

## 분리 메밀 단백질의 유화 및 기포특성에 관한 연구

손경희 · 최희선

연세대학교 식품영양학과

### The Study on Emulsifying and Foaming Properties of Buckwheat Protein Isolate

Hee Sun Choi and Kyung Hee Sohn

Department of Food and Nutrition, Yonsei University

#### Abstract

Buckwheat protein isolate was tested for the effects of pH, addition of sodium chloride and heat treatment on solubility, emulsion capacities, emulsion stability, surface hydrophobicity, foam capacities and foam stability. The solubility of buckwheat protein isolate was affected by pH and showed the lowest value at pH 4.5, the isoelectric point of buckwheat protein isolate. The solubility significantly as the pH value reached closer to either ends of the pH, i.e., pH 1.0 and 11.0. The effects of NaCl concentration on solubility were as follows; at pH 2.0, the solubility significantly decreased when NaCl was added; at pH 4.5, it increased above 0.6 M; at pH 7.0 it increased; and at pH 9.0 it decreased. The solubility increased above 80°C, at all pH ranges. The emulsion capacity was the lowest at pH 4.5. It significantly increased as the pH approached higher acidic or alkalic regions. At pH 2.0, when NaCl was added, the emulsion capacity decreased, but it increased at pH 4.5 and showed the maximum value at pH 7.0 and 9.0 with 0.6 M and 0.8 M NaCl concentrations. Upon heating, the emulsion capacity decreased at acidic pH's but was maximised at pH 7.0 and 9.0 on 60°C heat treatment. The emulsion stability was the lowest at pH 4.5 but increased with heat treatment. At acidic pH, the emulsion stability increased with the increase in NaCl concentration but decreased at pH 7.0 and 9.0. Generally, at other pH ranges, the emulsion stability was decreased with increased heating temperature. The surface hydrophobicity showed the highest value at pH 2.0 and the lowest value at pH 11.0. As NaCl concentrated, the surface hydrophobicity decreased at acidic pH. The NaCl concentration had no significant effects on surface hydrophobicity at pH 7.0, 9.0 except for the highest value observed at 0.8 M and 0.4 M. At all pH ranges, the surface hydrophobicity was increased, when the temperature increased. The foam capacity decreased, with increased in pH value. At acidic pH, the foam capacity was decreased with the increased in NaCl concentration. The highest value was observed upon adding 0.2 M or 0.4 M NaCl at pH 7.0 and 9.0. Heat treatments of 60°C and 40°C showed the highest foam capacity values at pH 2.0 and 4.5, respectively. At pH 7.0 and 9.0, the foam capacity decreased with the increased in temperature. The foam stability was not significantly related to different pH values. The addition of 0.4 M NaCl at pH 2.0, 7.0 and 9.0 showed the highest stability and the addition of 1.0 M at pH 4.5 showed the lowest. The higher the heating temperature, the lower the foam stability at pH 2.0 and 9.0. However, the foam stability increased at pH 4.5 and 7.0 before reaching 80°C.

#### 1. 서 론

단백질은 독특한 물리적 특성과 단백질 구성분간의 상호작용으로 인하여 여러 주된 식품들의 기능성과 품질에 중요한 영향을 미친다<sup>1)</sup>. 따라서, 식품의 조리 및 가공시 다양한 식품학적 기능성의 활용면에서 새로운 식품 개발과 함께 식품의 질적 향상의 중요 연구 분야로

주목되고 있다.

