화물가(peroxide value)는 A.O.C.S cd. 8-53(95) 방법에 따라 측정하여 유지 1kg당 밀리당량(milli equivalent weight:meq/kg) 수로 나타내었으며 유도기간(induction period)은 각 시료의 과산화물가가 100 meq/kg oil에 도달하는데 소요되는 시간으로 정하였다. 또 항산화 효과의 상대적 크기를 보여주는 RAE(relative antioxidant effectiveness)는 control의 유도기간에 대한 각 항산화제를 첨가한 시료들의 유도기간의 백분율로 산출하였다.

공액이중산가(conjugated dienoic acid value)는 A.O.C.S Ti-la-64 (96) 방법에 따라 UV-VIS Spectrophotometer(Pharmacia Biotech Ultraspec. 2000, Cambridge, England)를 사용하여 233nm에서 흡광도를 측정하고 다음 식에 의해 산출하였다.

$$\text{공액이중산가(\%)} = 0.84 \times [(As/bc) - k_0]$$

$k_0$  : absorptivity by acid or ester group

acid :  $k_0 = 0.03$

ester :  $k_0 = 0.07$

As : absorbance of oil at 233nm

b : cell length(cm)

c : oil concentration(g/ℓ) of the final

이때 **WPI**와 항산화제들은 Han 등(97)의 microemulsion 방법을 이용하여 유지에 첨가하였다. 즉 **WPI**와 항산화제들은 각각 30% ethanol 용액에 녹인 후 span 20을 용해시킨 유지에 서서히 첨가하면서 hot plate magnetic stirrer로 교반하였다. 이때 hot plate의 온도는 60℃였으며 용액과 유화제는 각각 1%(w/w)와 0.1%(w/w)씩 유지에 첨가하였다. 그리고 유지에 30% ethanol 용액과 span 20만을 첨가하여 control로 사용하였다.

#### 4) 스폰지 케이크

##### (1) 스폰지 케이크 제조방법

스폰지 케이크는 조 등(98)의 방법을 변형하여 공립법으로 제조하였다. 제조 시 배합비율은 **WPI** 첨가량에 따른 각 스폰지 케이크의 질감 변화를 쉽게 관찰하기 위해 Table 6에 나타난 바와 같이 달걀, 설탕, 밀가루를 동량으로 이용하였고 제조과정은 Fig. 2와 같았다(99). 이때 달걀의 대체물로 첨가한 **WPI**의 형태는 분말상태이므로 달걀분말과 동일하다고 간주하였고 달걀분말로 달걀을 대체할 경우에는 원래의 달걀 내 수분함량을 고려하였다. 즉 본 실험에서는 제과제빵 시 이용되는 환수치 적용방법(100)에 의해 **WPI** 대체 첨가율에 따라 물의 첨가량도 달리하였다. 케이크 반죽은 제과용 Mixer (Kitchen aid K5SS, USA)를 사용하였고 mixing bowl에 달걀과 **WPI** 그리고 물을 넣고 2단으로 30초간 저어준 후 4단으로 3분간 혼합하고 설탕과 소금을 넣어준

Table 6. The formulation of sponge cake substituted by **WPI** at different levels

(Unit : g)

Ingredients	Ratio (%)	substitute levels of <b>WPI</b>					
		Control	W-10	W-20	W-30	W-40	W-50
<b>Flour</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Sugar</b>	100	100	100	100	100	100	100
<b>Salt</b>	2	2	2	2	2	2	2
<b>Water-1<sup>1)</sup></b>	40	40	40	40	40	40	40
<b>Egg</b>	100	100	90	80	70	60	50
<b>WPI<sup>2)</sup></b>	Variable	0	10	20	30	40	50
<b>Water-2<sup>3)</sup></b>	Variable	0	7.5	15	22.5	30	37.5

1) : Basic water amounts                      2) + 3) : Used as egg substitute

Control : Sponge cake made with egg

**W-10** : Sponge cake made with 10% **WPI** substitute for egg

**W-20** : Sponge cake made with 20% **WPI** substitute for egg

**W-30** : Sponge cake made with 30% **WPI** substitute for egg

**W-40** : Sponge cake made with 40% **WPI** substitute for egg

**W-50** : Sponge cake made with 50% **WPI** substitute for egg

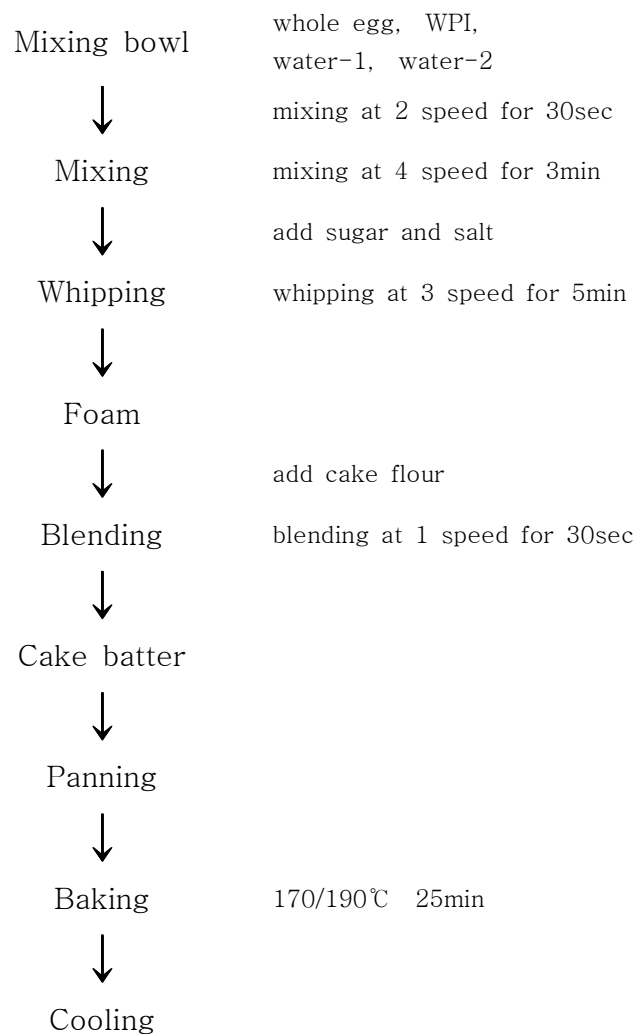


Fig. 2. Flow chart of sponge cake preparation

다음 3단으로 5분간 혼합하였다. 기포가 완성된 후 체에 친 박력분을 넣고 1단으로 30초간 혼합하여 반죽을 마무리하였다. 반죽을 고무주걱으로 mixing bowl의 벽에서 긁어내려 마지막을 잘 혼합한 후 지름 15cm, 깊이 3cm의 pan에 담아 윗불 170℃, 아랫불 190℃로 미리 예열된 오븐(Dae-Young Machinery Co., Korea)에서 25분간 구워 실온에서 1시간 정도 방냉시킨 후 품질 특성에 관한 실험 및 관능검사에 사용하였다.

(2) 스폰지 케이크 반죽의 비중, 점도 및 머랭의 이액량 측정

반죽의 비중(specific gravity)은 AACC Method 10~15(101)에 따라 반죽이 완성된 즉시 측정하였다. 이때 증류수의 밀도는 1.00g/cc로 가정하였으며 미리 무게를 측정한 비중 컵에 가득 담아 무게를 3회 반복 측정하고 증류수에 대한 반죽의 중량비로 구하였다.

$$\text{Specific gravity} = \frac{A - B}{C - B}$$

A : The weight of cup with sample

B : The weight of empty cup

C : The weight of cup filled with distilled water

반죽의 점도(viscosity)는 Mizukoshi(102)의 방법을 수정하여 완성된 반죽 19g 썩을 50ml 비이커에 평평하게 담아 항온수조에서 25℃로 유지하면서 Digital Viscometer(Model LV, Brookfield

Eng. Labs., USA)를 사용하여 3회 반복 측정하였다. 이때 spindle은 number 3을 이용하였으며 회전속도 12 rpm에서 spindle이 회전하기 시작하여 30초 후의 점도값을 취하였다.

WPI와 달걀의 meringues 안정성은 Miller(103)의 방법을 수정하여 측정하였다. 일정량의 달걀, 설탕, WPI, 물(첨가) 혼합하여 만든 기포(meringues)를 거름종이(Whatman No. 2)를 깔 깔때기에 30g씩 덜어 윗면을 평평하게 한 뒤 거품이 마르지 않도록 플라스틱 랩을 씌우고 50ml 메스실린더에 수직으로 세운 후 2시간 동안 이액량을 기록하였다.

### (3) 스폰지 케이크의 비용적과 팽화율 및 굽기손실 측정

스폰지 케이크를 구워서 실온에서 1시간 정도 방냉 후 종자치환법(104)으로 부피를 측정하였다. 케이크의 비용적(specific loaf volume, cc/g)은 케이크의 부피에 대한 케이크 무게의 비로 산출하였고 케이크의 팽화율은 케이크의 부피에 대한 케이크 반죽 부피의 비로 산출하였다(105). 케이크의 굽기과정에서 굽기손실량(Baking loss)은 굽기 전 반죽 무게와 구운 뒤 1시간 후의 무게 차이를 반죽의 무게 값으로 나누었다(105).

$$\text{Baking loss(\%)} = \frac{A - B}{A}$$

A : Weight of product before baking

B : Weight of product after baking

#### (4) 스폰지 케이크의 외형 및 주사전자현미경 관찰

외형은 디지털 카메라(Nikon, Coolpix S4, Japan)로 촬영하여 케이크 표면과 단면의 특성을 관찰하였고 또한 각 시료(10×10×10 mm)를 -70℃로 고정된 deep freezer에서 하룻동안 냉동시킨 후 동결건조기(Ilsin Lab., Bondiro, Korea)에 넣어 -50℃에서 8시간 동안 동결건조시켰다. 동결시킨 각 시료를 5×5×1 mm의 크기로 절단하고 알루미늄 표본 지지대 위에 얹고 JEOL 이온 도금기(JFC-1100)를 이용하여 약 150초 동안 gold 코팅한 후 Scanning Electron Microscope(JEOL, JSM 5410 LV, Japan)를 이용하여 가속전압 15KV에서 50배로 관찰하였다.

#### (5) 스폰지 케이크의 물성 측정

스폰지 케이크의 조직감은 실온에서 1시간 방냉한 다음 Texture Analyzer(Stable Micro Systems Ltd., Model TAXT-2, England)를 사용하여 측정하였으며 측정 조건은 Table 7과 같았다. TPA(Texture Profile Analysis) 방법을 통하여 각 시료의 경도(hardness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 부서짐성(fracturability), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness) 및 복원성(resilience)을 각각 6회 반복 측정하였다.

Table 7. Operating conditions of texture analyzer  
for measuring the texture of sponge cake

<b>Parameters</b>	<b>Conditions</b>
Sample size	6×7×2.5 cm
Probe	φ20 20mm dia cylinder aluminium
Pre-test speed	5.0 mm/sec
Test speed	1.7 mm/sec
Post-test speed	1.7 mm/sec
Distance	50 %
Force	100 g
Time	5 sec
Trigger type	Auto
Trigger force	10 g

(6) 스폰지 케이크의 색도 측정

케이크의 표면(crust)과 내부(crumb)의 색도 측정은 시료를 실온까지 식힌 후 Chroma Meter(Minolta Co., CR-200, Japan)를 이용하여 Hunter L(lightness), a(redness), b(yellowness) 값으로 표시하였으며 각 시료당 6회 반복 측정한 평균값으로 나타내었다. 백색 표준판(L=97.75, a=-0.49, b=1.96)을 사용하여 Chroma Meter를 보정한 후 색도 측정에 이용하였다. Total color difference( $\Delta E$ )는 다음과 같이 산출하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

이때  $\Delta E$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ 의 값은 백색판의 L, a, b 값과 시료의 L, a, b 값의 차이값을 이용하였다.

(7) 스폰지 케이크의 아미노산 함량 측정

스폰지 케이크의 아미노산 함량 분석은 1)~(4)의 방법과 같으며 각각의 시료는 약 80mg을 6N HCl 1000 $\mu$ l에 녹인 후 사용하였다.

(8) 스폰지 케이크의 수분함량

제조한 실험군별 케이크를 밀봉하여 20 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C에서 9일 동안 저장하면서 3일 간격으로 수분함량을 측정하였다. 수분함량은 Microwave Moisture/Solids Analyzer(LAB WAVE 9000, USA)를

이용하여 가열건조 중량 측정법으로 수행하였다. 측정 전에 0점을 조절하고 설정온도를 230℃(이때 시료에 조사되는 온도 105℃)로 입력하고 수분 측정시와 동일한 방법으로 준비된 2~3g의 시료를 cell에 올려 놓고 측정하였다.

#### (9) 관능검사

케이크의 관능검사는 실온에서 1시간 정도 저장한 것으로 하였다. 관능검사 요원은 성신여자대학교 식품영양학과 학생 10명을 panel로 선정하여 이들에게 실험목적 및 평가항목에 대해 설명하고 충분한 훈련을 실시하여 케이크의 품질 차이를 식별할 수 있는 능력을 갖추게 하여 정량적 묘사분석(quantitative descriptive analysis, QDA)으로 실시하였다(106). 관능검사에 사용된 항목 측정 방법으로는 15cm 선척도로 직선 위에 좌로부터 우로 갈수록 특성 강도가 증가하도록 선의 양쪽에 용어 한계를 표시하였다. 평가항목으로는 케이크의 외관(appearance), 기공의 균일성(air cell uniformity), 조직의 부드러움(softness), 씹힘성(chewiness), 촉촉함(moistness), 풍미(flavor), 입속 촉감(mouth feeling), 전체 기호도(overall acceptability)를 측정하여 통계처리로 유의성을 검정하였다. 시료는 케이크의 crumb 부분을 2×2×2cm<sup>3</sup> 크기로 잘라서 흰 접시에 한가지 시료씩 담아 물과 함께 제공하였다.

#### (10) 통계처리

통계처리는 Window용 SAS 6.2 version을 이용하여 분산분석

(analysis of variance, ANOVA)을 실시하였으며 Duncan의 다중 범위검정법(Duncan's multiple range test)으로 유의성을 검증하였으며 또한 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson 상관관계 분석을 실시하였다(107).

## IV. 실험결과

### 1. WPI의 이화학적 특성

#### 1) 일반성분 함량

WPI의 일반성분 중 수분, 지방, 단백질, 회분 함량을 A.O.A.C 법에 의하여 측정한 결과는 Table 8과 같았다. 즉 수분함량은 5.2%, 지방함량은 0.6%, 단백질함량은 90.7%, 회분의 함량은 2.7%이었다. 이는 Luebenau-Nestle(108)이 보고한 유청분말의 수분함량 0.49~4.38보다는 높은 편이었고 회분함량 8.6~9.0% 보다는 낮았으며 지방함량 0.41~2.40%와는 유사하였다. Lactose의 함량은 0.8%로 Glas(109)가 보고한 유청분말의 유당함량은 60~73%인 것에 비하여 WPI의 유당함량이 매우 적기 때문에 다른 여러 가지 유청제품들에 비해 점질성이 낮고 백색도가 더 높은 것으로 보인다.

Table 8. Proximate compositions of **WPI**

(unit : %)

---

Moisture	5.2
Ash	2.7
<b>Protein</b>	<b>90.7</b>
Lipid	0.6
Lactose	0.8

---

## 2) pH, 산도 및 세균수

WPI의 이화학적 분석 결과는 Table 9에 제시된 바와 같았으며 WPI의 pH는 6.26, 산도는 0.16%로 우유의 규격 기준(110)과 동일하였다. 이는 홍 등(53)이 보고한 유청분말의 pH 및 산도와도 유사한 수치였고 Leubenau-Nestle(108)이 제시한 유청분말의 pH 5.8~6.5와도 유사하였다.

적정산도는 제품 중의 유기산 함량을 측정하여 신선도와 품질 수준을 파악하는 지표로 수치가 높을수록 신선도와 품질이 저하되었음을 의미하는데 Evans 등(111)이 보고한 유청분말의 산도가 0.1%인 것에 비해 WPI의 산도는 약간의 차이를 보이는 값이었다. 이것은 우유를 농축 또는 분말화하면 산도가 높아진다는 문(110)의 이론에 관련된 현상으로 생각된다.

한편 세균수는  $5.9 \times 10^3$  cfu/g으로 나타나 우유의 규격 기준(110)보다 낮은 수치를 보였다.

Table 9. Physicochemical characteristics of **WPI**

---

pH	<b>6.26</b>
Acidity	<b>0.16%</b>
Active SH group	9 $\mu\text{mol/g}$
Total bacterial count	$5.9 \times 10^3$ cfu/g

---

### 3) 활성 SH group 함량

WPI의 gel 형성능력에 중요한 역할을 하는 활성 SH group의 양을 측정한 결과 9  $\mu\text{mol/g}$ 로 나타났다. 이는 홍 등(53)이 제시한 유청분말의 활성 SH group 농도 측정값 0.29~4.83  $\mu\text{mol/g}$ , 하 등(112)이 보고한 WPI의 활성 SH group 측정값 6.09  $\mu\text{mol/g}$  보다는 높은 양이었다. 유청분말의 -SH group의 중요한 출처는  $\beta$ -lactoglobulin으로서 Kella(113)에 의하면 이것은 자연상태에서는 우유 단백질에서 dimer로 존재하는데 열처리 등과 같은 에너지에 의한 변성으로 구조 변화가 일어나 monomer로 분리되고 내부에 있던 SH group이 외부로 노출된다고 하였으며  $\beta$ -lactoglobulin은 130°C에서 완전히 변성되는데 이때 함유된 아미노산인 methionine, cysteine, cystine 등이 가열취를 야기시키는 SH group이 생성된다.

본 실험에서 사용한 WPI의 경우  $\beta$ -lactoglobulin의 함량이 전체 단백질 비율의 50%를 차지하고 있기 때문에 -SH group의 함량이 높은 것으로 생각되며 이로 인해 gel 형성능력이 증가되므로 케이크의 형태에 좋은 영향을 줄 것으로 생각되었다.

### 4) 아미노산 함량

WPI에 함유되어 있는 아미노산 함량을 분석한 결과는 Table 10과 같았다. 아미노산의 총 함량은 90,711.9 mg%로 나타났으며

그 중 필수 아미노산의 전체 함량은 **44,032.1mg%**으로 총 아미노산의 **48.54%**를 차지했다.

아미노산 중 glutamic acid, aspartic acid 및 leucine의 함량이 각각 **16,999.4mg%**, **10,258.3mg%**, **10,470.8mg%**로 가장 높았다.

Glutamic acid는 근육의 glycogen 보충을 도와주고 과도한 운동으로 인한 면역능력 저하를 막아주며 arginine과 lysine은 성장호르몬의 분비를 촉진시키고 근육 형성 강화 및 체지방 감량에 영향을 주며 또 cystein, methionine 등의 함황 아미노산은 체내에서 항산화 역할을 하고 세포 분리 중에 DNA를 안정화 시키는 것으로 알려져 있다. 특히 필수 아미노산 중 leucine, isoleucine, valine 등의 측쇄 아미노산(Branched chain amino acid : BCAA)의 함량이 높게 나타났는데 이는 유청 단백질이 천연 단백질 식품 가운데 BCAAs의 함량이 가장 높은 것으로 보고된 이론과 일치하였다(114).

운동에 의해 체내의 모든 단백질 합성 능력이 저하되고 단백질은 유리 아미노산으로 분해되어 이동하고 근육은 혈액에서 BCAAs를 받아들여 열량을 내기 위한 포도당으로 분해한다. 이런 점에서 볼 때 여러 아미노산 가운데서 BCAAs는 장시간 계속되는 운동 중에 에너지원으로 쓰일 수 있는 독특한 특징을 가진 아미노산이다. 따라서 유청 단백질은 스포츠 식품에 매우 적합한 재료로 이용될 수 있다.

최근 몇 년간 규칙적인 운동을 통해 건강을 유지하려는 생활습관에 관심이 모아지면서 근육질의 균형잡힌 체격을 유지하기 위

Table 10. Amounts of amino acids in **WPI**

(unit : mg%)

<b>Amino acids</b>	<b>Contents</b>
Aspartic acid	10,258.3
Serine	2,350.6
Glutamic acid	16,999.4
Glycine	1,180.1
Histidine	1,373.2
Threonine	4,995.6
Arginine	1,672.5
Alanine	5,085.5
Proline	5,670.6
Cystein	1,621.0
Valine	5,928.9
Methionine	2,899.0
Lysine	8,983.6
Isoleucine	6,817.5
Leucine	10,470.8
Phenylalanine	2,563.5
Tyrosine	1,841.8
<b>Total AA</b>	<b>90,711.9</b>
<b>Essential amino acids</b> (Thr+Val+Met+Lys+Ile+Leu+Phe+His)	<b>44,032.1</b>

해 운동에 적합한 단백질 스포츠 음료, 기능성 영양 음료, 영양간식 및 여러 가지 건강제품에 대한 소비자의 관심과 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 경향에 맞추어 유청단백질의 이용은 유용할 것으로 사료된다.

## 5) 전기영동에 의한 WPI의 양상

전기영동에 의한 WPI의 단백질 양상을 알아본 결과는 Fig. 3과 같았다. WPI 단백질 분획들의 양은 측정되지 않았지만  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, BSA(bovine serum albumin)가 확실하게 나타났으며 그 밖에 WPI에 함유되어 있는 것으로 추정되는 protease, peptone, immunoglobulin A. G. M., lactoferrin, lactotransferrin 등의 band들은 미량으로 들어있기 때문인지 잘 보이지 않았다. 또 전기영동 결과  $\beta$ -lactoglobulin의 band가 가장 넓게 나타난 것으로 봐서  $\beta$ -lactoglobulin의 양은 전체 WPI의 50%를 차지한다는 보고(66)와도 일치하였다.

유청 단백질은 함황 및 필수 아미노산이 풍부하고 식물성 단백질에 첨가할 경우 영양강화 효과를 낼 수 있으며 소화흡수율이 높은 양질의 단백질로서 주로 거대 구형 단백질들로 구성되어 있다. 유청단백질을 세분해 보면  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, BSA(bovine serum albumin), immunoglobulin(Ig G), lactoferrin, protease, peptone 등으로 구성되어 있다.

이 중  $\beta$ -lactoglobulin은 유청 단백질의 반을 차지하고 이의 단

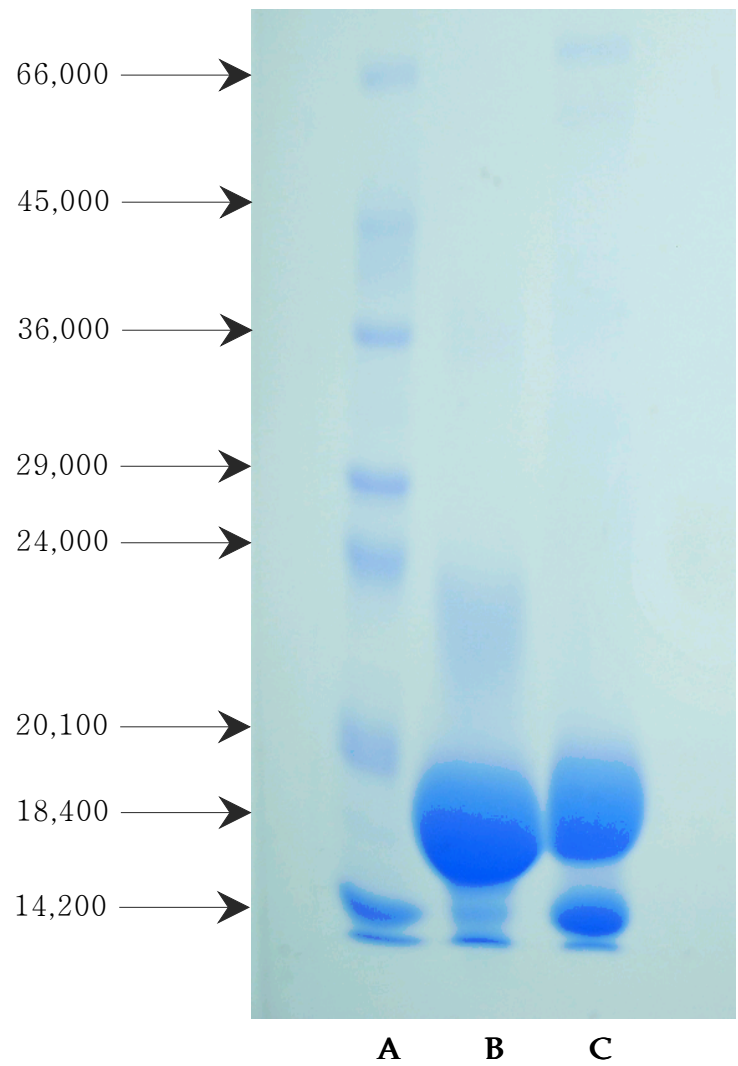


Fig. 3. SDS-PAGE patterns of **WPI**

Lane A : Standard

Lane B :  $\beta$ -Lactoglobulin

Lane C : **WPI**

위체의 분자량은 18,400 달톤이나 되는 거대분자로 pH 3.5 이하와 pH 7.5 이상에서는 monomer로 존재하나 pH 3.5~7.5사이에서는 dimer로 존재한다.  $\alpha$ -Lactalbumin은 분자량이 14,200 달톤으로 주로 유아의 소화촉진제로 사용되고 있다. Immunoglobulin은 여러 가지 다른 크기의 glycoprotein들로 구성되어 있고 일반적으로 antibody activity를 갖는 것으로 알려져 있다(42).

## 2. WPI의 기능성

### 1) 용해도

WPI의 단백질 용해도는 Table 11과 Fig. 4에서 보는 것과 같았으며 sodium caseinate보다 용해도가 높았다. pH에 따른 용해도는 sodium caseinate와 WPI가 pH 4에서는 각각 5%, 81%로 가장 낮은 용해도를 보였고 pH 9에서는 각각 79%, 88%로 높은 용해도를 나타냈다. 즉 WPI의 용해도는 sodium caseinate의 용해도가 pH에 의해 뚜렷한 영향을 받는데 비해 pH의 영향을 크게 받지 않는 결과를 보였다. 이는 95% 단백질을 포함하는 WPI의 용해도를 실온에서 pH 6, 7, 8일 때 측정된 결과가 각각 92.6, 94.5, 103.9%를 나타내어 pH가 높아질수록 WPI의 용해도가 증가하였다고 보고한 Lee 등(90)의 결과와 유사하였고 유청으로부터 동결시킨 WPC의 용해성을 pH 3과 7에서 측정된 결과 각각 87.8, 99.7% 였다고 보고한 Kim 등(115)의 결과와도 일치하였다.

이와 같은 연구 결과를 통해 **WPI**가 용해성이 우수하여 넓은 범위의 pH에서도 용해되므로 casein과는 달리 산성 하에서도 쉽게 용해되어 대부분의 식품, 특히 산성식품 및 음료 내에서 고유 기능을 상실하지 않고 이용될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다 (118). 따라서 **WPI**를 이용한 스포츠 음료 및 건강기능성 식품의 개발까지 확대될 수 있을 것으로 기대한다.

Table 11. Solubility of **WPI** and Sodium caseinate at different pH

(unit : %)

pH Samples	3	4	5	6	7	8	9
	<b>WPI</b>	82	81	80	84	85	87
<b>Sodium caeinate</b>	65	5	23	43	58	59	79

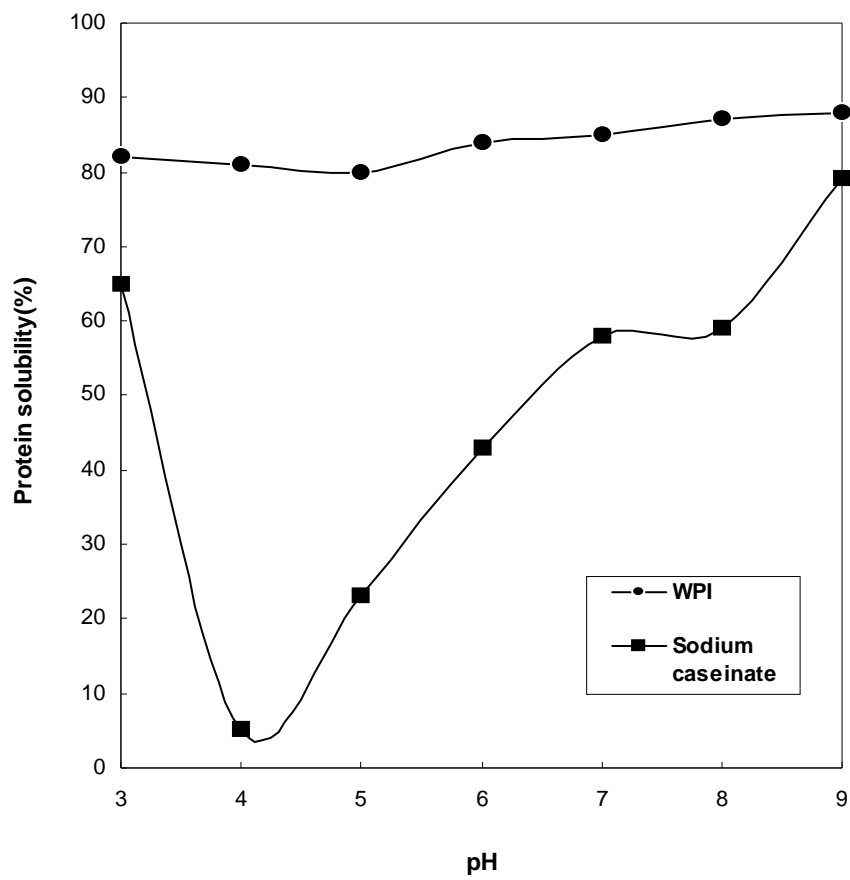


Fig. 4. Changes of solubility of WPI and sodium caseinate at different pH

## 2) 유화력과 유화안정성

WPI와 마요네즈 및 제과 등의 식품 제조에 효과적인 유화제로 쓰이는 난황의 유화력을 비교한 결과는 Table 12, Fig. 5에서 보는 것과 같았다. 유화물 형성 후 상(相)의 변화 시점까지 소요된 oil의 양은 WPI가 302.73ml/g, 난황이 187.07ml/g을 나타내어 WPI가 난황보다 약 1.6배의 높은 유화력을 나타내었다.

이는 본 실험에서 스펀지 케이크를 제조했을 때 달걀만으로 구운 스펀지 케이크와 달걀의 일부를 WPI로 대체해서 만든 WPI 대체 스펀지 케이크 간의 유의적인 품질 차이에서도 나타났다.

즉 케이크 반죽은 연속상인 수용액 상에 설탕, 소금이 용해되어 있고 단백질 성분은 콜로이드 상태를 이루며 전분입자, air cell이 분산되어 있는 것으로 반죽의 혼합 과정에서 가장 중요한 것은 모든 재료를 고르게 분산시키는 것과 기포를 충분히 혼입시켜 안정하게 보유하는 것이다. 따라서 WPI 대체 스펀지 케이크가 대체하지 않은 케이크보다 반죽의 비중이 유의적으로 낮고 점도는 높으며 또한 케이크의 비용적도 커지면서 품질이 향상되었다.

홍 등(116)도 WPC(Whey protein concentrate)의 유화력이  $319 \pm 10.6 \text{ ml}^2/\text{g}$ 이라고 제시하였고 Beuschel 등(117)도 WPC의 유화력을  $371 \text{ ml}^2/\text{g}$ 이라고 보고한 것과 본 실험의 결과가 유사하여 WPI가 높은 유화력을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Table 12. Emulsifying capacity of **WPI** and Egg yolk

(unit : ml/g)

<b>Samples</b>	<b>Emulsifying capacity*</b>
<b>WPI</b>	<b>302.73</b>
Egg yolk	181.07

\* : Adding amounts of oil in emulsion until separation

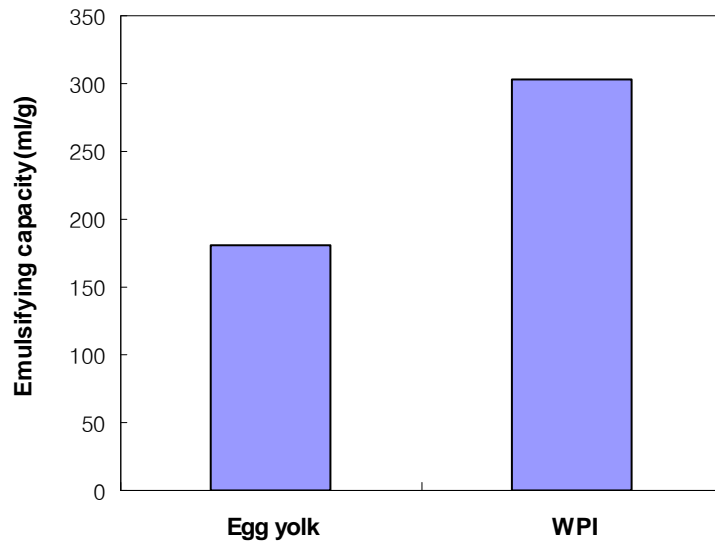


Fig. 5. Comparison of emulsifying capacity of **WPI** and Egg yolk by oil amounts until separation

한편 유화안정성을 측정하기 위하여 **WPI**와 난황으로 유화액을 제조하여 4시간 동안 정치시키면서 유화액의 분리된 양을 측정한 결과 Table 13, Fig. 6에서 보는 바와 같았다. 난황의 유화액은 초기에 급격한 분리가 일어난 후 서서히 진행된 데 비하여 **WPI**는 초기에도 완만한 분리가 일어나면서 서서히 진행됨을 보였지만 90분과 120분 사이에서는 두 시료 모두 유화안정성이 급격히 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 **WPI**의 경우 유화액의 이액량이 10%에서 20%로, 난황의 경우 16%에서 25%로 증가함을 보였다. 4시간 정치 후 **WPI**와 난황으로 만든 유화액 이액량은 각각 35%와 40%로 **WPI**가 난황보다 유화안정성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 **WPI**를 유화제로 이용한다면 각종 유화식품의 생산수율 증대와 저장성을 위해 이용 가치가 있을 것으로 생각된다.

Table 13. Emulsion stability of **WPI** and Egg yolk  
measured by amounts of syneresis

(unit : %)\*

	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>150</b>	<b>180</b>	<b>210</b>	<b>240 (min)</b>
<b>WPI</b>	3	7	10	20	26	30	32	35
<b>Egg yolk</b>	11	14	16	25	30	33	38	40

\* : Amount of syneresis from emulsion

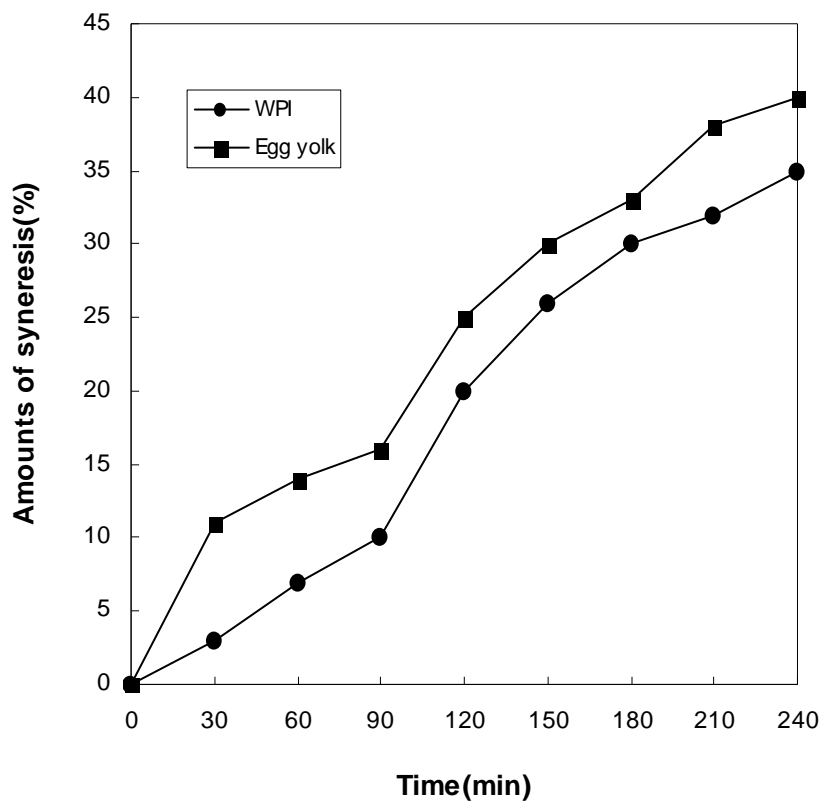


Fig. 6. Comparison of syneresis amounts of emulsions made with **WPI** and Egg yolk upon time fluctuation

#### 4) 기포형성력과 기포안정성

WPI와 난백의 기포형성력 및 기포안정성을 비교한 결과는 Table 14, 15와 Fig. 7, 8에서 보는 것과 같았다.

WPI와 난백을 15분 동안 whipping 시킨 후 생성된 기포의 부피로 측정된 기포형성력은 각각 323.33%와 186.67%로 나타나 WPI의 기포형성력이 약 1.7배 정도나 우수한 결과를 보였다. 이는 분리 대두 단백질의 기포형성 특성을 식품 제조에 이용하거나 기포제로 사용할 때에 난백보다도 우수하다고 보고한 Smith 등(118)의 연구와 유사한 결과이었다.

WPI와 난백의 기포안정성은 큰 차이를 보이지 않았으나 난백보다 WPI가 다소 높은 안정성을 나타냈고 시간이 경과함에 따라 기포안정성이 떨어짐을 알 수 있었다. 즉 생성된 기포에서 분리되어 나온 이액량을 이용하여 측정한 기포안정성의 결과는 WPI가 85.91~97.73%, 난황이 84.88~95.35%로 나타났다. 이는 손 등(119)이 보고한 분리 메밀 단백질의 기포안정성 70~93.5% 보다도 WPI의 기포안정성이 우수하다는 결과를 알 수 있었다.

Narayama 등(120)은 기포안정성이 단백질 내 구조의 계면 특성과 피막의 강도에 영향을 받으며 이러한 특성은 단백질 내부의 분자 구조와 밀접하게 관련되기 때문에 거대한 3차원적 입체구조를 하고 있는 단백질은 분자 구조 때문에 기포형성력이 낮으나 어느 정도의 기포가 형성된 후에는 기포의 안정성이 높아진다고 하였다. 본 실험에서 사용한 WPI는 큰 분자량임에도 불구하고

높은 기포형성력과 기포안정성을 동시에 나타낸 것이 특이하다고 할 수 있었다.

WPI의 기포형성력과 기포안정성의 효과는 본 실험의 스펀지 케이크 제조 시에 케이크 반죽의 비중 차이로 알 수 있었는데 적당한 기포의 형성으로 반죽의 비중이 낮아져 케이크의 품질이 향상되었다. 이는 케이크 반죽에서의 기포는 안정성이 부여되어야 최종 케이크가 완성될 때까지 기포가 가라앉지 않게 되어 원하는 스펀지 케이크 형태를 얻을 수 있다는 Ellinger(121)의 이론과도 일치하는 결과였다. Pylar(104)는 스펀지 케이크의 구조 및 부피 형성은 달걀의 공기 포집력과 안정된 기포형성에 의해 크게 좌우된다고 하였다.

단백질의 중요한 기능성의 하나인 기포 특성은 식품 내에서 질감과 외관 등의 관능적 품질을 증진시키는데 이용된다. 기포형성의 특성은 단백질 표면 활성의 저하와 피막 형성의 특성에 밀접한 관계를 가지며 또한 공기 입자를 둘러싸는 단백질 피막이 수분을 보유할 정도의 강도가 있어야 하며 기계적인 자극에 잘 견디어야 안정한 기포를 만들 수 있다(118). 식품 내에서 기포형성제로 흔히 난백을 사용하고 있는데 WPI를 기포제로 대체 이용하는 것도 가능할 것으로 사료된다.

Table 14. Foam forming capacity of **WPI** and Egg white

(unit : %)

<b>Samples</b>	<b>Foam forming capacity*</b>
<b>WPI</b>	323.33
Egg white	186.67

\* : 
$$\frac{\text{Total volume of foam including liquid} - \text{Initial liquid volume}}{\text{Initial liquid volume}}$$

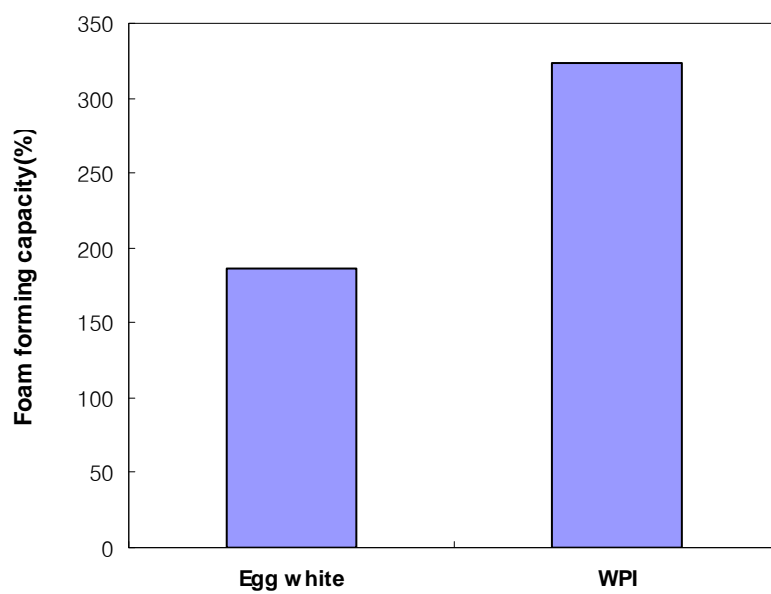


Fig. 7. Foam forming capacity of **WPI** and Egg white

Table 15. Foam stability determined by residual quantity of foam made from **WPI** and Egg yolk upon time fluctuation

(unit : %)

	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60 (min)</b>
<b>WPI</b>	97.73	96.82	94.09	93.18	89.55	85.91
<b>Egg white</b>	95.35	94.19	89.53	87.21	86.05	84.88

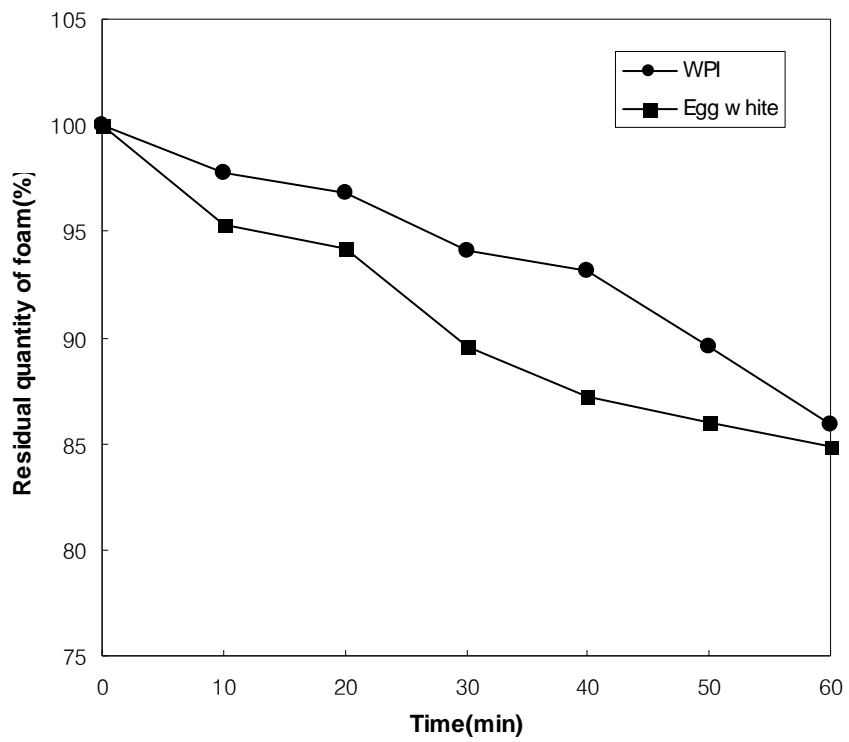


Fig. 8. Comparison of residual quantity of foam made with WPI and Egg yolk upon time fluctuation

### 3. WPI의 유지에 대한 항산화능력

WPI의 유지에 대한 항산화 능력의 유무를 조사하기 위하여 WPI와 항산화제들을 첨가한 옥배유를  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 저장하면서 3일 간격으로 과산화물가(POV)와 공액이중산(CDA, %) 함량을 측정하였다.