최근 두류 단백질은 식품학적 기능성의 우수성으로 농축단백분, 분리단백분 등으로 생산하고 있으며, 이들은 첨가물 분야를 비롯하여 제반 식품산업의 기술 발달로 여러 기능성을 활용한 새로운 제품 개발에 크게 기여하고 있다. 이와 같이 두류 단백질에 관한 연구는 많은 결실을 이룬 반면, 곡류 단백질에 관한 연구는 G. Mazza<sup>2)</sup> 및 J.H. Skerritt<sup>3)</sup> 등 몇몇 연구자들에 의해서 연구되었을 뿐 아직까지 미비한 실정에 놓여있다. 외국의 경우 밀, 옥수수 단백질에 관한 연구가 진행되기는 하였으나, 그

본 논문은 1992년도 연세대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 것임

외의 잡곡류에 관한 연구는 매우 미비하다. 따라서, 본 연구에서는 메밀묵 및 메밀국수의 제조시 폐기 처분되는 다량의 단백질을 재이용한다는 측면에서 메밀 단백질의 식품학적인 특성을 알아보고자, 단백질의 식품학적 기능성으로 크게 특징지워지는 용해성, 유화 용량, 유화 안정성, 표면 소수성, 기포 형성 능력, 기포 안정성 등을 살펴보고자 한다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 실험에 사용한 메밀은 1991년산으로 경동시장에서 강원도 쌀메밀로 일시에 구입하여 시료로 사용하였다.

### 2. 시료의 조제

메밀을 한번에 약 50g씩 전기 분쇄기에서 2분간 마쇄시켜 메밀 가루로 제조한 다음, 분리 메밀 단백질은 Fig. 1의 순서에 따라 제조하였다.

### 3. 실험 방법

#### (1) 용해도 측정(Solubility)

##### 1) pH에 따른 용해도

각 pH에서의 단백질 용해도는 Abbey 등<sup>4)</sup>의 방법에 의하여 다음과 같이 측정하였다. 0.3% 분리 메밀 단백질 용액(W/V)을 pH 1.0, 2.0, 4.5, 7.0, 8.0, 9.0, 11.0으로 조절하여 Lowry test<sup>9)</sup>에 의하여 단백질의 양을 측정한 후, pH 11.0인 시료의 가용성 단백질 용해도를 100으로 보고 이에 대한 백분비로 표시하였다.

##### 2) NaCl 첨가에 따른 용해도

NaCl에 따른 분리 메밀 단백질의 용해도 변화는 0.3%의 단백질 용액을 pH 2.0, 4.5, 7.0, 9.0으로 조절한 후 염 농도를 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 M이 되도록 하여 위와 같은 방법으로 용해도를 측정하였다.

##### 3) 열처리에 따른 용해도

열처리에 따른 분리 메밀 단백질의 용해도는 Aoki 등<sup>6)</sup>의 방법으로 다음과 같이 실험하였다. 0.3%의 단백질 용액을 각각의 pH 2.0, 4.5, 7.0, 9.0으로 조절한 다음, 20, 40, 60, 80, 100°C에서 10분간 가열한 후 흐르는 물에 급냉하여 위와 같은 방법으로 용해도를 측정하였다.

##### (2) 유화 용량 측정(Emulsion Capacity : E.C.)

Swift 등<sup>7)</sup>의 방법을 수정한 방법으로 측정하였다. 실온에서 0.3% 분리 메밀 단백질 용액(w/v)을 pH에 따라 제조하거나, 염 농도 및 가열 처리에 따라 제조한 다음 각각의 단백질 용액을 Ice bath에서 온도 평형을 이루면서 Homogenizer(Ace type, Nihon Seiki)로 5,000 rpm에서 균질화시켰다. 기름의 첨가는 0.5 cm 떨어진 곳에서 0.5 ml/sec의 속도로 첨가하였다. 단백질 용액의 유화 용량은 phase inversion이 일어나는 지점으로 점도의 급격한 감소로 반응의 종말점을 시각적으로 관찰하여 단백질 mg당 유화된 기름의 ml량으로 하였다.