#### 1) 과산화물가, 유도기간 및 상대적 항산화효과

WPI와 기존의 항산화제를 첨가한 옥배유의 과산화물가는 Table 16, Fig. 9와 같았다. 저장 12일 후에 무첨가인 옥배유 control의 POV가 109.38 meq/kg oil 인데 비하여 WPI 0.02, 0.1% 첨가기질의 POV는 각각 48.34, 25.37 meq/kg oil로 저장 전반기에는 우수한 항산화효과를 보였다. 이들 항산화제의 항산화효과의 크기는 AsA 0.1% > BHT 0.02% > WPI 0.1% > WPI 0.02% > AsA 0.02% > Control > Toc 0.02% > Toc 0.1%의 순이었다. 저장 15일 쯤까지 BHT보다 AsA 0.01%가 항산화효과가 우수한 것으로 나타난 것은 AsA를 기질유지에 첨가시 microemulsion 방법(97)을 사용하였음에도 불구하고 AsA가 친수성 항산화제이므로 기질유지에 균일하게 분산되지 않음에 의해 나타난 결과라고 생각된다.

또 WPI와 기존의 항산화제를 첨가한 각 기질의 유도기간도 측정하여 Table 17에 나타내었다. 항산화제를 전혀 첨가하지 않은

control의 유도기간은 10.9일인데 비하여 BHT 0.02% 첨가기질의 경우는 31.5일로 가장 긴 유도기간을 나타내었다. WPI 0.02, 0.1% 첨가기질의 경우에는 각각 17.6일, 18.1일로 control의 경우보다 긴 유도기간을 나타내었다.

항산화효과의 상대적인 크기를 RAE(relative antioxidant effectiveness)로 산출한 결과 *dl-a*-tocopherol의 상대적 항산화효과는 79로 나타나 항산화효과가 없는 것으로 나타났으며 그 이유 중의 하나는 항산화제의 첨가 방법 때문으로 생각된다. 이와 같이 *dl-a*-tocopherol이 항산화제로서 불안정한 사실은 이미 논문에 보고된 바 있다(122-123). 한편 WPI 0.02%와 0.1% 첨가기질의 경우 그 상대적 항산화효과는 각각 161, 166으로서 control보다 약 1.6배의 유도기간 연장 효과를 보였다. 이러한 결과는 AsA 0.02% 첨가기질의 123보다는 높고 AsA 0.1% 첨가기질의 216보다는 낮은 것이었다. RAE에 의한 각 항산화 물질의 항산화효과의 크기는 BHT 0.02% > AsA 0.1% > WPI 0.1% > WPI 0.02% > AsA 0.02% > Control > Toc 0.02% > Toc 0.1%의 순으로 나타났다.

따라서 WPI는 항산화효과가 확실히 있는 것으로 나타났으며 이는 Youling(50)이 WPI와 WPI의 가수분해물을 첨가한 돼지고기 patty를 튀겨 저장한 것에서 항산화효과가 있었다고 보고한 것과 같은 경향이었다. WPI의 항산화력은 WPI 단백질 분획물 중 미량으로 들어있는 lactoferrin에 의한 것으로 추정된다고 하였다.

Table 16. Peroxide values of corn germ oil with each antioxidant and WPI stored at 60±2 °C for 30 days

Antioxidants	(meq/kg oil)										
	Storage period (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	4.91 <sup>a</sup> ±0.07	5.91 <sup>d</sup> ±0.01	18.84 <sup>c</sup> ±1.02	70.70 <sup>c</sup> ±0.40	109.38 <sup>c</sup> ±1.85	158.90 <sup>c</sup> ±0.29	193.52 <sup>b</sup> ±0.37	214.26 <sup>c</sup> ±0.18	243.65 <sup>b</sup> ±0.87	251.80 <sup>c</sup> ±1.26	276.37 <sup>c</sup> ±1.06
BHT 0.02%	1.48 <sup>d</sup> ±0.50	3.92 <sup>f</sup> ±0.01	4.92 <sup>f</sup> ±0.06	5.44 <sup>g</sup> ±0.48	8.43 <sup>g</sup> ±0.49	12.84 <sup>g</sup> ±0.01	18.98 <sup>h</sup> ±0.01	30.32 <sup>h</sup> ±0.53	48.34 <sup>h</sup> ±0.39	78.68 <sup>h</sup> ±0.15	95.22 <sup>h</sup> ±1.32
WPI 0.02%	2.97 <sup>c</sup> ±0.03	3.44 <sup>g</sup> ±0.48	3.95 <sup>g</sup> ±0.02	17.93 <sup>e</sup> ±0.07	48.34 <sup>e</sup> ±0.52	57.79 <sup>e</sup> ±0.85	102.05 <sup>e</sup> ±0.02	111.59 <sup>f</sup> ±0.31	156.24 <sup>d</sup> ±1.62	177.29 <sup>d</sup> ±0.50	186.77 <sup>e</sup> ±0.63
WPI 0.1%	4.12 <sup>b</sup> ±0.26	4.77 <sup>e</sup> ±0.27	7.97 <sup>e</sup> ±0.01	15.92 <sup>f</sup> ±0.01	25.37 <sup>f</sup> ±0.41	55.05 <sup>f</sup> ±0.46	87.85 <sup>f</sup> ±0.36	116.22 <sup>e</sup> ±0.83	135.42 <sup>f</sup> ±1.47	155.09 <sup>f</sup> ±0.43	192.92 <sup>d</sup> ±0.27
AsA 0.02%	1.48 <sup>d</sup> ±0.49	6.90 <sup>c</sup> ±0.03	17.87 <sup>d</sup> ±0.01	43.80 <sup>d</sup> ±2.90	69.20 <sup>d</sup> ±0.35	96.30 <sup>d</sup> ±3.12	134.39 <sup>d</sup> ±0.33	145.36 <sup>d</sup> ±0.69	151.12 <sup>e</sup> ±1.27	159.34 <sup>e</sup> ±0.53	181.14 <sup>f</sup> ±0.74
AsA 0.1%	0.99 <sup>d</sup> ±0.01	0.99 <sup>h</sup> ±0.01	1.00 <sup>h</sup> ±0.00	1.49 <sup>h</sup> ±0.50	2.50 <sup>h</sup> ±0.51	7.98 <sup>h</sup> ±1.98	24.83 <sup>g</sup> ±1.95	73.25 <sup>g</sup> ±2.38	81.75 <sup>g</sup> ±0.99	114.96 <sup>g</sup> ±0.30	143.79 <sup>g</sup> ±1.12
Toc 0.02%	3.46 <sup>c</sup> ±0.48	7.91 <sup>b</sup> ±0.00	27.82 <sup>b</sup> ±0.03	82.10 <sup>b</sup> ±0.55	122.04 <sup>b</sup> ±1.06	164.93 <sup>b</sup> ±0.13	183.67 <sup>c</sup> ±0.10	233.66 <sup>b</sup> ±0.22	239.57 <sup>c</sup> ±1.24	258.07 <sup>b</sup> ±0.31	290.33 <sup>b</sup> ±0.01
Toc 0.1%	4.40 <sup>ab</sup> ±0.46	17.29 <sup>a</sup> ±0.48	49.66 <sup>a</sup> ±0.89	98.80 <sup>a</sup> ±0.88	138.74 <sup>a</sup> ±0.11	187.76 <sup>a</sup> ±0.34	217.35 <sup>a</sup> ±0.13	252.76 <sup>a</sup> ±1.59	258.89 <sup>a</sup> ±0.25	279.67 <sup>a</sup> ±0.82	295.84 <sup>a</sup> ±0.37

Control : Added none of antioxidants

AsA : Ascorbic acid

Toc : *dl*-*a*-Tocopherol

WPI : Whey protein isolate

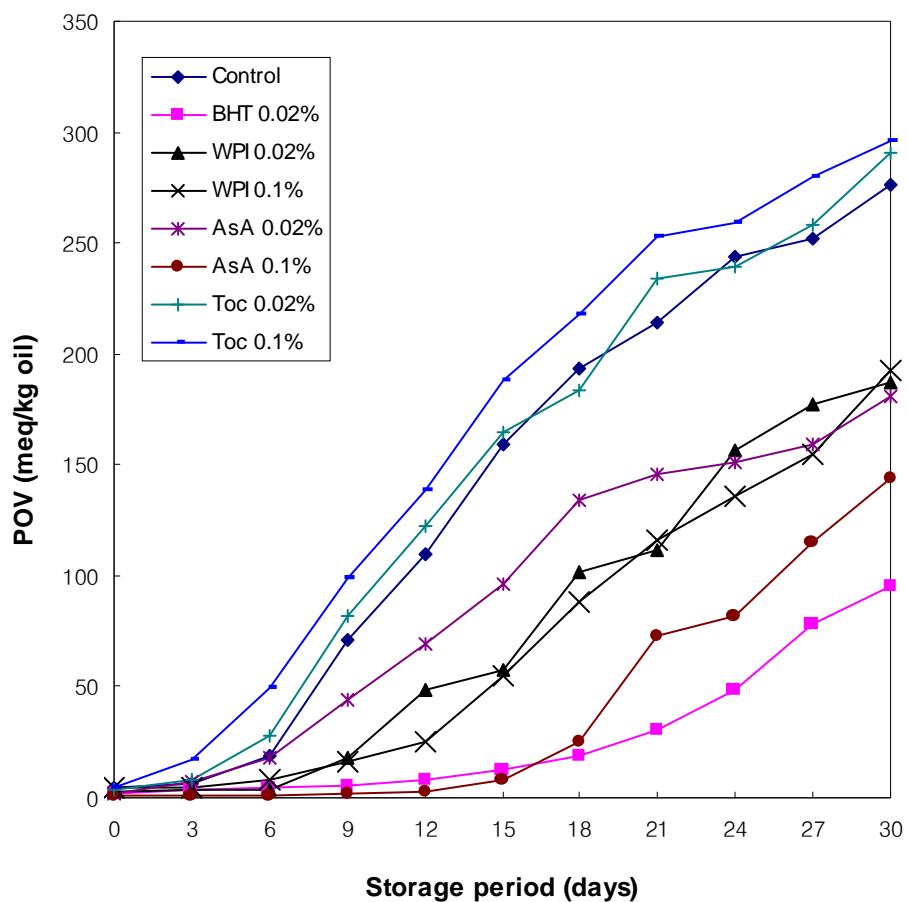


Fig. 9. Changes of peroxide values of corn germ oil added with BHT, Toc., AsA, WPI stored at  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  for 30 days

Table 17. Induction period(**IP**) and relative antioxidant effectiveness(**RAE**) of the corn germ oils with each antioxidants and **WPI** stored at **60±2°C** for 30 days

<b>Antioxidants</b> (%)	<b>IP</b> (period)	<b>RAE</b> (%)
<b>Control</b>	10.9	100
<b>BHT 0.02%</b>	31.5	289
<b>WPI 0.02%</b>	17.6	161
<b>WPI 0.1%</b>	18.1	166
<b>AsA 0.02%</b>	13.4	123
<b>AsA 0.1%</b>	23.5	216
<b>Toc 0.02%</b>	9.8	90
<b>Toc 0.1%</b>	8.6	79

**IP**: Period until **POV** 100 meq/kg oil of oil

$$\text{RAE} = \frac{\text{IP of the corn germ oil with each antioxidant}}{\text{IP of the corn germ oil}} \times 100$$

## 2) 공액이중산 함량의 변화

WPI 및 항산화제를 첨가한 옥배유를  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 저장하면서 3일 간격으로 측정된 공액이중산(CDA, %) 함량은 Table 18과 Fig. 10과 같았다. 저장 중 각 기질의 CDA(%) 함량의 변화도 과산화물가와 비슷한 경향을 보였다. 저장 6일 째에 control의 0.33과 비교시 WPI 첨가군들의 CDA(%) 함량은 첨가량에 관계없이 0.1을 나타내어 항산화효과를 보였다. 저장 12일 째의 CDA(%) 함량은 control의 경우 1.94, WPI 0.02%의 경우 0.71, WPI 0.1%의 경우 0.7을 나타내어 저장 초기에는 WPI의 항산화효과가 유의적( $P<0.05$ )으로 큰 것을 알 수 있었다. 저장 15일 째 CDA(%) 함량으로 본 항산화효과의 순서는 BHT 0.02% > AsA 0.1% > WPI 0.1% > WPI 0.02% > AsA 0.02% > Toc 0.02% > Control > Toc 0.1% 였고 저장 30일 째까지 지속적으로 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 과산화물가와 일치한 경향을 보여 WPI의 항산화성을 확인할 수 있었다.

Table 18. Conjugated dienoic acid values of corn germ oil with each antioxidant and WPI stored at  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  for 30 days (%)

Antiox- idants	Storage period (days)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
<b>Control</b>	0.05 <sup>ab</sup> ±0.02	0.11 <sup>c</sup> ±0.01	0.33 <sup>b</sup> ±0.00	0.95 <sup>b</sup> ±0.01	1.18 <sup>c</sup> ±0.00	1.94 <sup>b</sup> ±0.00	2.12 <sup>c</sup> ±0.01	2.41 <sup>c</sup> ±0.01	2.68 <sup>c</sup> ±0.01	2.73 <sup>c</sup> ±0.01	3.04 <sup>c</sup> ±0.01
<b>BHT 0.02%</b>	0.04 <sup>bc</sup> ±0.01	0.11 <sup>c</sup> ±0.01	0.14 <sup>d</sup> ±0.10	0.15 <sup>f</sup> ±0.01	0.16 <sup>g</sup> ±0.00	0.24 <sup>h</sup> ±0.00	0.26 <sup>h</sup> ±0.01	0.41 <sup>g</sup> ±0.00	0.52 <sup>h</sup> ±0.00	0.90 <sup>h</sup> ±0.00	1.07 <sup>h</sup> ±0.01
<b>WPI 0.02%</b>	0.05 <sup>ab</sup> ±0.00	0.06 <sup>f</sup> ±0.00	0.10 <sup>e</sup> ±0.01	0.21 <sup>d</sup> ±0.01	0.60 <sup>d</sup> ±0.00	0.71 <sup>e</sup> ±0.01	1.22 <sup>e</sup> ±0.00	1.30 <sup>e</sup> ±0.01	1.84 <sup>e</sup> ±0.01	2.10 <sup>d</sup> ±0.00	2.12 <sup>e</sup> ±0.00
<b>WPI 0.1%</b>	0.03 <sup>cd</sup> ±0.00	0.09 <sup>e</sup> ±0.00	0.10 <sup>e</sup> ±0.01	0.19 <sup>e</sup> ±0.00	0.34 <sup>f</sup> ±0.00	0.70 <sup>f</sup> ±0.00	1.07 <sup>f</sup> ±0.01	1.45 <sup>d</sup> ±0.16	1.61 <sup>f</sup> ±0.00	1.78 <sup>f</sup> ±0.01	2.21 <sup>d</sup> ±0.00
<b>AsA 0.02%</b>	0.04 <sup>bc</sup> ±0.01	0.10 <sup>d</sup> ±0.00	0.24 <sup>c</sup> ±0.01	0.46 <sup>c</sup> ±0.00	0.56 <sup>e</sup> ±0.01	0.88 <sup>d</sup> ±0.01	1.25 <sup>d</sup> ±0.00	1.54 <sup>d</sup> ±0.01	1.86 <sup>d</sup> ±0.01	1.88 <sup>e</sup> ±0.01	2.09 <sup>f</sup> ±0.01
<b>AsA 0.1%</b>	0.04 <sup>bc</sup> ±0.01	0.06 <sup>f</sup> ±0.01	0.07 <sup>f</sup> ±0.01	0.08 <sup>g</sup> ±0.01	0.16 <sup>g</sup> 0.00	0.31 <sup>g</sup> ±0.00	0.40 <sup>g</sup> ±0.01	0.94 <sup>f</sup> ±0.00	1.07 <sup>g</sup> ±0.01	1.42 <sup>g</sup> ±0.01	1.80 <sup>g</sup> ±0.01
<b>Toc 0.02%</b>	0.02 <sup>d</sup> ±0.00	0.12 <sup>b</sup> ±0.00	0.34 <sup>b</sup> ±0.01	0.94 <sup>b</sup> ±0.01	1.46 <sup>b</sup> ±0.01	1.93 <sup>c</sup> ±0.01	2.16 <sup>b</sup> ±0.00	2.71 <sup>b</sup> ±0.01	2.75 <sup>b</sup> ±0.00	2.86 <sup>b</sup> ±0.00	3.16 <sup>b</sup> ±0.00
<b>Toc 0.1%</b>	0.05 <sup>a</sup> ±0.00	0.21 <sup>a</sup> ±0.00	0.80 <sup>a</sup> ±0.00	1.12 <sup>a</sup> ±0.00	1.69 <sup>a</sup> ±0.00	2.23 <sup>a</sup> ±0.00	2.56 <sup>a</sup> ±0.00	2.93 <sup>a</sup> ±0.01	3.13 <sup>a</sup> ±0.00	3.19 <sup>a</sup> ±0.00	3.22 <sup>a</sup> ±0.00

Control : Added none of antioxidants

AsA : Ascorbic acid

Toc : *dl*- $\alpha$ -Tocopherol

WPI : Whey protein isolate

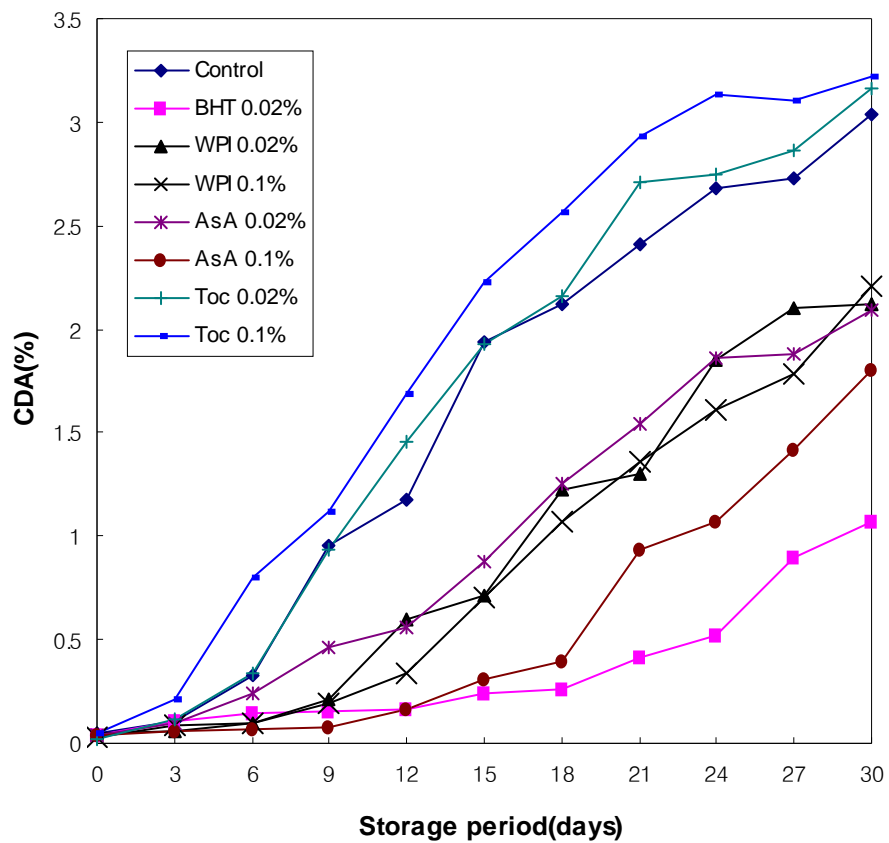


Fig. 10. Changes of conjugated dienoic acid values of corn germ oil added with BHT, Toc., AsA, WPI stored at  $60\pm 2^{\circ}\text{C}$  for 30 days

#### 4. WPI의 스폰지 케이크 품질에 미치는 영향

##### 1) 스폰지 케이크 반죽의 비중, 점도 및 기포의 안정성

WPI 첨가량에 따른 케이크 반죽의 비중은 Table 19, Fig. 11에서 보는 바와 같았다. WPI를 대체하지 않고 달걀만으로 제조한 control 케이크가 0.68로 비중이 가장 높았고 WPI 20% 대체 케이크가 0.42로 가장 낮았다. WPI를 대체한 케이크 반죽의 비중은 0.43~0.48로 control 케이크보다 모두 낮았으며 대체량에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

케이크 반죽은 연속상인 수용액상에 설탕, 소금이 용해되어 있고 단백질 성분은 콜로이드 상태를 이루며 전분입자, air cell이 분산되어 있는 것으로 반죽의 혼합과정에서 가장 중요한 것은 모든 재료를 고르게 분산시키는 것과 기포를 충분히 혼입시켜 안정하게 보유하는 것이다(124).

케이크 반죽의 비중은 반죽의 특성에 따라 다르게 나타나는데 케이크 반죽에서 비중이 낮다는 것은 반죽에 많은 공기가 함유되어 있음을 의미한다. 같은 무게의 반죽을 구울 때 비중이 높으면 부피가 작아지고 비중이 낮으면 부피가 커지기 때문에 일정한 비중이 되도록 조절하는 것이 제조현장에서 매우 중요하다.

비중은 또한 케이크의 내부조직에도 큰 영향을 미친다.

Pyler(125)는 반죽의 비중이 높으면 부피가 줄어들고 내부조직이 조밀해지며 무거운 스폰지 상태로 되어 씹힘성이 떨어지며 비

Table 19. Specific gravity and viscosity of cake batters substituted by different levels of **WPI** for egg

	<b>Specific gravity</b>	<b>Viscosity(cP)</b>
<b>Control</b> <sup>1)</sup>	<b>0.68±0.03</b> <sup>2)a3)</sup>	<b>1110±40.00</b> <sup>e</sup>
<b>W-10</b>	<b>0.43±0.06</b> <sup>b</sup>	<b>4150±50.00</b> <sup>d</sup>
<b>W-20</b>	<b>0.42±0.04</b> <sup>b</sup>	<b>4250±50.00</b> <sup>d</sup>
<b>W-30</b>	<b>0.46±0.02</b> <sup>b</sup>	<b>5020±75.50</b> <sup>c</sup>
<b>W-40</b>	<b>0.47±0.05</b> <sup>b</sup>	<b>6650±65.57</b> <sup>b</sup>
<b>W-50</b>	<b>0.48±0.06</b> <sup>b</sup>	<b>8956.67±51.32</b> <sup>a</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=3)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

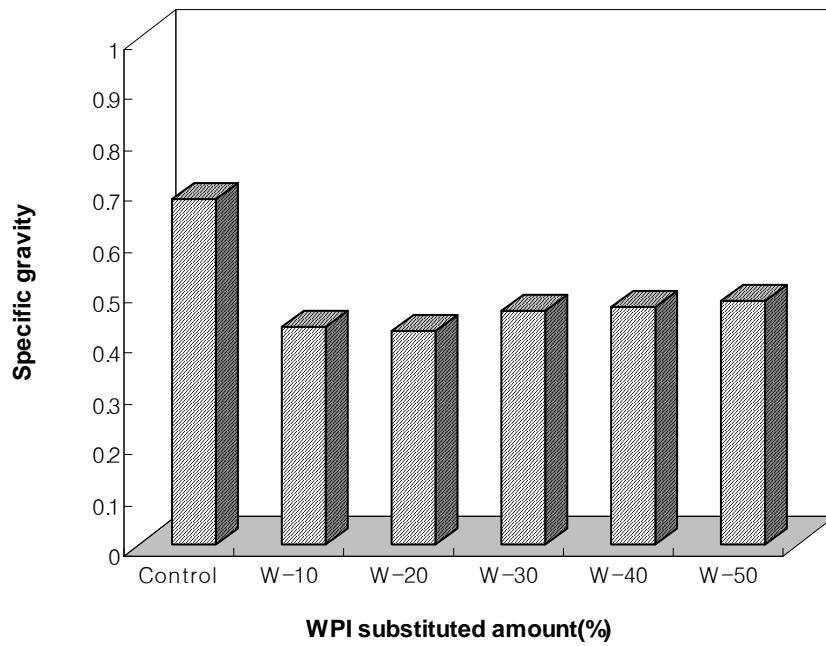


Fig. 11. Changes of specific gravities of sponge cake batters substituted by different levels of **WPI** for egg

W-10~50 : Substituted amounts of WPI at level of 10~50%

중이 너무 낮으면 내부조직이 고르지 못하여 조직이 거친 스펀지 상태로 되어 약하고 부서지기 쉽다고 하였다.

일반 스펀지 케이크의 비중을 Mizukoshi(126)는 0.5, Pylar(104)는 0.46~0.48로 기준하고 있으며 우리나라의 제과 기준의 경우 달걀 함량이 180%에서 비중  $0.55 \pm 0.05$ 인 때를 기준으로 하고 있다(127). 스펀지 케이크는 제조 과정에서 그 용도에 따라 품질과 제조원가가 조절되어야 할 경우가 많으므로 다양한 배합율이 사용되고 있다. 스펀지 케이크의 배합종류로는 가벼운 스펀지(달걀이 많고 밀가루가 적은 배합), 중간타입, 무거운 타입(달걀, 설탕, 밀가루가 동량인 상태) 등이 있고 달걀의 사용량은 100~200%로 그 폭이 넓다(99).

본 실험에서는 스펀지 케이크의 배합비율을 무거운 스펀지로 하였음에도 불구하고 대체 케이크가 control 케이크에 비해 유의적으로 낮은 비중값을 보여 조 등(105)이 보고한 일반적인 스펀지 케이크의 비중 0.45~0.50과 유사한 값을 나타냈다. 이러한 현상은 달걀의 대체로 첨가한 WPI의 기포형성 능력이 큰 것에 기인하는 것으로 보인다. 그래서 비중이 낮으면 내부조직이 거친 스펀지가 만들어져서 약하고 부서지기 쉽다고 한 Pylar(104)의 결과와는 다르게 본 실험의 WPI 대체 케이크들은 control 케이크보다 비중이 낮음에도 불구하고 내부조직이 더 조밀해지면서 부드러운 특성을 보였다.

또 일정 시간 동안의 이액량으로써 측정되는 머랭(meringue)의 안정성은 Table 20와 Fig. 12에서 보는 것과 같았으며 WPI 대체

케이크들이 control보다 유의적으로 낮은 이액량을 보여 비중의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 이는 적정 비중, 즉 적당한 기포 형성은 바람직한 품질의 케이크 제조에 매우 중요하다는 Ellinger (121)의 이론과 일치하였다. Mizukoshi(126)는 만약 기포의 안정성이 부족하여 이액현상이 나타난다면 기포가 커져서 케이크는 끈적한 층을 갖게 된다고 하였다. 또 Pylar(125)는 케이크 반죽에서의 기포는 안정성이 부여되어야 최종 케이크가 완성될 때까지 기포가 가라앉지 않게 되어 원하는 스펀지 케이크 형태를 얻을 수 있고 스펀지 케이크의 구조 및 부피 형성은 달걀의 공기포집력과 안정된 기포 형성에 크게 좌우된다고 하였다. 본 실험에서 meringue의 이액량은 WPI 50% 대체 meringue가 가장 적었고 WPI 40, 30, 20, 10% 대체 meringue의 순서로 이액량이 많아졌으며 달걀만으로 제조한 control이 가장 많은 이액량을 보였다.

달걀에 대한 WPI의 대체비율이 높을수록 이액량이 감소하는 것으로 보아 WPI의 기포형성력과 기포안정성이 높다는 것이 확인되었다. 케이크 반죽의 비중은 반죽 내 기포형성 정도를 나타내고 형성된 기포는 가열(baking) 초기 단계를 통하여 팽창되며 그 위에 응고된 달걀 단백질과 전분 gel의 matrix가 케이크 내부 구조를 형성한다는 이론(128)과 같이 WPI의 기포성은 케이크 조직감과 관련된 품질 결정에 있어서 매우 중요하다고 생각된다. 기포의 안정성은 잔탄검(39)이나 마 점질물(129)과 같은 다당류 물질에 의한 연속상의 점도 상승으로 향상될 수 있다.

Table 20. Foam stability by drainage of meringues substituted by different levels of **WPI** for egg

(unit : ml)

<b>Samples<sup>1)</sup></b>	<b>Drainage amount</b>
<b>Control</b>	<b>8.00±0.50<sup>2)a3)</sup></b>
<b>W-10</b>	<b>5.00±0.50<sup>b</sup></b>
<b>W-20</b>	<b>3.17±0.29<sup>c</sup></b>
<b>W-30</b>	<b>2.20±0.26<sup>d</sup></b>
<b>W-40</b>	<b>0.83±0.29<sup>e</sup></b>
<b>W-50</b>	<b>0.27±0.15<sup>e</sup></b>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=3)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

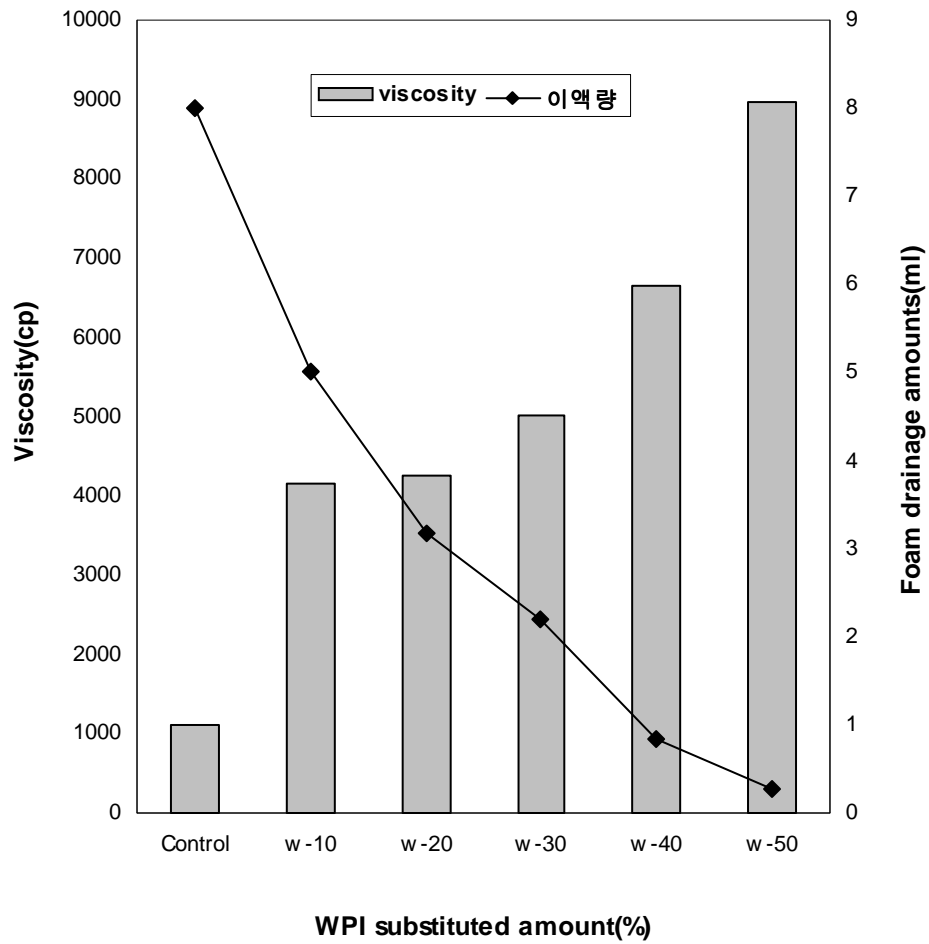


Fig. 12. Viscosity of the cake batters and stability of the egg foams substituted by different levels of **WPI**

달걀을 **WPI**로 대체시켜 만든 스펀지 케이크 반죽의 점도는 Table 19, Fig. 12에서 보는 바와 같았다. **WPI** 대체 스펀지 케이크 반죽의 점도가 control 케이크 반죽에 비해 유의적으로 증가하였다. **WPI 10%** 대체 케이크는 control 케이크에 비해 약 4배의 높은 점도를 나타내었고 **WPI 50%** 대체 케이크는 **WPI 20, 10%** 대체 케이크보다 2배 정도의 높은 점도값을 나타내었다. 이는 반죽의 점도가 높을수록 반죽 내 공기입자의 이동이 지연되어 반죽의 안정성에 도움을 준다고 보고한 Sahi(130)의 결과와 유사하였다. 즉 **WPI** 대체시 반죽의 점도가 증가하고 비중이 감소한 결과 반죽의 안정성이 높아지는 것으로 보였다.

## 2) 스펀지 케이크의 비용적, 팽화율 및 굽기손실

**WPI**를 대체한 스펀지 케이크의 비용적은 Table 21와 Fig. 13과 같았다. 케이크의 부피를 나타내는 비용적은 **WPI 20%** 대체 케이크가 4.52cc/g, **WPI 10, 30, 40, 50%** 대체 스펀지 케이크가 각각 4.49, 4.20, 4.03, 3.95cc/g으로서 **WPI** 대체 케이크가 control 케이크보다 큰 비용적을 보여 비중의 경향과 상반되는 결과를 보였다. 즉 비중이 작을수록 기포형성 능력이 우수하여 비용적이 증가함을 알 수 있는데 본 실험에서는 **WPI 20%** 대체 케이크가 우수한 기포형성 능력을 나타내어 부피가 가장 컸다.

케이크의 팽화율은 control 1.46, **WPI 20, 10, 30, 40%** 대체 케이크가 각각 1.56, 1.54, 1.53, 1.53을 나타내었고 **WPI 50%** 대체

Table 21. Specific loaf volume and expansion ratio of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

	<b>Specific loaf volume(cc/g)</b>	<b>Expansion ratio(%)</b>
<b>Control</b> <sup>1)</sup>	<b>2.98±0.08</b> <sup>2)c3)</sup>	<b>1.46±0.03</b> <sup>b</sup>
<b>W-10</b>	<b>4.49±0.39</b> <sup>a</sup>	<b>1.54±0.03</b> <sup>ab</sup>
<b>W-20</b>	<b>4.52±0.26</b> <sup>a</sup>	<b>1.56±0.08</b> <sup>ab</sup>
<b>W-30</b>	<b>4.20±0.14</b> <sup>ab</sup>	<b>1.53±0.04</b> <sup>ab</sup>
<b>W-40</b>	<b>4.03±0.03</b> <sup>b</sup>	<b>1.53±0.05</b> <sup>ab</sup>
<b>W-50</b>	<b>3.95±0.08</b> <sup>b</sup>	<b>1.62±0.08</b> <sup>a</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=3)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

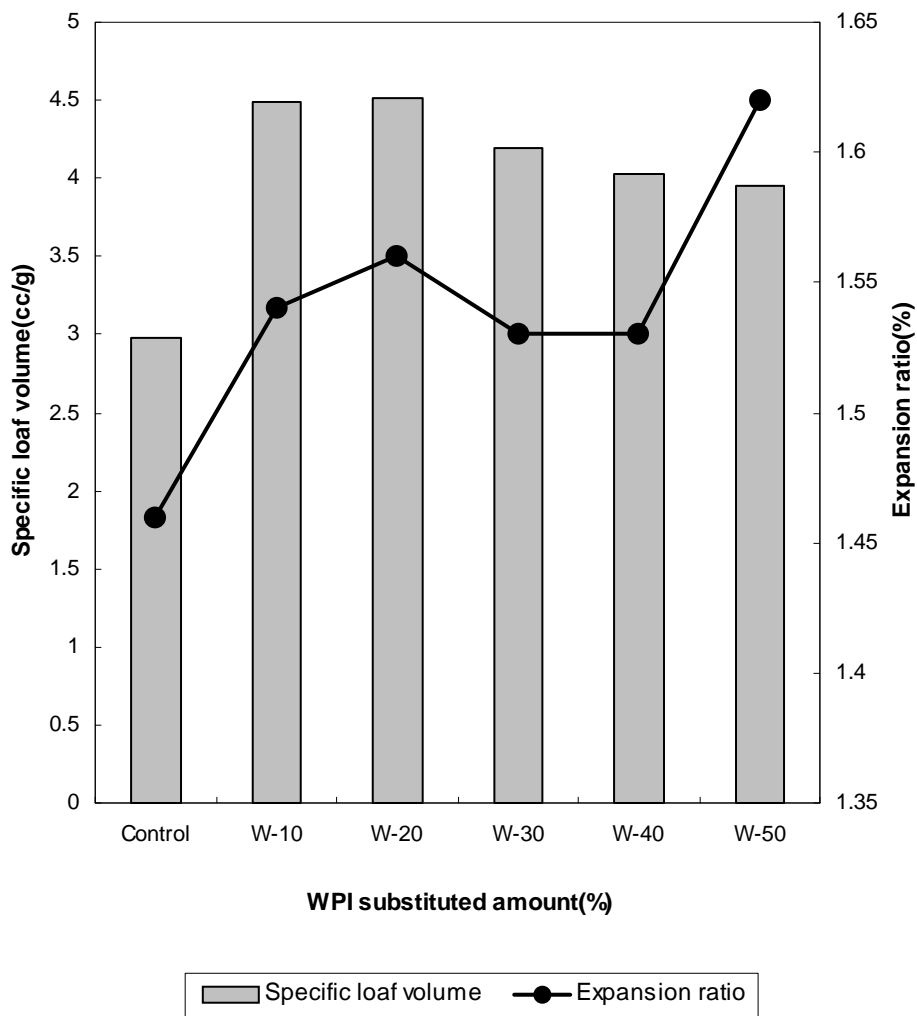


Fig. 13. Specific loaf volume and expansion ratio of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

케이크는 1.62로서 가장 높은 팽화율을 나타냈지만 WPI 50% 대체 케이크의 비용적이 WPI 10, 20% 대체 케이크보다는 유의적으로 낮은 것으로 보아 기포 안정성의 능력이 떨어지는 것으로 보였다. 이는 WPI이 대체비율이 높아지면 air cell을 유지하는 gluten층이 파괴되고 air cell은 밀집되면서 무거운 스펀지가 되기 때문으로 생각된다. 또 기포 안정성 저하로 반죽의 안정성도 떨어져 케이크의 골격을 유지하는 힘이 약해지기 때문에 많이 팽창한 후 더 큰 수축이 일어나 부피가 줄어들게 되는 것이다. WPI 50% 대체 케이크의 경우 케이크 표면에 형성된 주름과 단단한 껍질이 위의 이론을 잘 보여 주었다. 케이크 표면이 주름지고 딱딱한 것은 오븐 내에서 팽창된 케이크를 오븐 밖으로 꺼냄에 따라 나타나는 표면이 가라앉기 때문에 발생한다는 홍 등(127)의 보고와 같은 현상이라고 할 수 있다.

케이크를 만드는 마지막 공정인 굽는 과정에서 반죽은 가볍고 다공질인 가소성의 제품으로 전환된다. 굽는 공정에서는 복잡한 여러 가지 반응이 일어나게 되는데 대표적인 것이 부피의 증가와 껍질의 형성, 단백질의 변성, 전분의 호화, 갈색화반응 등이다. 반죽에 열이 침투하여 수증기압이 증가되고 비점이 낮은 액체에서 물까지 모두 팽창되면서 기체로 빠져나가 굽기손실이 발생된다(98).

본 실험에서는 스펀지 케이크를 제조할 때 달걀을 10~50%의 WPI로 대체하고 윗불 170℃, 아랫불 190℃의 오븐에서 25분간 구운 후 상온에서 1시간 방치한 다음 중량을 측정하여 굽는 동안

의 무게 차이에 의한 굽기 손실량을 측정된 결과는 Table 22와 Fig. 14에서와 같았다. Control 케이크의 굽기 손실율은 17.25% 인데 비해 WPI의 대체비율이 10, 20, 30%인 케이크는 각각 16.34, 16.35, 15.33%의 손실율을 보였고 40% 이상인 경우에는 13% 정도의 손실율을 보였으나 WPI 40, 50% 대체시에는 케이크 내 기포안정성 저하로 인해 팽화율은 크지만 비용적이 감소했던 결과와 마찬가지로 굽기손실율이 작은 동시에 비용적도 낮은 결과를 보였다.

오븐에서 굽는 제품들의 일반적인 특징은 수분함량과 관계가 깊다. Paton(131)은 굽는 과정에서의 손실은 주로 수분의 손실에 따른 케이크의 구조적인 변형에 관계가 있으며 제품의 저장수명을 저하시키는 원인이 된다고 하였다. 또한 충분하게 수분을 보유시켜 줌으로써 굽는 동안 수증기의 팽창으로 케이크의 부피를 증가시키기도 하고 촉촉한 질감을 유지해 준다고 보고한 것과 같이 WPI 대체 케이크가 control보다 굽기손실율이 적어 수분보유력이 높은 것으로 나타나 유효한 것으로 볼 수 있다.

Table 22. Baking losses of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

(unit : %)

<b>Samples<sup>1)</sup></b>	<b>Baking losses</b>
Control	17.25±0.42 <sup>2)a3)</sup>
W-10	16.34±0.12 <sup>b</sup>
W-20	16.35±0.21 <sup>b</sup>
W-30	15.33±0.38 <sup>c</sup>
W-40	15.17±0.04 <sup>c</sup>
W-50	13.35±0.09 <sup>d</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=3)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

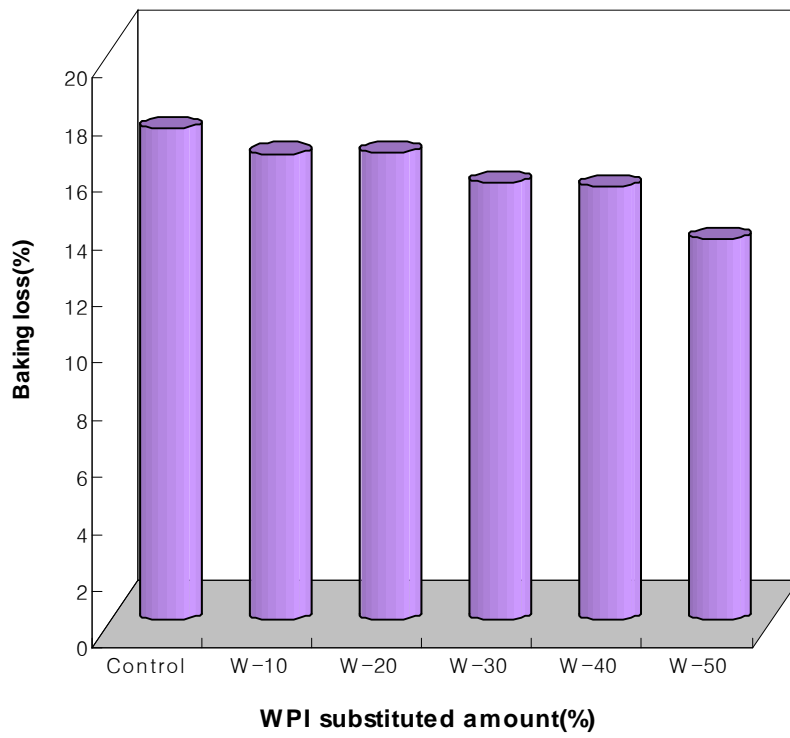


Fig. 14. Baking losses of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

### 3) 스폰지 케이크의 수분함량

케이크의 촉촉한 정도를 나타내는 지표로 케이크의 수분함량을 측정하였고 또한 케이크를 굽고 난 후 보관하면서 시간 경과에 따른 수분함량의 변화를 측정한 결과는 Table 23, Fig. 15와 같았다. 일반적인 제빵제품의 수분함량은 37~38%, 케이크나 화이트레이어 케이크의 수분함량이 24%(132)인 것과 본 실험에서 제조한 스폰지 케이크들의 수분함량은 26~27%로 유사하였다.