##### (3) 유화 안정성의 측정(Emulsion Stability : E.S.)

유화 안정성은 Yamauchi 등<sup>8)</sup>의 방법을 변형하여 측정하였다. 0.3% 메밀 단백질 용액 20 ml씩을 취하고 여기에 대두유 20 ml를 첨가하여 Homogenizer로 4,000 rpm에서 5분간 균질화하였다. 유화액을 80°C 온탕수조에서 30분간 열처리한 후 원심관에 각각 5 ml씩 담고, 1,300×g에서 5분간 원심분리한 후 다음 공식에 의하여 유화력을 측정하였다.

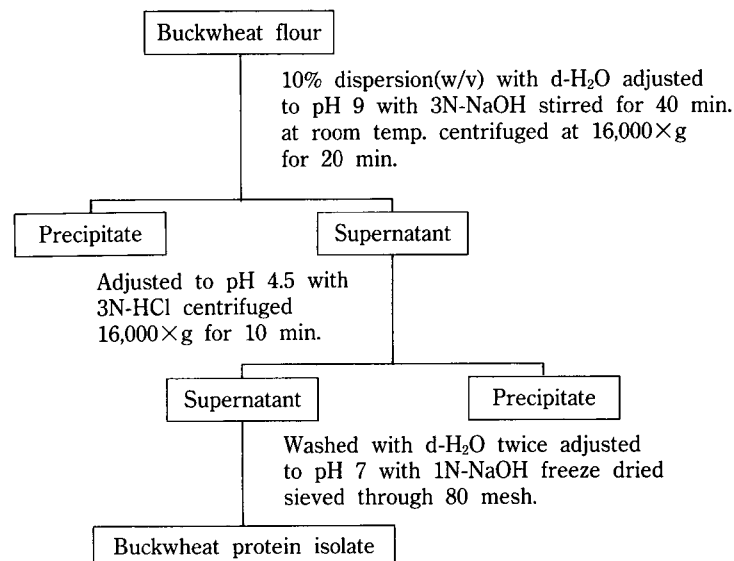


Fig. 1. Procedure for the Preparation of Buckwheat Protein Isolate.

공식 1 : 
$$E.S.(%) = \frac{\text{Height of emulsified layer after heating}}{\text{Height of emulsified layer}} \times 100$$

(4) 표면 소수성의 측정(Surface Hydrophobicity :  $S_0$ )  
분리 메밀 단백질의 표면 소수성은 Kato와 Nakai 등<sup>9)</sup>의 방법을 수정한 ANS 용액(1-Anilino-8-Naphthalene-Sulfonate)을 이용하여 측정하였다. 단백질 용액 순수 형광도는 ANS로 처리하였을 때와 처리하지 않았을 때의 차이값으로, 단백질 농도(%)에 대한 순수 형광도를 도식하여 최소 자승법에 의한 기울기를 표면 소수성으로 하였다.

(5) 기포 형성 능력(Foam Capacity : F.C.)

기포 형성 능력의 측정은 Poole<sup>10)</sup>의 방법을 수정하여 3% 메밀 단백질 용액을 눈금이 새겨진 비이커에 20 ml씩을 취한 다음, Homogenizer로 4,000 rpm에서 4분간 균질화하여 기포를 형성하였다. 비이커와 내부 지름이 같은 Filter paper를 이용하여 기포를 고르게 분산시키고 부피의 변화를 측정하여 다음 식으로 계산하였다.

공식 2 : 
$$F.C.(%) = \frac{\text{Total vol. of foam including liquid} - \text{Initial liquid volume}}{\text{Initial liquid volume}} \times 100$$

(6) 기포 안정성(Foam Stability : F.S.)

기포 형성 능력 측정과 같은 방법으로 기포를 형성한 후 형성된 기포의 부피와 실온에서 30분간 방치한 후 남아있는 기포의 부피를 측정하여 다음 식에 의하여 계산하였다.