제조 직후의 케이크 수분함량을 control 케이크와 비교했을 때 WPI의 대체율이 10, 20%까지는 유사하였고 30, 40%에서는 유의적으로 증가하였다가 50% 대체시에는 대체 케이크는 낮은 수분함량을 보였다. 시간 경과에 따른 수분함량의 변화는 저장 3일째에 control 24.47%, WPI 10, 20 30, 40, 50% 대체 케이크가 각각 25.93, 24.49, 23.59, 23.95, 22.37%로 나타나 케이크의 수분함량으로 살펴본 최적 대체비율은 10%이며 20%인 때는 control과 같은 수준을 보였다. 또한 WPI 10% 대체 케이크의 수분함량 변화가 제조 당일에 비해 가장 적게 감소하였고 저장 6일 째에도 WPI 10% 대체 케이크는 25.09%의 수분함량을 보유하는 것으로 나타나 달걀에 대한 WPI의 대체율이 10%인 때는 control보다 좋은 수분보유력을 보이고 20%인 것은 control과 같은 수준을 보여 20%까지는 대체하여도 좋은 것으로 생각된다. 이는 빵이나 케이크 저장시 품질저하의 중요한 원인이 되는 수분손실과 전분의 노화가 내부(crumb)에서 표면(crust)으로, 즉 내부에서 바깥쪽을 향

Table 23. Moisture content of sponge cakes made with different WPI substituted amount for stored periods

(unit : %)

	Storage period(days)			
	0	3	6	9
<b>Control</b> <sup>1)</sup>	26.28±0.24 <sup>2)b3)</sup>	24.47±0.34 <sup>b</sup>	24.36±0.29 <sup>b</sup>	23.23±0.17 <sup>c</sup>
<b>W-10</b>	26.29±0.12 <sup>b</sup>	25.93±0.05 <sup>a</sup>	25.09±0.05 <sup>a</sup>	24.15±0.16 <sup>a</sup>
<b>W-20</b>	26.46±0.46 <sup>b</sup>	24.49±0.29 <sup>b</sup>	24.22±0.08 <sup>b</sup>	23.74±0.07 <sup>b</sup>
<b>W-30</b>	27.31±0.13 <sup>a</sup>	23.59±0.12 <sup>c</sup>	23.38±0.40 <sup>c</sup>	23.07±0.06 <sup>c</sup>
<b>W-40</b>	27.47±0.09 <sup>a</sup>	23.95±0.03 <sup>c</sup>	22.62±0.30 <sup>d</sup>	22.37±0.17 <sup>d</sup>
<b>W-50</b>	25.29±0.08 <sup>c</sup>	22.37±0.25 <sup>d</sup>	22.30±0.13 <sup>d</sup>	22.07±0.06 <sup>e</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=3)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

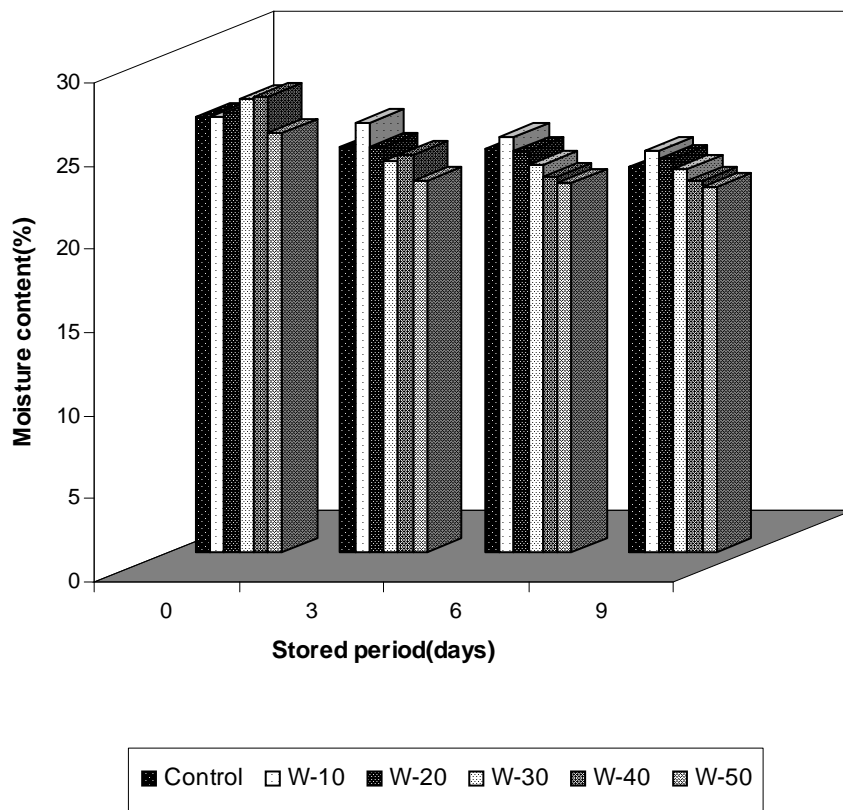
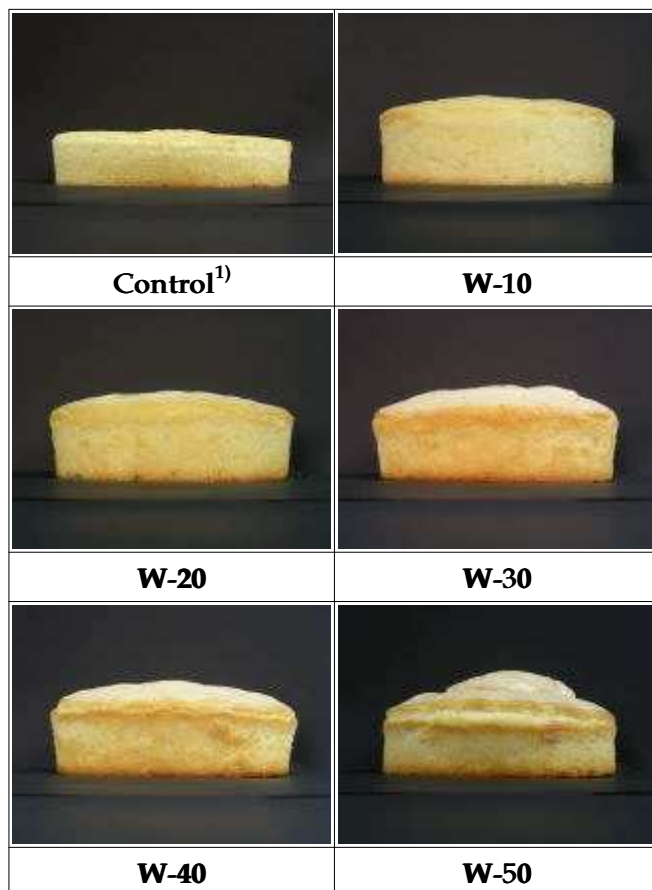


Fig. 15. Changes of moisture content of sponge cake made with different level of **WPI** for stored periods

해 수분이 이동함에 따라 내부는 단단해지고 바깥쪽은 수분의 이동으로 인해 점성이 증가함으로써 부착성이 커진다는 이론(17)과는 달리 수분함량 변화가 적어서 수분보유력이 유지되었기 때문에 부착성과 응집성의 변화가 작아 장시간 케이크의 품질이 유지된 것으로 예상된다. 또 섬유소가 흡수율을 증가시키고 보습성을 높여 빵의 경화를 지연시킴과 함께 저장성을 향상시킨다고 보고한 Yook 등(133)의 결과에서 보듯이 수분은 케이크의 보수력과 밀접한 상관성을 가지며 케이크 특유의 촉촉하고 부드러운 감촉에 가장 영향을 많이 미치는 인자 중의 하나라고 할 수 있다. 또 최초의 수분함량을 증가시키면 케이크의 노화를 감소시킬 수 있다고 보고한 Sych 등(134)의 이론도 있다. 본 실험에서도 **WPI** 대체 케이크들의 수분함량이 control 케이크보다 증가하므로 케이크의 노화지연과 품질수명의 연장에 도움이 될 것이라고 사료된다.

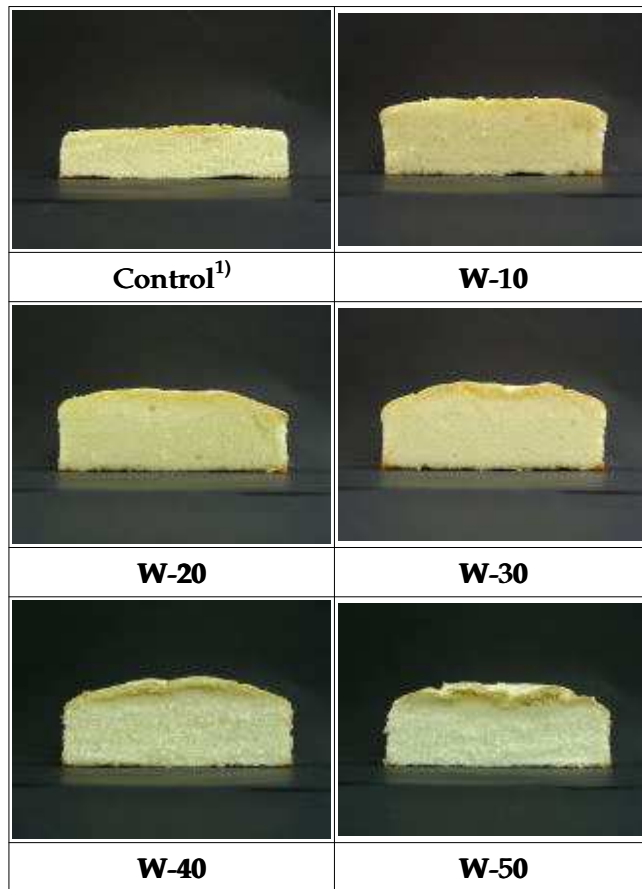
#### 4) 스폰지 케이크의 외관상 특성

스폰지 케이크의 외관상 특성은 Fig. 16, 17과 같으며 control과 **WPI** 대체 케이크 간의 부피와 높이의 차이를 볼 수 있었다. 케이크는 공기나 gas에 의하여 팽창된 유동성의 반죽이 열에 의하여 setting화 된 반고체의 기포성 제품이라고 할 수 있다. 많은 수의 기포 형성은 반죽 혼합 과정에서 이루어지며 굽기 과정에서 생성되는 탄산가스나 수증기에 의하여 상당한 기포 팽창이 일어



1) See the legend of Table 6

Fig. 16. Photographs of sponge cakes substituted by different levels of WPI for egg



1) See the legend of Table 6

Fig. 17. Cross sectional view of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

나고 동시에 단백질의 응고와 전분의 호화가 나타나 스펀지 형태의 최종 케이크가 완성된다. 제조된 **WPI** 대체 케이크들은 control 케이크와 비교시 크기가 약 **2배** 정도로 증가되었다. 이는 **WPI**가 달걀과의 상승작용으로 air cell의 형성을 활발하게 함으로써 높은 기포 형성력과 기포 안정성을 향상시키기 때문이라고 생각되며 스펀지 케이크의 구조 및 부피 형성이 달걀의 공기포집력과 안정된 기포 형성에 크게 좌우된다고 보고한 Plyer(125)의 이론과 일치하는 경향을 보였다.

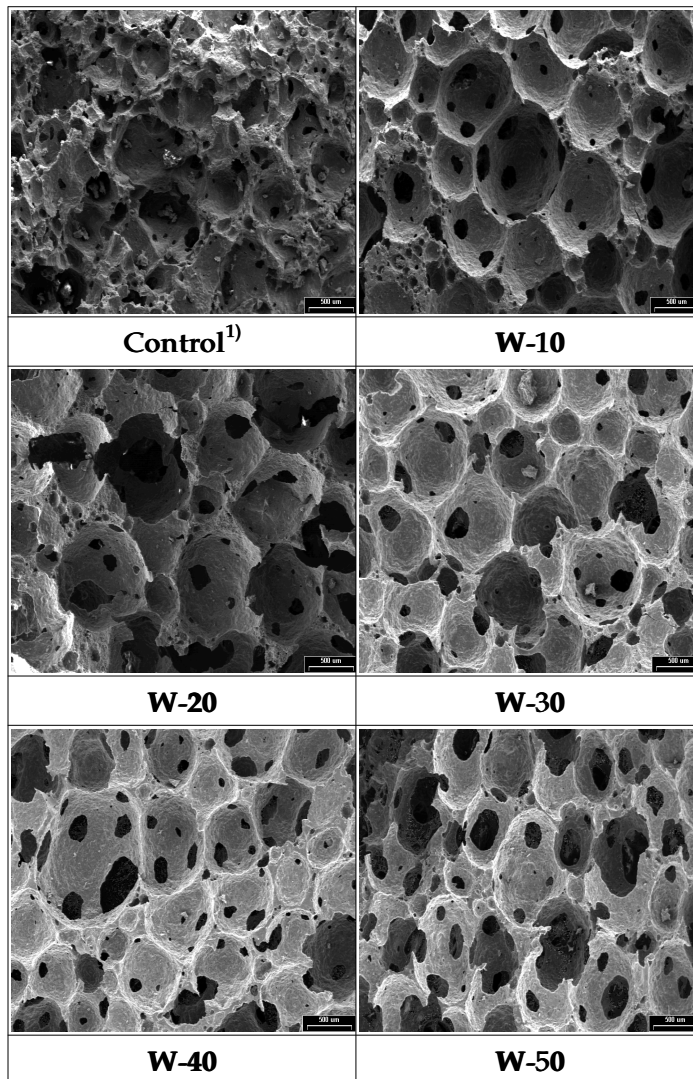
전반적인 모양에서 **WPI 10, 20%** 대체 스펀지 케이크가 가장 양호하였으며 대체비율이 증가할수록 위로 향해 부푼 모양이다가 시간이 지남에 따라 가라앉아 바람직하지 않은 모양을 보였다. 또한 control, **WPI 10, 20%** 대체 스펀지 케이크 표면에는 주름이 형성되지 않았으나 **WPI 30%**이상인 때는 주름이 형성되어 모양이 좋지 않게 되었다.

##### 5) 스펀지 케이크의 미세구조

각종 스펀지 케이크의 단면 구조를 주사전자 현미경(SEM)으로 관찰한 결과는 Fig. 18와 같았다. 밀가루에 물을 넣어 반죽하면 주성분인 gliadin과 glutenin 단백질이 물을 흡착해서 생성된 gluten은 망상구조를 형성하며 control 케이크에서는 이 망상구조가 단단하게 서로 얽혀져서 air cell이 잘 발달되나 air cell의 크기와 수가 불균일하고 적었으며 단면은 거칠고 흐트러져 보였다.

**WPI 10%** 대체 스펀지 케이크는 gluten 망상구조가 control 케이크보다는 덜 단단하지만 서로 얽혀져서 air cell이 잘 발달되었으며 air cell의 크기는 균일하면서 수가 많았으며 단면도 control 케이크보다 매끄럽고 부드럽게 보였다. **WPI 20%** 대체 케이크는 **WPI 10%** 대체 케이크보다 air cell의 크기가 다소 크고 균일하나 부드러운 점이 좀 떨어졌다. **WPI 30%** 대체율 이상의 케이크에서는 air cell의 크기는 점차 작아지고 수가 많고 균일하나 대체율이 높아질수록 더 밀집되고 치밀해 보여 부드럽다기보다는 무겁고 단단한 느낌을 주었다. 이러한 현상은 50% 대체율인 때 가장 심하고 이것은 air cell을 유지하는 gluten층이 대체된 **WPI**에 의해 파괴되어 air cell의 모양이 흐트러지기 때문으로 해석된다.

따라서 스펀지 케이크의 기공 형태는 **WPI**의 대체비율이 10%인 때 air cell의 크기가 작으면서도 가장 균일하게 되어 우수하였으며 20% 이상에서는 대체율이 증가할수록 air cell이 작으면서 밀집되어 무거운 스펀지 상태로 되었다. 이러한 결과는 shortening 대체물로 maltodextrin을 스펀지 케이크 제조에 이용한 연구에서 대체비율이 증가할수록 반죽의 조직이 밀집되어 케이크의 부피와 조직의 부드러움을 감소시킨다고 보고한 연구결과(11)와 유사하였다.



1) See the legend of Table 6

Fig. 18. Photographs of scanning electron microscope of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

## 6) 스폰지 케이크의 texture

WPI의 대체비율을 달리하여 제조한 스폰지 케이크의 texture는 Table 24과 Fig. 19, 20에서 보는 것과 같았다. 케이크의 경도 (hardness)는 WPI 10, 20, 30% 대체 케이크의 경우 유의적으로 감소하는 경향을 보였고 WPI 40% 대체 케이크는 control과 유사하였지만 WPI 50% 대체 케이크는 오히려 control보다 증가하였다. 본 실험에서 control의 경도가 높은 것은 스폰지 케이크의 경도가 동일한 달걀 함량에서는 비중이 높아질수록 증가함을 보였다는 황 등(135)의 보고와 일치하였는데 이는 기포 형성 능력과 기포 안정화 능력이 낮아 충분한 팽화가 일어나지 못했기 때문인 것으로 사료된다.

WPI 10, 20, 30% 대체 케이크의 경도가 낮아 부드러운 케이크인 것으로 보이며 이것은 케이크의 경도에 영향을 미치는 요인이 수분함량, air cell의 발달정도, 부피이며 air cell이 잘 발달된 케이크일수록 부피가 크고 경도가 낮다고 Chabot(136)이 보고한 것과 같은 경향이라고 할 수 있다.

Table 24. Texture profile analysis of sponge cakes substituted by different levels of WPI for egg

Textural parameters	Samples <sup>1)</sup>					
	Control	W-10	W-20	W-30	W-40	W-50
<b>Hardness</b>	752.75 <sup>2)3)</sup> ±153.98	442.61 <sup>cd</sup> ±80.43	408.36 <sup>d</sup> ±56.19	515.99 <sup>c</sup> ±25.43	726.31 <sup>b</sup> ±56.91	939.42 <sup>a</sup> ±45.04
<b>Fracturability</b>	7.47 <sup>a</sup> ±1.56	8.28 <sup>a</sup> ±1.54	7.65 <sup>a</sup> ±0.10	7.66 <sup>a</sup> ±1.13	7.20 <sup>a</sup> ±1.51	7.88 <sup>a</sup> ±2.42
<b>Adhesiveness</b>	-22.32 <sup>b</sup> ±26.18	-3.07 <sup>ab</sup> ±12.44	-0.97 <sup>ab</sup> ±7.11	3.68 <sup>ab</sup> ±9.10	5.52 <sup>a</sup> ±4.11	9.34 <sup>a</sup> ±2.05
<b>Springiness</b>	0.94 <sup>a</sup> ±0.04	0.92 <sup>a</sup> ±0.01	0.88 <sup>b</sup> ±0.02	0.88 <sup>b</sup> ±0.03	0.87 <sup>b</sup> ±0.02	0.83 <sup>c</sup> ±0.03
<b>Cohesiveness</b>	0.76 <sup>a</sup> ±0.01	0.68 <sup>b</sup> ±0.03	0.66 <sup>b</sup> ±0.01	0.65 <sup>b</sup> ±0.02	0.60 <sup>c</sup> ±0.01	0.52 <sup>d</sup> ±0.04
<b>Gumminess</b>	569.02 <sup>a</sup> ±112.83	299.46 <sup>c</sup> ±47.73	281.22 <sup>c</sup> ±49.03	337.44 <sup>bc</sup> ±20.13	449.45 <sup>ab</sup> ±55.49	509.79 <sup>a</sup> ±85.51
<b>Chewiness</b>	530.56 <sup>a</sup> ±88.89	276.09 <sup>cd</sup> ±44.04	248.87 <sup>d</sup> ±46.35	307.39 <sup>bcd</sup> ±21.59	389.98 <sup>bc</sup> ±50.69	425.36 <sup>ab</sup> ±84.92
<b>Resilience</b>	0.35 <sup>a</sup> ±0.02	0.29 <sup>b</sup> ±0.02	0.28 <sup>b</sup> ±0.01	0.27 <sup>bc</sup> ±0.01	0.24 <sup>c</sup> ±0.01	0.18 <sup>d</sup> ±0.02

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=6)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

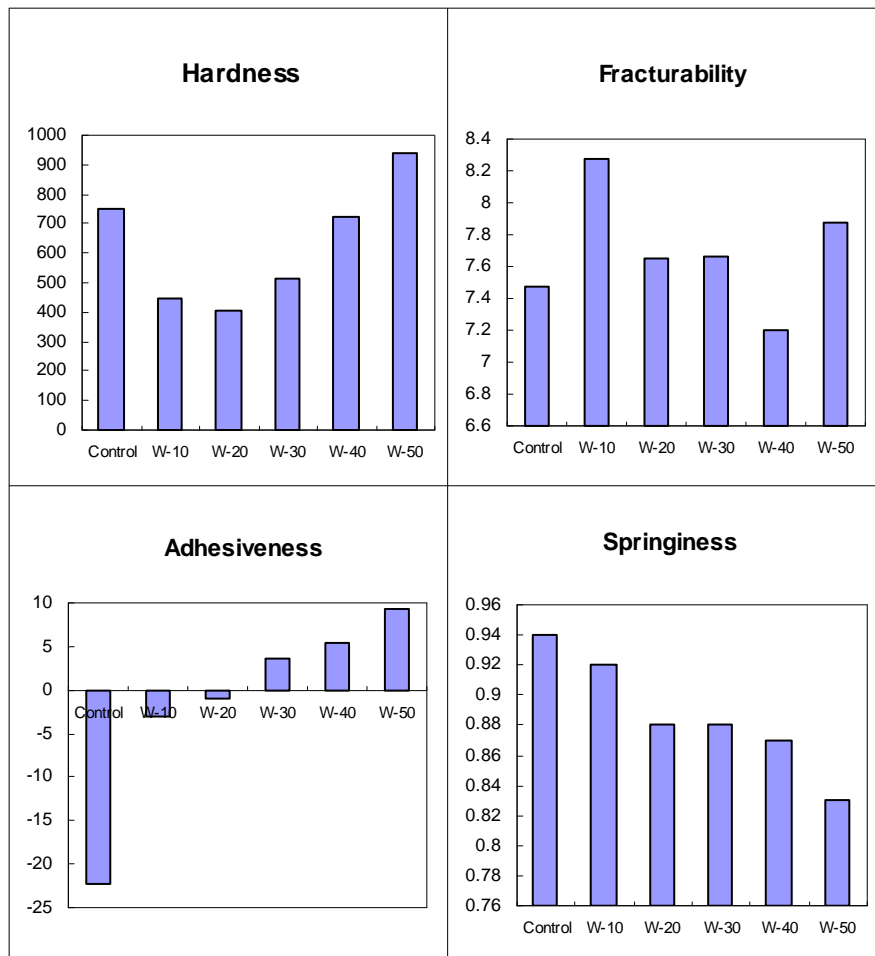


Fig. 19. Texture profile analysis of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

W-10~50 : Substituted amounts of WPI at level of 10~50%

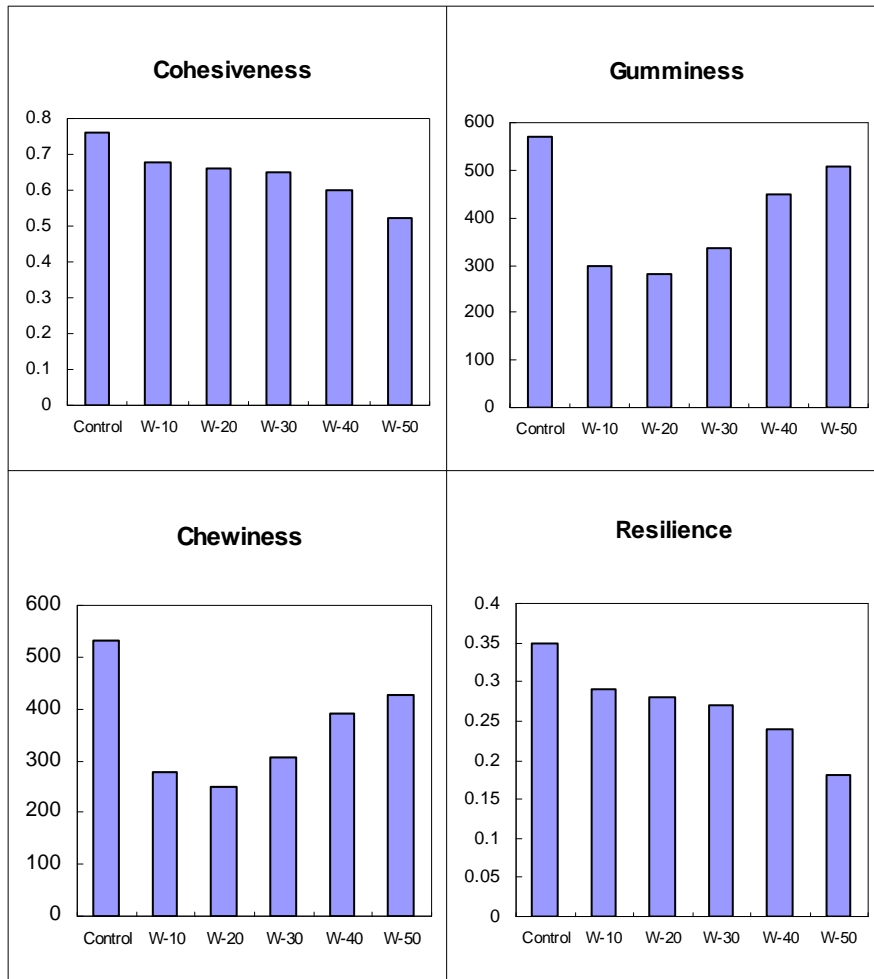


Fig. 20. Texture profile analysis of sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

W-10~50 : Egg substituted by WPI at level of 10~50%

Gaines 등(137)이 angel food cake의 부드러운 정도는 단백질의 양이 많아짐에 따라 떨어진다고 한 것과 같이 **WPI 50%** 대체 케이크의 경도가 높은 이유는 단백질 함량이 높고 수분함량이 낮은 것에 의한 것으로 생각된다. 그리고 스펀지 케이크 제조시 밀가루 전분이 호화되어 스펀지 케이크의 경도에 중요한 영향을 주며 **WPI**의 높은 수분흡수력은 밀가루 전분의 충분한 호화를 방해하므로 **WPI**의 함량이 높은 것이 더욱 경도가 높게 된다고 본다.

점착성(gumminess)과 씹힘성(chewiness)은 **WPI** 대체시 유의적으로 감소하였으며 특히 **WPI 10, 20%** 대체 케이크는 control과 비교해 약 **2배** 정도 감소하였다. 그 결과로 **WPI 10, 20%** 대체 케이크가 다른 **WPI** 대체 케이크에 비해 더 부드러운 관능성을 보여 경도와 비슷한 경향을 보였다. Yamamoto(138)는 케이크의 견고성, 씹힘성, 점착성은 입안에서의 느낌(mouthfeel)과 유의적 상관관계를 보인다고 하였다.

한편 응집성(cohesiveness)은 **WPI** 대체비율이 증가할수록 유의적으로 감소하는 경향을 나타냈다. 케이크를 굽는 동안 케이크의 구조 형성에 관련이 있는 결합력 및 응집력으로 반죽의 점탄성을 높이는 밀가루의 gluten과 달걀 및 **WPI**, 이와 반대의 작용을 하는 설탕 등의 성분들 간의 상호작용으로 응집성이 변화하는 것으로 생각된다. 또 **WPI**의 대체비율이 증가할수록 **WPI**의 유화성, 기포성, 용해성의 활성이 커지기 때문에 반죽을 분산시키므로 부드러운 케이크가 만들어 진다고 생각된다.

탄력성(springiness)의 경우 **WPI 10%** 대체 케이크와 control은

거의 유사하였고 **WPI** 대체율이 20% 이상에서는 감소하는 경향을 나타내나 유의적인 차이는 없었다( $P < 0.05$ ).

부서짐성(fracturability)은 다른 물성적 요소와는 다르게 모든 케이크에서 유사한 값을 보인데 비하여 부착성(adhesiveness)은 **WPI** 대체비율이 증가할수록 증가하였고 복원성(resilience)은 감소하는 경향이였다.

## 7) 스펀지 케이크의 색도

스푼지 케이크의 표면(crust) 및 내부(crumb)의 색을 Hunter 색차계의 L, a, b 값으로 측정된 값은 Table 25, 26에서 보는 것과 같았다. 나타내었다. 스펀지 케이크 표면의 L 값은 **WPI**의 대체비율이 증가할수록 다소 감소하여 명도가 떨어지는 경향이였지만 control과 **WPI** 10, 20% 대체 케이크는 유사하였고 **WPI** 30, 40, 50% 대체 케이크에서는 유의적으로 감소하였다. 적색도를 나타내는 a 값은 control에서 가장 낮았으며 **WPI** 10% 대체 케이크 경우에는 control과 유사하나 그 이후 대체비율이 증가함에 따라 적색도가 높아졌다. 황색도를 나타내는 b 값은 각종 케이크 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 따라서 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 명도는 낮아졌으며 적색도는 증가하였고 황색도는 별 변화가 없음을 알 수 있었다.

Total color difference를 나타내는  $\Delta E$  값은 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 높아졌다. 이는 당의 캐러멜화와 Maillard 반응의

Table 25. L, a, b values of sponge cakes crust made with WPI substitution for egg

	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>\Delta E^4</math></b>
<b>Control</b> <sup>1)</sup>	<b>66.12±0.54</b> <sup>2)a3)</sup>	<b>0.16±0.10</b> <sup>c</sup>	<b>39.37±0.37</b> <sup>a</sup>	<b>48.99±0.13</b> <sup>b</sup>
<b>W-10</b>	<b>66.36±0.65</b> <sup>a</sup>	<b>0.25±0.76</b> <sup>c</sup>	<b>38.50±2.04</b> <sup>a</sup>	<b>48.21±1.17</b> <sup>b</sup>
<b>W-20</b>	<b>64.94±1.65</b> <sup>a</sup>	<b>2.03±1.38</b> <sup>b</sup>	<b>39.65±2.94</b> <sup>a</sup>	<b>50.05±3.35</b> <sup>b</sup>
<b>W-30</b>	<b>62.21±1.64</b> <sup>b</sup>	<b>3.11±0.34</b> <sup>b</sup>	<b>41.10±0.51</b> <sup>a</sup>	<b>52.99±1.49</b> <sup>a</sup>
<b>W-40</b>	<b>61.10±1.83</b> <sup>b</sup>	<b>4.78±1.15</b> <sup>a</sup>	<b>40.25±2.24</b> <sup>a</sup>	<b>53.33±0.62</b> <sup>a</sup>
<b>W-50</b>	<b>58.87±0.37</b> <sup>c</sup>	<b>5.91±1.76</b> <sup>a</sup>	<b>38.69±1.81</b> <sup>a</sup>	<b>53.91±1.02</b> <sup>a</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=6)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

4) Total color difference

Table 26. L, a, b values of sponge cakes crumb made with WPI substitution for egg

	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>\Delta E^4</math></b>
<b>Control</b> <sup>1)</sup>	80.45±0.69 <sup>2) b3)</sup>	-4.68±0.06 <sup>d</sup>	23.78±0.34 <sup>a</sup>	28.17±0.20 <sup>a</sup>
<b>W-10</b>	79.18±1.82 <sup>b</sup>	-4.28±0.21 <sup>c</sup>	22.09±0.41 <sup>ab</sup>	27.75±1.15 <sup>a</sup>
<b>W-20</b>	79.16±1.72 <sup>b</sup>	-4.15±0.07 <sup>c</sup>	20.29±1.69 <sup>bc</sup>	26.05±1.17 <sup>ab</sup>
<b>W-30</b>	80.21±1.80 <sup>b</sup>	-3.59±0.18 <sup>b</sup>	18.53±1.30 <sup>c</sup>	24.40±0.57 <sup>b</sup>
<b>W-40</b>	81.05±1.29 <sup>ab</sup>	-2.98±0.32 <sup>a</sup>	18.85±3.48 <sup>c</sup>	23.95±3.10 <sup>b</sup>
<b>W-50</b>	82.68±0.72 <sup>a</sup>	-2.84±0.20 <sup>a</sup>	15.26±0.91 <sup>d</sup>	20.26±0.39 <sup>c</sup>

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=6)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

4) Total color difference

착색에 의한 것인데 **WPI**의 사용에 따라 단백질의 함량이 많아지므로 Maillard 반응이 증가하여 표면의 색이 갈색화 되었다고 생각된다. 이는 정 등(36)이 새송이 버섯 분말을 첨가하여 스펀지 케이크를 제조하였을 때 케이크 표면의 색이 열분해에 의해 황금 갈색을 나타낸 결과와 유사하였다. Reidl 등(139)도 soy flour를 사용한 quick bread에서 색이 더 진하게 평가되었다고 한 것과 같은 결과이며 전체적으로 볼 때 케이크 표면의 색은 control과 **WPI 10, 20%** 대체 케이크가 가장 좋았으며 유사한 색을 나타내었다.

한편 스펀지 케이크 내부의 L 값은 **WPI 10, 20, 30%** 대체 케이크의 경우는 control과 유사하였고 **WPI 40, 50%** 대체 케이크에서는 증가한데 비하여 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 a 값은 증가하였고 b 값은 감소하여 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 명도와 적색도는 높아지고 황색도는 낮아지는 것으로 나타났다. 케이크 내부의  $\Delta E$  값은 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 표면과는 상반되게 감소하였다. 이는 **WPI** 자체의 색이 백색이므로 케이크 내부의 색이 희석되어 전체적으로 옅어졌다고 생각된다. 또 스펀지 케이크의 표면의 색과 내부의 색이 서로 다른 경향을 나타내는 것은 케이크의 표면과 내부의 온도 차이에 의한 것으로 생각된다. 스펀지 케이크 내부의 색은 특별히 규정되어 있는 것은 아니지만 밝고 생동감 있으며 속을 자른 단면에 줄무늬나 반점이 없어야 하고 색의 농도가 균일한 것이 좋은 것으로 밝혀져 있다(98).

본 실험에서 제조된 케이크의 내부 색은 control, **WPI 10, 20%** 대체 케이크에서 그와 같은 유사한 색도를 나타내었다.

#### 8) 스폰지 케이크의 아미노산 함량

케이크의 배합비 중 **WPI**의 대체비율을 달리한 스폰지 케이크의 아미노산 함량은 Table 27과 Fig. 21에서 보는 것과 같았다. 즉 달걀만으로 제조한 control 케이크보다 **WPI** 대체 케이크에서 총 아미노산 함량 및 필수 아미노산 함량이 증가했음을 보였고 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 아미노산의 함량도 증가하였다.

총 아미노산 함량에 대한 필수 아미노산이 차지하는 비율은 control의 경우 34.71%인 반면 **WPI 10, 20, 30, 40, 50%** 대체 케이크의 경우 각각 37.23%, 39.42%, 38.05%, 38.55%, 39.96%를 나타내 control보다 다소 높으나 대체 케이크 간에는 큰 차이를 보이지는 않았다. **WPI 10%** 대체 스폰지 케이크는 control 케이크에 비해 aspartic acid, isoleucine, leucine, lysine은 2배 정도로 증가하여 달걀만으로 케이크를 제조하는 것보다 달걀과 **WPI**를 혼합하여 케이크를 제조하는 방법이 아미노산 함량 증가에 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 달걀 단백질에만 의존하는 신장성과 변성으로 형태를 형성하는 기존의 스폰지 케이크보다 달걀의 일부를 **WPI**로 대체 이용함으로써 영양성을 높이고 물리·화학적 품질 특성이 상승되는 스폰지 케이크를 제조할 수 있음이 확인되

Table 27. Amino acids amounts in sponge cakes made with WPI substitution for egg

(mg %)

Amino acid	Samples <sup>1)</sup>					
	Control	W-10	W-20	W-30	W-40	W-50
Aspartic acid	471.36	982.66	1399.69	1689.27	1986.08	2358.12
Glutamic acid	1490.31	2492.29	3280.58	3930.64	4614.93	5262.00
Serine	473.04	647.42	825.83	910.32	921.88	1203.81
Glycine	299.81	353.66	419.01	446.30	453.94	555.85
Histidine	175.26	278.92	369.34	422.67	486.06	578.94
Arginine	345.83	465.69	543.14	576.42	623.78	684.38
Threonine	253.24	420.09	574.88	668.71	844.26	1187.72
Alanine	344.65	561.86	777.20	887.66	942.59	1230.53
Proline	569.46	808.81	1061.77	1237.12	1304.27	1730.19
Tyrosine	159.76	260.66	400.98	397.60	405.96	501.07
Valine	350.92	573.93	797.45	886.39	966.85	1227.29
Methionine	178.96	266.01	371.14	381.55	411.29	499.37
Isoleucine	263.56	501.67	771.38	876.06	1079.85	1284.91
Leucine	453.54	898.78	1337.43	1463.77	1586.56	2085.13
Phenylalanine	289.99	450.29	595.89	606.25	710.26	761.92
Lysine	242.71	508.43	847.90	882.23	975.03	1376.91
<b>Total AA</b>	<b>6362.40</b>	<b>10471.17</b>	<b>14373.59</b>	<b>16262.94</b>	<b>18313.59</b>	<b>22528.14</b>
<b>Total EAA<sup>2)</sup></b>	<b>2208.18</b>	<b>3898.12</b>	<b>5665.41</b>	<b>6187.63</b>	<b>7060.16</b>	<b>9002.19</b>

1) See the legend of Table 6

2) Essential amino acids(Lys+Phe+Leu+Ile+Met+Val+Thr+His)

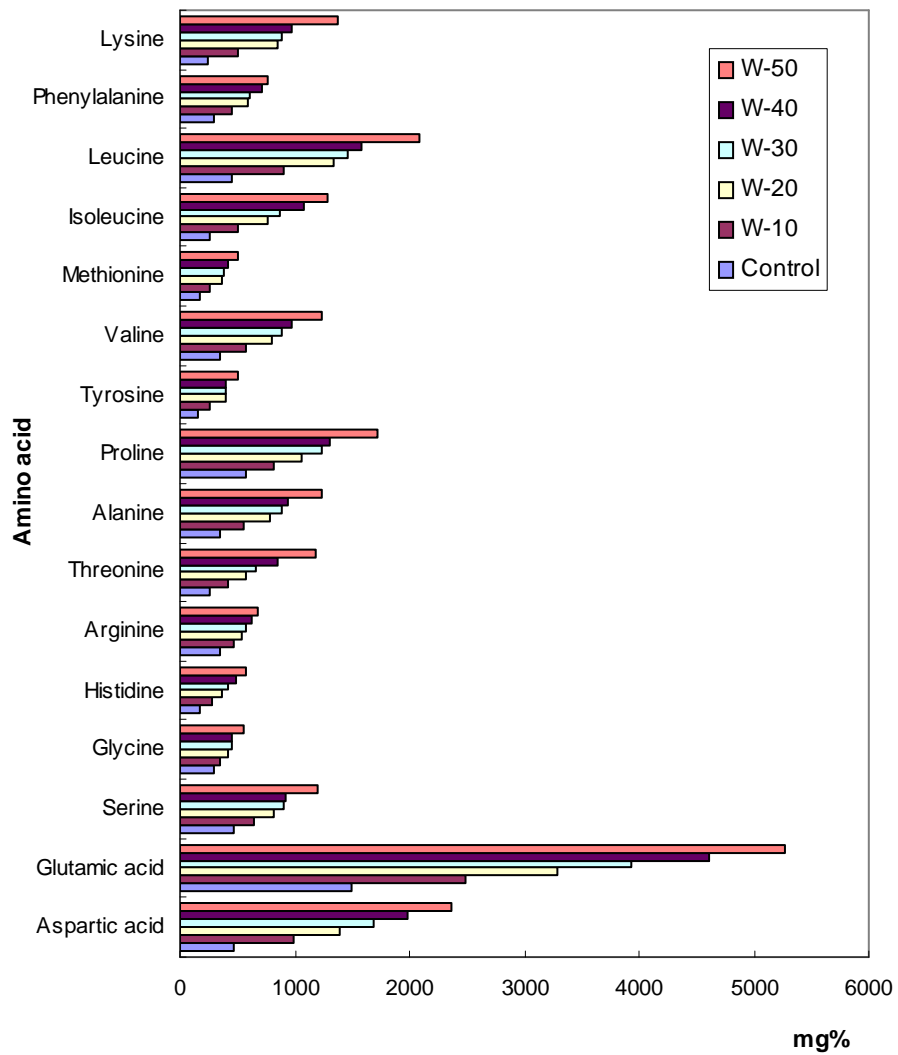


Fig. 21. Contents of amino acid in sponge cakes substituted by different levels of **WPI** for egg

W-10~50 : Substituted amounts of WPI at level of 10~50%

었다.

## 9) 관능검사 결과

달걀 대신 **WPI**를 10, 20, 30, 40, 50%로 대체하여 제조한 각 스폰지 케이크의 관능적 품질을 정량적 묘사 분석(QDA)을 통하여 비교한 결과는 Table 28, Fig. 22에서 보는 것과 같았다.

관능검사 결과 외관(appearance), 기공(pore)의 크기와 균일함, 부드러움(softness), 씹힘성(chewiness), 촉촉함(moistness), 입안에서의 느낌(mouth feeling), 풍미(flavor), 전반적인 기호도(overall acceptability) 등의 검사 항목에서 시료 간에 유의적인 차이( $P<0.05$ )를 나타냈다.

기공 형태는 **WPI 20%** 대체 케이크에서 기공의 크기가 가장 작으면서도 균일하게 분포되어 가장 좋은 결과를 보였고 control 케이크와 비교시 **WPI 10, 30, 40%** 대체 케이크는 유의적으로 좋은 결과를 보였으나 **WPI 50%** 대체 케이크는 control과 유사하였다. 이러한 결과는 밀가루 대신 **SPI(Soy protein isolate)**를 대체하여 만든 스폰지 케이크가 대체하지 않은 스폰지 케이크에 비해 큰 기공이 불균일하게 분포되어 있었다는 이 등(41)의 보고와는 다르게 나타났는데 이는 **SPI**가 밀가루 대체물로 첨가되었기 때문에 **SPI**가 가지고 있는 식품학적 특성인 기포성 및 유화성을 충분히 이용되지 않았기 때문이라고 생각된다. 기공의 상태는 **WPI**의 대체비율이 **20%>10%>30%>40%>50%>Control**의 순으로 좋게

Table 28. Quantitative descriptive analysis(QDA) data for sensory evaluation of sponge cakes substituted by different levels of WPI for egg

Sensory parameters	Samples <sup>1)</sup>					
	Control	W-10	W-20	W-30	W-40	W-50
<b>Pore</b>	3.20 <sup>2)d3)</sup> ±0.92	7.40 <sup>b</sup> ±1.26	8.40 <sup>a</sup> ±0.70	6.80 <sup>b</sup> ±0.79	5.00 <sup>c</sup> ±0.82	3.70 <sup>d</sup> ±0.95
<b>Softness</b>	4.20 <sup>c</sup> ±1.32	7.60 <sup>a</sup> ±1.07	7.60 <sup>a</sup> ±1.35	5.60 <sup>b</sup> ±0.84	2.90 <sup>d</sup> ±0.57	1.90 <sup>e</sup> ±0.57
<b>Moistness</b>	4.90 <sup>c</sup> ±1.10	7.80 <sup>a</sup> ±0.63	7.60 <sup>a</sup> ±1.17	5.70 <sup>b</sup> ±0.82	2.60 <sup>d</sup> ±0.70	1.60 <sup>e</sup> ±0.70
<b>Mouth feeling</b>	4.70 <sup>b</sup> ±1.49	7.30 <sup>a</sup> ±1.06	6.80 <sup>a</sup> ±1.40	4.90 <sup>b</sup> ±1.20	3.30 <sup>c</sup> ±0.82	2.30 <sup>d</sup> ±0.82
<b>Chewiness</b>	4.40 <sup>c</sup> ±1.07	8.00 <sup>a</sup> ±1.05	7.70 <sup>a</sup> ±0.67	5.70 <sup>b</sup> ±0.95	3.00 <sup>d</sup> ±0.82	1.90 <sup>e</sup> ±0.74
<b>Appearance</b>	4.00 <sup>c</sup> ±1.41	7.20 <sup>a</sup> ±1.48	7.90 <sup>a</sup> ±0.99	6.30 <sup>b</sup> ±1.16	3.90 <sup>c</sup> ±0.99	2.80 <sup>d</sup> ±1.03
<b>Flavor</b>	3.40 <sup>e</sup> ±1.35	7.00 <sup>b</sup> ±1.15	7.90 <sup>a</sup> ±0.99	6.20 <sup>c</sup> ±0.79	4.20 <sup>d</sup> ±1.14	2.60 <sup>f</sup> ±1.07
<b>Overall acceptability</b>	4.60 <sup>c</sup> ±1.17	8.00 <sup>a</sup> ±0.94	8.00 <sup>a</sup> ±0.82	6.10 <sup>b</sup> ±0.88	3.80 <sup>d</sup> ±0.92	2.70 <sup>e</sup> ±0.82

1) See the legend of Table 6

2) Means±SD(n=6)

3) Means with same superscript letters within a row are not significantly different at  $\alpha=0.05$  level as determined by Duncan's multiple range test

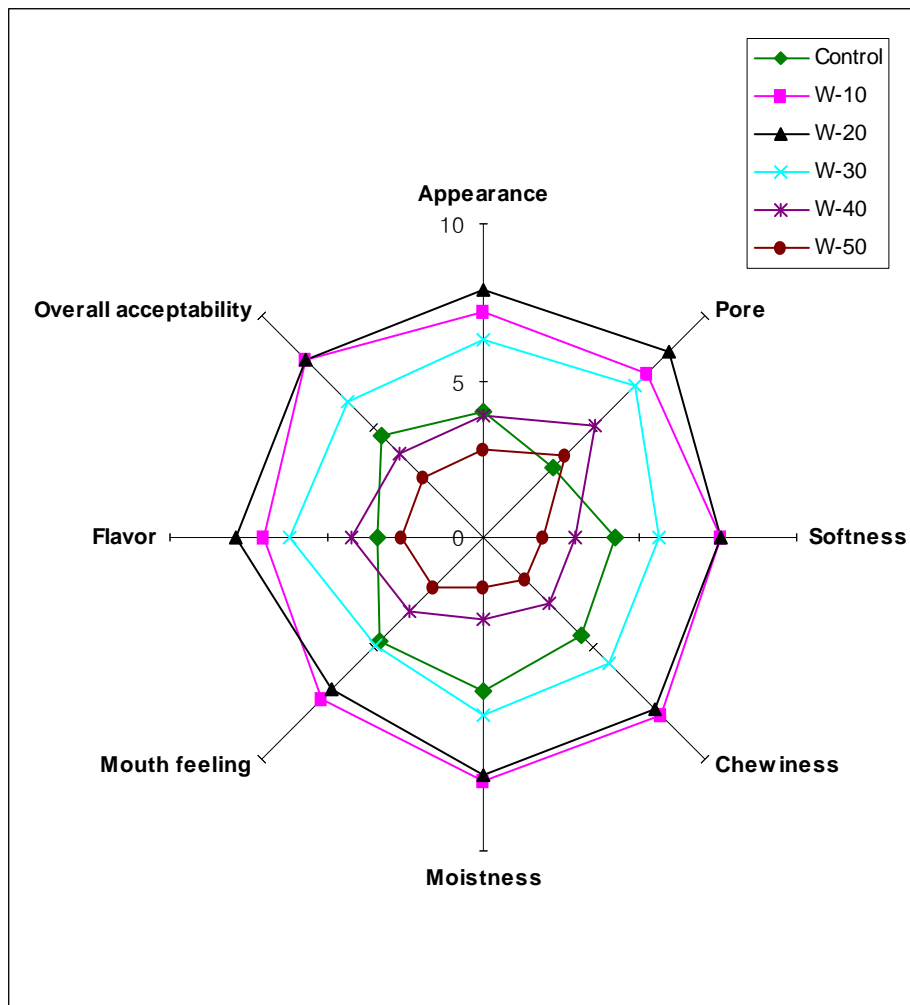


Fig. 22. QDA profile of sponge cake substituted with different levels of WPI for egg

나타났다.