공식 3 : 
$$F.S.(%) = \frac{\text{Foam vol. after 30 min. including liquid}}{\text{Initial foam vol. including liquid}} \times 100$$

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 용해도(Solubility)

##### 1) pH에 따른 용해도

분리 메밀 단백질 용액을 pH 1.0, 2.0, 4.5, 7.0, 8.0, 9.0, 11.0으로 조절하여 용해도를 측정된 결과는 Table 1과 같다.

다른 두류 단백질에서와 같이 등전점 pH 4.5에서 12.85%로 최소의 용해도를 보이고, 등전점 이외의 pH에서는 증가하는 경향을 보였다. pH 7.0과 8.0, 9.0을 비교해 본

결과 pH 8.0에서 다소 높은 용해도를 보였으며, 차츰 증가하여 pH 11.0에서 매우 높은 용해도를 보였다.

##### 2) NaCl의 첨가에 따른 용해도

NaCl 첨가에 따른 분리 메밀 단백질의 용해도는 Table 2와 같다. pH 2.0에서는 NaCl의 첨가가 용해도를 감소시켜 1.0 M 농도에서 36.11%의 낮은 용해도를 보였다. pH 4.5에서는 0.6 M의 염을 첨가한 경우 높은 용해도를 보였으나, 그 이상의 염 농도에서는 낮은 용해도를 나타내었다. pH 7.0에서의 용해도 양상은 0.2 M인 경우 용해도가 12.85%로 가장 낮았고, 염 농도의 증가시 차츰 증가하였다. pH 9.0에서는 0.4 M을 첨가한 경우 가장 높은 용해도를 보였으며, 1.0 M에서 46.88%로 가장 낮았다.

##### 3) 열처리에 따른 용해도

열처리에 따른 분리 메밀 단백질의 용해도 특성은 Table 3에 표시하였다. pH 2.0에서는 열처리를 하지 않은 경우 낮은 용해도를 보였으며, 100°C에서 높은 용해도를 나타냈다. pH 4.5에서는 열처리시 용해도 증가 양상을 보여, 100°C에서 가장 높은 용해도를 보였다. pH 7.0, pH 9.0에서는 가열시 용해도가 차츰 증가하여 80°C, 60°C에서 용해도가 가장 높았다.

#### 2. 유화 용량(Emulsion Capacity : E.C.)

##### 1) pH에 따른 유화 용량

pH에 따른 분리 메밀 단백질의 유화 용량 변화는 Table 4에 나타내었다. pH 4.5에서 최소치를 보였으며, pH 9.0에서 60.67 ml oil/100 mg protein의 유화 용량을 보였다.

Table 2. Effect of NaCl Concentration on the Solubility of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	52.08 ± 0.08	40.63 ± 0.07	43.19 ± 0.01	36.60 ± 0.02	29.86 ± 0.05	36.11 ± 0.01
4.5	14.38 ± 0.01	15.97 ± 2.81	28.47 ± 0.64	30.00 ± 0.07	16.32 ± 0.01	14.51 ± 0.02
7.0	41.67 ± 0.07	12.85 ± 0.03	35.42 ± 0.01	64.93 ± 0.01	93.75 ± 0.01	92.01 ± 0.01
9.0	51.74 ± 0.01	62.50 ± 0.07	64.93 ± 0.01	57.99 ± 0.01	51.74 ± 0.03	46.88 ± 0.02

1) Values are expressed as mean ± S.D.

Table 1. Effect of pH on the Solubility of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)

BPI	pH						
	1.0	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
	72.92 ± 0.03	48.61 ± 0.01	12.85 ± 0.01	45.14 ± 0.03	62.53 ± 0.03	54.51 ± 0.02	100.00 ± 0.03

1) Values are expressed as mean ± S.D.