부드러움(softness)은 **WPI**의 대체비율이 10%와 20%일 때 가장 좋은 결과를 얻었고 30% 대체 케이크도 control 케이크보다 부드러움을 보였지만 **WPI 40, 50%** 대체 케이크는 오히려 더 단단해지는 경향을 보였다. 부드러움은 기계치 측정 중 경도와 반비례하는 것으로 나타났다.

촉촉함(moistness) 역시 **WPI**의 대체비율이 10, 20%일 때 가장 촉촉한 것으로 평가되었고 그 다음이 30%>control>40%>50%의 순으로 부드러움(softness)과는 일치하는 결과를 보였지만 각 실험군 케이크의 수분함량 측정치와는 일치하지 않는 것으로 나타났다.

씹힘성(chewiness)의 경우도 **WPI**의 대체비율이 10%와 20%일 때 가장 좋은 점수를 얻었고 10%>20%>30%>control>40%>50%의 순으로 좋다고 나타났다. 이것은 10%와 20%가 가장 낮은 수치를 보인 기계적 texture와도 일치하는 경향이였다.

입안에서의 느낌(mouth feeling)은 **WPI 10, 20%** 대체 케이크가 유의적으로 가장 높은 점수를 얻었다. Control과 비교시 **WPI 30%** 대체 케이크는 유사하게 평가되었고 **WPI 40, 50%** 대체 케이크는 유의적으로 낮은 점수를 얻었다.

풍미(flavor)의 경우는 **WPI 50%** 대체 케이크가  $2.60\pm 1.07$ 의 점수로 가장 낮았으며 **WPI 20%** 대체 케이크가 가장 좋은 것으로 평가되었다. 이는 **WPI**의 달걀 대체가 케이크 특유의 달걀 비린내를 약하게 하여 풍미를 향상시키는 역할도 하지만 달걀의 50%

를 **WPI**로 대체시에는 오히려 풍미를 저하시키는 것으로 나타났다.

외관(appearance)은 **WPI 10, 20, 30%** 대체 케이크의 점수가 유의적으로 높게 평가되었지만 **40%** 대체 케이크는 control로 유사하였고 **50%** 대체시에는 오히려 낮은 점수를 얻었다.

전반적인 기호도(overall acceptability)도 **WPI 10, 20%** 대체 케이크가 가장 좋은 것으로 나타났으며 그 다음이 **30%**였으며 **40, 50%**는 control보다도 낮게 평가되었다.

위의 결과에 의하면 달걀 대체물로 이용한 **WPI**가 스펀지 케이크의 관능적 특성을 향상시키거나 변형시키는 것으로 평가되었다. 그러므로 **WPI**의 혼합비율을 결정할 때 제품의 특성을 고려하여 물리화학적 성질에 영향을 미치지 않는 범위에서의 최적 대체비율은 **10%**가 바람직한 것으로 보이며 **20%** 대체까지도 가능할 것으로 사료된다.

관능적 특성 간의 상관관계를 검토하기 위해 pearson correlation을 산출하여 Table 29에 나타냈다. 스펀지 케이크에서 외관, 기공, 부드러움, 씹힘성, 촉촉함, 입안에서의 느낌, 풍미, 전반적인 기호도 등의 관능검사 항목은 거의 모든 항목들 사이에서 정의 상관관계를 나타내 보였다. 기공이 작고 균일할수록 외형이 좋고 부드러우면서도 촉촉하여 씹힘성도 좋아 선호도가 높았으며 또 풍미도 증대되어 전반적인 기호도가 높아지는 것을 알 수 있었다. 다시 말하면 관능검사 항목 서로 간에 상관관계가 높음을 나타냈다. 예외적으로 기공의 형태가 스펀지 케이크의

Table 29. Pearson correlation coefficients among sensory characteristics

	<b>Appear- -ance</b>	<b>Pore</b>	<b>Soft -ness</b>	<b>Chewi -ness</b>	<b>Moist -ness</b>	<b>Mouth feeling</b>	<b>Flavor</b>	<b>Overall accept -ability</b>
<b>Appear -ance</b>	1.000							
<b>Pore</b>	0.949**	1.000						
<b>Soft -ness</b>	0.096***	0.867*	1.000					
<b>Chewi -ness</b>	0.968**	0.853*	0.999***	1.000				
<b>Moist -ness</b>	0.943**	0.794	0.991***	0.992***	1.000			
<b>Mouth feeling</b>	0.927**	0.788	0.984***	0.990***	0.989***	1.000		
<b>Flavor</b>	0.991***	0.979***	0.943**	0.933**	0.895*	0.885*	1.000	
<b>Overall accept -ability</b>	0.983***	0.891*	0.998***	0.997***	0.982***	0.980***	0.958**	1.000

\* : Significant at the 0.05 level

\*\* : Significant at the 0.01 level

\*\*\* : Significant at the < 0.01 level

촉촉함이나 입안에서의 느낌에 대해서 높은 상관관계를 보이지 않는 것으로 다른 경향을 보였다.

## V. 결론

본 연구는 우유의 유청에서 분리한 **Whey Protein Isolate(WPI)**의 이화학적 특성 및 기능성을 조사하여 **WPI**의 달걀 대체물로서의 이용 가능성에 대해 알아보고자 하였다. 즉 달걀의 대체물로서 **WPI**를 10, 20, 30, 40, 50%의 비율로 대체하여 스폰지 케이크를 제조한 후 케이크의 물성, 색도 측정, 외형, 주사전자 현미경을 이용한 미세구조 관찰, 아미노산 함량 측정 및 관능검사를 실시하여 **WPI**의 달걀 대체적정비율을 연구한 결과는 다음과 같았다.

### 1. **WPI**의 이화학적 특성

- 1) **WPI**의 pH는 6.26, 적정산도는 0.18%이었으며 수분, 지방, 단백질, 회분, lactose의 함량은 각각 5.2, 0.6, 90.7, 2.7, 0.8%, 활성 SH 그룹 함량은  $9\mu\text{mol/g}$ , 세균수는  $5.9 \times 10^3 \text{cfu/g}$ 이었다.
- 2) **WPI**의 총 아미노산 함량은 90.7%였고 그 중에서 필수 아미노산 함량이 44.03%를 차지하였다. 필수 아미노산 중에서는 leucine, lysine, isoleucine, valine 등의 BCAA(Branched chain amino acid) 함량이 높았다.
- 3) 전기영동에 의한 **WPI**의 단백질 양상은  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin, BSA(bovine serum albumin)의 band가 뚜렷하였으며  $\beta$ -lactoglobulin이 **WPI**의 50%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

## 2. WPI의 기능성

- 1) pH에 따른 WPI와 sodium caseinate의 단백질 용해도는 각각 82~88%, 5~79%의 범위로 나타나 WPI의 용해성이 더 우수함을 보였다. 용해도의 변화 범위로 볼 때 sodium caseinate의 용해성은 pH에 의해 영향을 받지만 WPI의 용해성은 pH에 의해 영향을 받지 않았다.
- 2) WPI의 유화력은 302.73ml/g으로 난황의 187.07ml/g보다 높았으며 유화안정성은 WPI가 65~97%, 난황은 60~89%보다 좀 더 높은 것으로 나타났다.
- 3) WPI와 난백의 기포형성력은 각각 323.33%, 186.67%로 WPI가 약 2배 정도의 높은 기포형성력을 나타냈고 기포안정성은 WPI가 85.91~97.73%, 난백이 84.88~95.35%로 거의 유사하였다.

## 3. WPI의 유지에 대한 항산화능력

옥배유에 WPI와 기존 항산화제를 각각 0.02, 0.1%를 첨가하여 60±2℃에서 저장하면서 항산화 효과를 측정 한 결과 BHT와 AsA보다는 낮았지만 항산화효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 유도기간으로 관찰해 보면 control은 10.9일인데 비해 WPI 0.02, 0.1% 첨가기질은 각각 17.6일, 18.1일로 나타나 control보다 유도기간이 지연됨을 보여 항산화성이 유효하였다. 따라서 항산화효과의 상대적인 크기를 보여주는 RAE(relative antioxidant effectiveness)도 control을 100으로 정했을 때 WPI 0.02%와 0.1%

첨가기질이 161과 166을 나타내어 control보다는 약 1.6배 정도 높은 효과를 보였다. 위의 결과에서 나타난 항산화효과의 크기는 BHT 0.02%>AsA 0.1%> WPI 0.1%> WPI 0.02%>AsA 0.02%> Control>Toc 0.02%>Toc 0.1%의 순이었다.

#### 4. WPI의 스펀지 케이크 품질에 미치는 효과

- 1) WPI를 대체한 스펀지 케이크 반죽의 비중은 WPI를 대체하지 않은 control에 비해 유의적으로 감소하여 반죽의 안정성이 증가되었다. 그 중에서 WPI 10% 대체 스펀지 케이크 반죽의 비중이 가장 낮아 안정된 반죽을 형성함으로써 완성된 케이크의 품질이 가장 좋은 것으로 평가되었다.
- 2) 스펀지 케이크 반죽의 점도와 meringue의 이액량은 상반된 결과를 보였다. 달걀을 대신한 WPI의 대체비율이 증가할수록 반죽의 점도는 유의적으로 증가하였고 meringue의 이액량은 감소함을 보여 스펀지 케이크 반죽의 안정성이 증가되었다.
- 3) 스펀지 케이크 제조 시 달걀을 WPI로 대체한 것이 control에 비해 굽기 손실율은 감소되었고 비용적은 더 높았다.
- 4) WPI를 대체하여 제조한 스펀지 케이크의 수분함량은 대체비율이 10%인 것이 수분함량이나 수분 보유력이 가장 좋았으며, 20%인 것은 control과 유사하였다. 한편 저장 기간 중 WPI 대체비율이 30% 이상인 스펀지 케이크에서는 수분함량과 수분 보유력이 감소하였다.

- 5) 스폰지 케이크의 부피는 **WPI** 대체 스폰지 케이크가 control보다 2배 정도로 증가하였으나 **WPI** 대체율에 따른 부피 차이는 거의 없었다. 결과적으로 **WPI 10, 20%** 대체 스폰지 케이크의 부피가 가장 좋았다.
- 6) 주사전자 현미경으로 측정된 스폰지 케이크 단면의 미세구조에 있어서 단면과 air cell의 크기 및 수가 control의 스폰지 케이크보다 더 매끄럽고 부드러우며 균일하게 나타났다. 그 중에서도 **WPI 10%** 대체 스폰지 케이크가 가장 좋은 기공의 형태와 단면을 보였다.
- 7) 스폰지 케이크의 물성 중 경도, 점착성 및 씹힘성은 **WPI 10, 20%** 대체 스폰지 케이크가 control보다 약 2배 정도 감소한 결과를 보여 케이크의 물성이 향상된 것으로 나타났다. 부서짐성은 **WPI**의 대체 유무와 상관없이 모든 스폰지 케이크에서 거의 같은 값을 나타내었다.
- 8) 스폰지 케이크 표면의 색도는 20% 대체비율까지는 명도(L값)가 유사하였고 적색도(a값)는 대체비율 10%까지는 유사하다가 대체비율이 증가함에 따라 다소 증가되는 경향이었다. 황색도(b값)는 대체비율 간의 유의적인 차이를 나타내지 않아 총 색도( $\Delta E$ )는 명도와 동일한 경향을 보여주었다. 스폰지 케이크 내부의 색도는 명도가 대체비율이 40%까지 유사하였고 적색도는 대체비율이 증가할수록 높아졌으며 황색도는 낮아졌다. 따라서 스폰지 케이크 내부의 총 색도( $\Delta E$ )는 **WPI** 대체비율이 증가할수록 값이 낮아져 색도가 밝아지는 것

으로 나타났다.

- 9) 스폰지 케이크의 총 아미노산 및 필수 아미노산의 함량은 **WPI**의 대체비율이 증가함에 따라 증가하였다.

**WPI 10%** 대체 스폰지 케이크는 control에 비해 isoleucine, leucine, lysine, aspartic acid가 약 2 배 정도로 높았으며 또한 **WPI**의 대체비율이 증가할수록 아미노산의 함량이 증가하여 표면의 색에서 갈색화가 크게 나타나 색이 짙어지는 경향을 보였다.

- 10) **WPI** 대체비율에 따른 관능검사 결과 외형, 기공, 부드러움, 씹힘성, 촉촉함, 향, 입안에서의 느낌, 전반적인 기호도 등 모든 검사항목에서 control에 비해 유의적인 차이를 나타내었다 ( $P<0.05$ ). **WPI** 대체비율 10, 20%인 스폰지 케이크가 우수한 것으로 나타난 것에 비해서 **WPI 40, 50%** 대체 스폰지 케이크의 경우는 기공과 향을 제외한 나머지 검사항목 모두에서 control보다 낮은 것으로 평가되었다. 따라서 관능검사 결과 스폰지 케이크의 달걀 대체물로 이용할 수 있는 **WPI**의 비율은 10, 20%가 가능할 것으로 보여진다.

위의 결과에서 **WPI** 대체 스폰지 케이크의 최종 품질은 이화학적 및 관능적 특성에서 가장 좋은 결과를 나타낸 **WPI 10, 20%** 대체 수준에서 좋았고 30% 수준까지는 가능하다고 볼 수 있으나 40% 이상에서는 좋지 않은 결과를 보였다. 따라서 스폰지 케이크 내에서 달걀 대체물로 이용하는 **WPI**의 가장 좋은 대체비율은 10%이며

20~30%까지도 가능한 것으로 보이며, 케이크 이외의 다른 식품에도 적용될 수 있도록 **WPI** 대체 식품의 범위를 확대하는 방법에 대한 연구도 필요하다고 사료된다.

## References

1. 김현욱 : 베이커리 산업의 현황과 전망. 식품과학과 산업, 36(4), 3-1(2003)
2. 장경원, 박상희, 하상도 : 기능성식품 시장동향. 식품과학과 산업, 36(1), 17-25(2003)
3. Jean Carper : The Food pharmacy. A Bantam Books, New York, USA(1988)
4. 경제호, 이명구 : 제과, 제빵 연구의 동향. 식품과학과 산업, 36(4), 13-17(2003)
5. Kwak, S. H. : A study on the current problem in the baker-y business. Journal of Food Service Management, 1, 5-40 (1998)
6. Autio, K. and Laurikainen, T. : Relationships between flour /dough microstructure and dough handling and baking properties. Trends in Food Science, 8, 181-185(1997)
7. Linko, Y. Y., Javanainen, P. and Linko, S. : Biotechnology of bread baking. Trends in Food Science & Technology, 8, 339-344(1997)
8. Della Gatta, C. and Piergiovanni, A. R. : Technological and nutritional aspects in hyperproteic bread prepared with the addition of sunflower meal. Food Chemistry, 57, 493-496

(1996)

9. Khalil, A. H., Mansour, E. H. and Dawoud, F. M. : Influence of malt on rheological and baking properties of wheat-cassava composition flours. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.*, 33, 159-164(2000)
10. 우나리아, 안명수 : 대체지방으로 제조한 케이크의 품질 특성에 관한 연구. *한국식생활문화학회지*, 19(5), 506-515(2004)
11. 송은승, 김상진, 변기원, 강명화 : Maltodextrin이 첨가된 저열량 레이어 케이크의 물리적 및 관능적 특성. *한국식품영양과학회지*, 31(6), 1005-1010(2002)
12. Son, H. M. : Baking qualities of rice bread and gelatinization properties of rice flour of some rice varieties. M. S. thesis. Kyungpook National University(1996)
13. 송은승, 김상진, 강명화 : Hydrolyzed oat flour의 첨가량을 달리하여 제조한 저열량 레이어 케이크의 물리적 및 관능적 특성. *한국식품과학회지*, 34(1), 51-56(2002)
14. Duxbury, D. D. : Modified food starch key to low-fat bakery line. *Food Processing*, 98-100(1991)
15. 송은승, 김상진, 강명화 : Polydextrose의 첨가량을 달리하여 제조한 저열량 레이어 케이크의 물리적 및 관능적 특성. *한국조리과학회지*, 17, 367-372(2001)
16. 강규찬, 백상봉, 이규순 : 식이성 섬유소의 첨가가 케이크의 노화에 미치는 영향. *한국식품과학회지*, 22(1), 19-25(1990)

17. 김명희, 김정옥, 신말식 : 저항전분을 첨가한 스펀지 케이크의 특성. 한국식품영양과학회지, 30, 623-629(2001)
18. 전순실 : 양파분말을 첨가한 기능성 스펀지 케이크의 개발에 관한 연구. 한국식품영양과학회지, 32(1), 62-66(2003)
19. 오현주, 김창순 : 시판 된장 첨가가 스펀지 케이크 제조에 미치는 영향. 한국조리과학회지, 20(4), 387-395(2004)
17. Callejo, M. J., Gil, M. J., Rodriguez, G. and Ruiz, M. V. : Effect of gluten addition and storage time on white pan bread quality instrumental evaluation. European Food Research and Technology, 208, 27-32(1999)
18. 김미림, 박금순, 박찬성, 안상희 : 향신료를 첨가한 식빵의 품질특성. 한국조리과학회지, 16(3), 245(2000)
19. 강미영, 최영희, 최해춘 : Gum질, 지방질 및 활성 Gluten첨가에 따른 쌀빵 특성 비교. 한국식품과학회지, 29(4), 700-704 (1997)
20. 곽성호, 문성원, 장명숙 : 솔잎가루 첨가량을 달리한 찜케이크의 관능적 및 기계적 특성. 한국조리과학회지, 18(4), 399-406 (2002)
21. 김영애 : 구기자 분말의 첨가가 옐로우 레이어 케이크의 품질 특성에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지, 34(3), 403-407 (2005)
22. 주신윤, 최민희, 정해정 : 포도씨추출분말을 첨가한 기능성 머핀의 품질 특성에 관한 연구. 한국식생활문화학회지, 19(3),

**267-272(2004)**

23. 문혜경, 한진희, 김준한, 김종국, 강우원, 김귀영 : 늙은 호박 동결건조분말을 첨가한 식빵의 품질특성. 한국조리과학회지, **20(2), 126-132(2004)**
24. 황윤경, 현영희, 이윤신 : 자스민차가루를 이용한 식빵의 특성 연구. 한국식품영양학회지, **17(1), 41-46(2004)**
25. 정용남, 강현아, 신명곤 : 멸치분말을 첨가한 식빵의 품질특성. 한국산업식품공학회지, **5(4), 235-240(2001)**
26. 최지호 : 발아현미분을 첨가한 식빵의 품질 특성. 한국조리과학회지, **17(4), 323-327(2001)**
27. 김현주, 강우원, 문광덕 : 천마분말을 첨가한 식빵의 품질 특성. 한국식품과학회지, **33(4), 437-443(2001)**
28. 김창섭, 정신교 : 감피 첨가 식빵의 품질 특성. 한국식품저장유통학회지, **8(2), 175-180(2001)**
29. 신두호, 이연화 : 비지가루 첨가 식빵의 품질 특성. 한국식품영양학회, **15(4), 314-320(2002)**
30. 김도완, 김용해 : 홍국 분말을 첨가한 식빵의 품질 특성. 한국조리학회지, **9(1), 39-50(2003)**
31. 최성희, 김영수 : 칙즙 첨가 식빵의 관능적 특성과 향기성분. 한국식품과학회지, **34(4), 604-609(2002)**
32. 한경필, 이갑량, 한재숙, 小机信行, 김동석, 김정애, 배종호 : 감자즙을 첨가한 기능성 식빵의 품질 특성. 한국식품과학회지, **36(6), 924-929(2004)**

33. 김준한, 최명숙, 문광덕 : 볶음 홍화씨 분말첨가 식빵의 품질 특성. 한국식품저장유통학회지, 7(1), 80-83(2000)
34. 권경순, 김영수, 송근섭, 홍선표 : 복분자 착즙액을 첨가한 식빵의 품질 특성. 한국식품영양학회지, 17(3), 272-277(2004)
35. 김영애 : 빵잎분말을 첨가한 옐로우 레이어 케이크의 품질특성. 한국식품과학회지, 35(5), 871-876(2003)
36. 정창호, 심기환 : 새송이버섯 분말을 첨가한 스펀지케익의 품질특성. 한국식품영양과학회지, 33(4), 716-722(2004)
37. 황영정, 김경옥 : Silk protein을 첨가한 기능성 절편의 제조에 관한 연구. 한국가정과학회지, 7(1), 43-50(2004)
38. Taylor, W. F. : Egg foam in Sponge Cake. ASBE Conference, London, UK(1957)
39. Miller, R. A. and Hosney, R. C. : The role of xanthan gum white layer cakes. Cereal Chem, 70, 585-588(1993)
40. Jeltema, M. S., Zabik, M. E. and Thiel, L. J. : Prediction of cookie quality from dietary fiber components. Cereal Chem., 60, 227-230(1983)
41. 이경애 : 분리대두단백이 스펀지 케익의 품질에 미치는 영향. 한국조리과학회지, 13(3), 299-303(1997)
42. Hong, Y. H. : Nutritional properties and utilization of bovine whey. Korean J. Nutr. Society, 10, 137-145(1983)
43. Battermann, W. : Molkeneiweiss fuer den sportiven Bereich. Deutsche Milchwirt., 36, 1010-1012(1986)

44. Hermann, M. : **Wirtschaftliche Verwertung von Lab-und Sauermolke mittels der Elektrodialyse-Entsalzung.** Deutsche Milchwirt., 39, 1420-1422(1988)
45. Delaney, A. M. : **Proceeding, Whey Products Conference.** Minneapolis, 111(1978)
46. Allum, D. : **Recent developments in the utilization of whey.** Cult. Dairy Prod. J., 16, 11-22(1981)
47. Lang, F. & Lang, A. : **Whey for the production of soft drinks and alcoholic beverages.** Milk Industry, 81(11), 30-34(1979)
48. Smith, G. : **Whey protein.** W/d.Rev. Nutr. Diet, 24, 88-116 (1978)
49. Jelen, P., Curri, R. and Kadis, V. M. : **Compositional analysis of commercial whey drinks.** J. Dairy Res. 55, 281(1988)
50. E. Aida Pena-Ramos, Youling L. Xiong : **Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties.** Meat Science, 64, 259-263(2003)
51. V. Lagarange : **기능성 유제품과 개선된 기능성 물질로서 미국에서 개발된 유청 단백질과 그 분획물.** Korean Dairy Technol., 16(2), 106-118(1998)
52. 김숙희, 김희선 : **우유의 진가와 한국인의 식생활.** Korean Dairy Technol., 17(1), 16-31(1999)

53. 조수진, 홍윤호 : 시판 유청분말의 이화학적 및 기능적 특성. 한국식품과학회지, **27(2)**, 151-155(1995)
54. 이길왕, 김선구, 강한석, 박상교, 김동신 : 유청을 이용한 유산균 발효유의 제조. 한국축산식품학회지, **16(1)**, 52-61(1996)
55. 손영희, 신영재, 최학중, 윤성식 : 유청이 함유된 호상 요쿠르트의 제조에 관한 연구. 한국축산식품학회지, **14(2)**, 169-174(1994)
56. 김응률, 박형래, 백승천, 이종익, 유제현 : 유청분말 첨가 요쿠르트의 이화학 및 미생물학적 특성에 미치는 영향. 한국축산식품학회지, **15(1)**, 74-79(1995)
57. 신제호, 차광중, 백승천, 이종익, 유제현 : 유청분말 첨가가 Frozen Yogurt의 조직과 풍미에 미치는 영향. 한국축산식품학회지, **15(2)**, 192-195(1995)
58. 분리대두단백과 유청분말을 사용한 대두 요쿠르트의 제조에 관한 연구. 한국식품영양과학회지, **26(6)**, 1128-1134(1997)
59. 기해진, 홍윤호 : 인삼 유청음료의 제조 및 관능적 특성. 한국식품영양과학회지, **22(2)**, 202-207(1993)
60. 기해진, 홍윤호 : 인삼 유청음료의 이화학적 및 미생물학적 특성. 한국식품영양과학회지, **22(2)**, 208-214(1993)
61. 이경혜, 김경탁 : 유청분말 첨가가 제면특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, **32(5)** 1073-1078(2000)
62. 하태열, 김성란 : 건강기능식품의 기능성 평가. 보건산업기술동향(2003)

63. 신현경 : 기능성 식품의 개발 및 동향. 과학과 산업, 30(1), 2-13(1997)
64. 배종희 : 세계 낙농 유가공산업의 동향. 우유, 2, 39(1993)
65. Gallaher, D. and Schmidl, M. : Bioactive and nutraceutical entities found in whey. Paper presented at Institute of Food Technologists, Annual Meeting. June Atlanta, Georgia, USA(1998)
66. 홍승범, 노경호 : 고성능 막 크로마토 그래피에 의한 유청 단백질의 분리특성. 한국생물공학회지, 16(6), 533-537(2001)
67. Morr, C. V. and Ha, E. Y. W. : **W**hey protein concentrates and isolates-processing and functional properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 33, 431-476(1993)
68. Delaney, R. A. M. : Composition, Properties and use of whey protein concentrates. J. Soc. Dairy Technology, 29(2), 91-101(1976)
69. K. Nelson : Bakery applications for whey and Lactose products. **Wisconsin center for dairy research, 2000**
70. L. P. Posati : Properties of whey protein concentrate foams. J. Food Technology, 28, 40-45(1974)
71. K. J. Burrington : **W**hey products in baked goods. **Wisconsin center for dairy research, 2000**
72. K. Nelson : Confectionery Applications for whey and Lactose products. **Wisconsin center for dairy research,**

## 2000

73. Davis, J. M. : Carbohydrates, Branched amino acids and endurance. *International Sport Nutrition*, 5, 29-39(1995)
74. Kravchenco, E. F. : **Whey beverages** : Trends in utilization of whey and whey derivatives, *IDF Bulletin.*, 233, 61-67 (1988)
75. Nakae, T., Kastaoka, K., Miyamoto, T., Iwamura, S., Endo, K. and Yoneya, T. : Studies on production of fermented whey beverage. *Jap. J. Dairy and Food Sci.*, 34(1985)
76. Holsinger, V. H., Posati, L. P. and Devilbiss, E. D. : **Whey beverages** : A review. *J. Dairy Sci.*, 57, 849-859(1974)
77. Chmile, J. F. : Anti-tumor effects of dietary whey protein and its value for head and neck cancer patients. Presentation at **International Whey Conference**. Chicago, IL. USA(1997)
78. Nakaoka, M. : Gifu University explains mechanism for lowering of rat blood cholesterol by whey proteins. Comline:Biotechnology and Medical Industry of Japan, Ref. CBI9103280002(1991)
79. Comline **International Corp.** : Morinaga Milk Industry finds whey protein lowers blood cholesterol in rates. *Med Source*(1991)
80. Anon : "This lucky piglet got whey protein" *Science*

News 146(9), 137(1994)

81. Bounous, G. et al. : **Whey proteins as a food supplement in HIV-seropositive individuals.** Clin. Invest. Med. 16(3), 204-209(1993)
82. Yukihiro Takada : **Whey protein suppresses the osteoclast-mediated bone resorption and osteoclast cell formation.** Int. Dairy Journal 7, 821-825(1997)
83. Michael B. Zemel : **Mechanism of dairy modulation of adiposity.** J. Nutr., 133(1), 252-256(2003)
84. 한국식품공업협회 : **식품공전.** p. 81, 93(1990)
85. A.O.A.C. : **Association of Official Analytical Chemists 13th ed.,** Washington, D.C.(1980)
86. Olano, A., Calvo, M. M. and Reglero, G. : **Analysis of free carbohydrates in milk using micropacked columns.** Chromatographia, 21, 538(1986)
87. 김철현, 신용국, 백승천, 김수광 : **혼합균주를 이용한 대두유의 발효에 따른 당 및 유리아미노산의 변화.** 한국식품과학회지, 31(3), 739-745(1990)
88. J. F. Hardham : **The determination of total and reactive sulfhydryl of whey protein concentration.** J. Dairy Technol., 35, 153(1981)
89. Laemmli, U. K. : **Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage.** Nature, 227,

680-685(1970)

90. S. Lee, C. V. Morr and E. Y. W. Ha : Structural and functional properties of caseinate and whey protein isolate as affected by temperature and pH. J. Food Sci., 57, 1210(1992)
91. Borton, R. J., Webb, N. B. and Bratzler, L. Z. : Emulsifying capacities and emulsion stability of dilute meat slurries from various meat trimmings. Food Technol., 22, 506(1968)
92. Johnson, P. I. : Functional performance and selected chemical and physical properties of frozen egg yolk containing various additives. M. S. Thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas(1970)
93. Chen and Morr : Solubility and foaming property of phytate-reduced soy protein isolate. J. Food Sci., 50, 1139(1985)
94. 변시명, 김철진 : 탈지대두박에서 추출한 분리대두단백질의 식품학적 성질. 식품과학회지, 17, 383(1985)
95. A. O. C. S. : Official and Tentative Methods cd 8-53, 4th ed. American Oil Chem. Soc., Illinois, 1990
96. A. O. C. S. : Official and Tentative Methods Ti-la-64, 4th ed. American Oil Chem. Soc., Illinois, 1990
97. Han, D., Yi, O. S. and Shin, H. K. : Antioxidative effect

- of ascorbic acid solubilized in oils via reversed micelles.  
J. Food Sci., 55(1), 247(1990)
98. 조남지, 김영호 : 제과제빵 이론특강. B&C World, Seoul, Korea(2000)
99. Watanabe, N., Suzuki, S., Jwao, Y. and Ohaha, T. : Confectionary dictionary. seika jiten, Asakura bookstore, 335-348(1981)
100. 안명수 : 식품과 조리과학. 신광출판사, 110(2002)
101. A.A.C.C. : Approved Methods of the AACC, 8th ed., The American Association of cereal chemists, St. Paul, Minn., USA(1983)
102. Mizukoshi, M. : Model studies of cake baking, IV. Foam drainage in cake batter. Cereal Chem., 60(5), 399(1983)
103. Miller. L. and Setser, C. : Xanthan gum in a reduced-egg-white angel food cake. Cereal Chem., 60(1), 62(1982)
104. Pyler, E. J. : Physical and chemical test methods. Baking Science and Technology. 3rd ed. Sosland Publishing Co., Merrian Kansas, Vol.II, 992(1988)
105. 조남지, 김성곤, 김영호 : 제과제빵 과학. B&C World, Seoul, Korea(1999)
106. Kim. K. O., Kim, S. S., Sung, N. K. and Lee, Y. C. : Methods & Application of Sensory Evaluation. Sinkwang

Press, Seoul, 131-135(1997)

107. Lee KH, Park HC, Her ES : Statistics and Data Analysis Method. Hyoil press, Seoul, 253-296(1998)
108. Mair-Waldburg, H. and Leubenau-Nestle, R. : DLG-Dauermilchpruefungen 1975-1984. *Deutsche MolkeZtg.*, 197,446(1986)
109. Glas, C. : Production and application of whey based milk replacers in western Europe. Bulletin of the IDF, 212, 125(1987)
110. 문지웅 : 우유 및 유제품 과학. 유한문화사, 60~62(2003)
111. Evans, M. A. T. and Gordon, J. F. : Whey protein. S. In Applied Protein Chemistry. Grant, R. A.(ed.), Applied Sci. Publisher Ltd., London, 31(1980)
112. 하정욱, 정경임 : Sodium caseinate, Whey protein isolate 및 어육 단백질 가수분해물의 기능성 및 구조적 특성. 경남대학교 부설 공업기술연구소 연구논문집 제 13집(1995)
113. Kella, N. K. D., Yang, S. T. and Kinsella, J. E. : Effect of disulfide bond cleavage on structural and interfacial properties of whey proteins. *J. Agric. Food Chem.*, 37, 1203(1989)
114. Blomstrand, E., Hassmen, P., Ekblom, B., Neusholme, E. : Effect of branched amino acid supplementation on mental performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 136, 473-481 (1991)

115. Kim, S. H., Morr, C. V., Seo, A. and Surak, J. G. : Effect of whey pretreatment of composition and functional properties of whey concentrate. *J. Food Sci.*, **54**(1), 25(1089)
116. 기해진, 홍윤희 : 우유 유청으로부터 분리한  $\alpha$ -lactalbumin의 기능적 특성. *한국축산식품학회지*, **18**(1), 9-18(1998)
117. Beuschel, B. C., Culbertson, J. D., Partridge, J. A. and Smith, D. M. : Gelation and emulsification properties of partially insolubilized whey protein concentrates. *J. Food Sci.*, **57**(3), 605(1992)
118. Smith, A. K. : Soybeans-Chemistry and technology. Vol. I. Avi publishing company, Inc., 1997
119. 손경희, 최희선 : 분리 메밀 단백질의 유화 및 기포특성에 관한 연구. *한국조리과학회지*, **9**(1), 43-51(1993)
120. Naratama, K. and Narasinga, M. S. : Functional properties of raw and heat processed winged bean flour. *J. Food Sci.*, **47**, 1534(1984)
121. Ellinger, R. H. and Shappeck, F. J. : The relation of batter specific gravity to cake quality. *Bakers Dig.*, **37**, 52(1981)
122. Sarkhurst, R. M., Skinner, W. A. and Sturm, P. A. : The effect of various concentrations of tocopherol and tocopherol mixture on the oxidative stability of a sample of lard. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **45**, 64(1968)
123. Cillard, J., Cormier, M. and Girre, E. :  $\alpha$ -Tocopherol

- proxidant effect in aqueous media:increased autoxidant rate of linoleic acid, J. Am. Chem. Soc., 57(8), 252(1980)
124. Cambel, A. D., Penfield, M. P. and Griswold, R. M. : The experimental study of food. 2nd ed., Houghton Mufflin Co.,369-386(1979)
125. Pyler, E. J. : Cake baking technology. In Baking Science and Technology. Sosland Publishing Co., Merrian Kansas, Vol. II, 992(1988)
126. Mizukoshi, M. : Phenomena of suspension, Study of cake formula. Pain 39(4), 39-41(1992)
127. 홍행홍, 민경찬 : 제과제빵사 시험. 광문각, 153-376(1085)
128. Bennion, E. B. and Bamford, G. S. T. : The Technology of cake making. 6th ed., Blaclere Academic & Professional, London(1992)
129. Yi, S. Y. and Kim, C. S. : Studies on the quality characteristics of sponge cakes with addition of yam powders. J. korean Soc. Food Sci. Nutr., 30(1), 48(2001)
130. Sahi, S. S. : Influence of aeration and emulsifiers on cake batter rheology and textural properties of cakes. UMIST, Manchester, U. K.(1998)
131. Paton, D. and Larocque G. M. : Development of cake structure-Influence of ingredients on the measurement of cohesive force during baking. Cereal Chem., 58, 527(1981)

132. Nutritive value of foods. Home and garden bulietin  
No.72, Washington, DC : USA Department of Agriculture,  
1991
133. Yook, H. S., Kim, Y. H. and Ahn, H. J. : Rheological  
properties of wheat flour and qualities of bread prepared  
with dietary fiber purified from Ascidian(*Halocynthia  
roretzi*) Tunic. Korean J. Food Sci. Technol., 32, 387-395  
(2000)
134. Sych, J., Castaigne, F. and Lacroix, C. : Effects of initial  
moisture and storage relative humidity on textural changes  
of layer cakes during storage. J. Food Sci., 52, 1604-1610  
(1987)
135. 황윤경, 김석영 : 계란 함량과 비중이 Sponge cake의 품질에  
미치는 영향. 한국조리과학회지, 15(4), 377-381(1999)
136. Chabot, J. F. : Preparation of food science sample for  
SEM. Scanning Electron Microscopy 3, 279-286(1979)
137. Gaines G. S. and Donelson J. R. : Effect of varying flour  
protein content on angel food and high-ratio white layer  
cake size and tenderness. Cereal Chem., 62, 63-69(1985)
138. Yamamoto, Y. and Kawasome, S. : Effect of butter content  
on the texture of sponge cakes. J. Home Econ. Japan, 37,  
759-763(1988)
139. Reidl, M. A. and Klein, B. P. : Effect of soy or field flour

substitution on physical and sensory characteristics of  
chemically leavened quick bread. *Cereal Chem.*, **60**, 367  
(1983)

## ABSTRACT

A Study on the preparation and qualitative properties of functional sponge cake using of whey protein isolate(**WPI**)

Kim, Chan Hee

Department of Food & Nutrition

Graduated School of

Sungshin Women's University

Whey is a by-product of cheese manufacture which is drained from the milk curd. Whey protein was known as a good nutritional source and a functional material for many processed food, specially for baked goods.

Whey protein isolate(**WPI**) was contained about 90% of milk protein except casein. In this study, physicochemical, functional properties of **WPI** and the antioxidative activity of **WPI** for oil were measured. Also the substitution effects of **WPI** for egg in the preparation of sponge cake were determined by measure of objective and subjective test.

The results were obtained as follows ;

1. The physicochemical characteristics of **WPI**

- 1) The pH of **WPI** was **6.26**, and the titrable acidity was **0.18%**. Among proximate compositions, there were shown as moisture **5.2%**, fat **0.6%**, protein **90.7%**, ash **2.7%**, and lactose **0.8%**. The amounts of active SH group in **WPI** was **9  $\mu$ mol/g** and total colony counts of bacteria was  **$5.9 \times 10^3$  cfu/g**.
- 2) The total amounts of amino acids in **WPI** was **90.7%** and the total amounts of essential amino acids was **44.03%**. Especially, among of them, leucine, lysine, isoleucine, valine were shown as high amounts.
- 3)  $\alpha$ -Lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin and bovine serum albumin (BSA) were shown in **WPI** as major protein by electrophoretic pattern.

2. The functional properties of **WPI**

- 1) The solubility of **WPI** was higher than sodium caseinate at different pH which were **82~88%**, **5~79%**, respectively. By the results, it could be known that the solubility of **WPI** was not affected by pH fluctuation.
- 2) It was shown that the emulsifying capacity of **WPI** was

higher than egg yolk as a degree of 1.6 times, and the stability of emulsions made with **WPI** and egg yolk was almost same as 65~97% and 60~89%, respectively.

- 3) The foam forming capacity of **WPI** was higher than that of egg white showing as 323.33% and 186.67%, respectively but foam stability of **WPI** was similar to that of egg white.

### 3. The antioxidative effect of **WPI** on corn germ oil

The antioxidative effect of **WPI** and other antioxidants on corn germ oil used as substrate was determined by peroxide value(POV) and conjugated dienoic acid value(CDV).

By these results, the order of antioxidative effects could be defined as BHT 0.02%>AsA 0.1%>**WPI** 0.1%>**WPI** 0.02%>AsA 0.02%>control>tocopherol 0.02%>tocopherol 0.1%.

Also the induction period of corn germ oil added **WPI** was longer by 1.6 times than that of control(none added any antioxidant). Therefore the fact that **WPI** had antioxidative effect on corn germ oil could be certified.

### 4. The effect of **WPI** substituted for egg on the sponge cake quality

- 1) The specific gravity of sponge cake batter was significantly decreased according to increase substitutional amounts of

**WPI**, so cake batter was shown as more homogenized status. Especially, the substitute ratio of **WPI** for egg in order to make the best status of cake batter and sponge cake could be known as 10%.

- 2) The viscosity of sponge cake batter was significantly increased according to increase substitutional amount of **WPI** for egg, whereas the syneresis amount from meringue was decreased, so the stability of batter was shown to be more desirable.
- 3) The cooking losses of sponge cake substituted **WPI** (abbreviated as **WPI** cake) for egg during baking in the oven was smaller than that made of egg(abbreviated as egg cake), while the specific loaf volume and expansion ratio of **WPI** cake was larger than those of egg cake.
- 4) The moisture content and retention capacity of **WPI** cake was better than those of egg cake, especially in case of 10% of **WPI** substitute amount for egg, the moisture content and retention capacity were the best. But in case of 30% of **WPI** substitute amount for egg, the moisture content and retention capacity of **WPI** cake was rather decreased than those of egg cake.
- 5) The volume of **WPI** cake made with **WPI** substitute amount of 10~20% for egg was increased about 2 times compared

with that of egg cake showing best final status. Whereas in case of 40~50% WPI substitute amount, WPI cake was shown wrinkly surface and hard crumb.

- 6) The number of air cell was highly increased and the size of air cell was more uniformed finely in the cross section of WPI cake than those of egg cake observed by scanning electron microscopy. These phenomenon was the best in WPI cake made with 10% WPI substitution.
- 7) The hardness, gumminess and chewiness of WPI cake made with 10~20% WPI substitution were the lowest value among all cakes including egg cake, so it was shown that their cake qualities were improved considerably.
- 8) In the crust color of WPI cake made with 10~20% WPI substitution and egg cake, brightness(L) and total color difference( $\Delta E$ ) were almost same, also the redness(a) was similar between 10% substitute WPI cake and egg cake but the redness was become thinner upon the increment of WPI substitution ratios above 10%. While the yellowness(b) was almost same in all cakes, these phenomenon was similar to total color difference.

In the crumb of WPI cakes made with 10~40% WPI substitution, the brightness was almost similar to that of egg cake, redness was dipper and yellowness was thinner

according to increase **WPI** substitute ratios.

9) The amounts of amino acids of **WPI** cakes were developed upon increment of **WPI** substitute ratios. Among them aspartic acid, isoleucine, leucine, lysine of 10% **WPI** substitute cake were higher 2 times than those of egg cake. Upon these results, it could be understood that the brown color was dipper according to increase of **WPI** substitute ratio in the **WPI** cakes.

10) By the results of sensory evaluation, appearance, air cell, softness, chewiness, moistness, flavor, mouth feeling, and overall acceptability of 10~20% **WPI** substitute cakes were evaluated better than all other cakes significantly( $p<0.05$ ).

But in case of 40~50% **WPI** substitute cakes, all items of sensory evaluations were marked lower points except air cell and flavor than those of egg cake.

According to the above results, it can be proposed that 10~20% of **WPI** substitution for egg will be better nutrition, physicochemical characteristics, and sensory evaluations in the preparation of sponge cake.