**Table 3. Effect of Heating Temperature on the Solubility of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	48.61 ± 0.01	76.04 ± 0.01	64.24 ± 0.02	62.50 ± 0.02	79.86 ± 0.02
4.5	16.32 ± 0.01	25.00 ± 0.01	27.78 ± 0.01	23.96 ± 0.02	31.60 ± 0.01
7.0	48.61 ± 0.01	55.56 ± 0.02	60.07 ± 0.01	79.86 ± 0.01	69.44 ± 0.01
9.0	55.56 ± 0.01	64.24 ± 0.01	72.22 ± 0.01	66.32 ± 0.04	36.11 ± 0.02

1) Values are expressed as mean ± S.D.

**Table 4. Effect of pH on the Emulsion Capacity of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : ml oil/100 mg protein)

E.C.	pH					
	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
62.28 ± 0.92	33.83 ± 1.31	43.83 ± 0.17	55.17 ± 10.15	60.67 ± 0.03	53.89 ± 11.32	

1) Values are expressed as mean ± S.D.

### 2) NaCl의 첨가에 따른 유화 용량

NaCl 첨가에 따른 분리 메밀 단백질의 유화 용량은 Table 5와 같다. pH 2.0에서는 염 농도가 증가함에 따라 유화 용량의 감소를 보였다. pH 4.5에서는 염을 0.2 M 첨가한 경우 가장 낮았으며, 0.8 M, 1.0 M의 염 농도에서 유화 용량이 증가함을 보였다. pH 7.0에서는 염의 첨가에 따라 유화 용량이 증가하다가 0.8 M, 1.0 M에서 유화 용량이 감소하였다. pH 9.0에서는 염 첨가에 따라 별다른 차이가 없었다.

Bera 등<sup>11)</sup>은 rice bran protein에 관한 연구 결과에서 pH 9.0에서는 염 농도 증가시 "Salting-out" 효과에 의한 유화 용량의 감소를 보고하여 본 실험의 결과와 차이를 보였다.

### 3) 열처리에 따른 유화 용량

열처리 온도에 따른 분리 메밀 단백질의 유화 용량은 Table 6과 같다. pH 2에서 40°C의 열처리시 유화 용량이 증가하나, 고온처리시 현저한 유화 용량의 감소를 보였다. pH 4.5에서는 열처리 온도가 증가함에 따라 유화 용량이 감소하였으며, pH 7.0에서는 60°C 까지 온도 상승에 따라 높은 유화 용량을 보이다가 80°C에서 낮은 유화 용량을 나타내었다.

Aoki 등<sup>6)</sup>은 soy protein 중 7S와 11S 단백질간의 특성 연구를 통하여, 85°C의 열처리시 급격한 유화 용량의 감소를 보고하였으며, Narayama 등<sup>12)</sup>은 winged bean flour의 연구에서 열처리시 유화 용량이 감소함을 보고하였다.

**Table 5. Effect of NaCl Concentration on the Emulsion Capacity of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : ml oil/100 mg protein)

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	68.22 ± 1.50	52.06 ± 0.42	38.44 ± 4.74	36.67 ± 0.33	36.72 ± 0.25	33.39 ± 0.42
4.5	32.94 ± 3.95	30.67 ± 0.44	35.39 ± 0.51	34.89 ± 2.01	37.89 ± 0.53	49.67 ± 5.12
7.0	32.72 ± 2.41	41.56 ± 5.54	51.72 ± 4.19	57.56 ± 5.85	53.32 ± 4.57	38.06 ± 1.02
9.0	50.17 ± 0.47	49.75 ± 0.59	52.67 ± 2.83	58.42 ± 0.11	67.25 ± 9.72	33.39 ± 0.42

1) Values are expressed as mean ± S.D.

**Table 6. Effect of Heating Temperature on the Emulsion Capacity of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : ml oil/100 mg protein)

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	60.76 ± 5.18	66.12 ± 0.29	58.55 ± 0.72	56.50 ± 0.10	25.30 ± 2.66
4.5	34.67 ± 2.87	30.45 ± 0.21	28.38 ± 1.59	23.77 ± 0.15	22.33 ± 0.72
7.0	39.22 ± 0.25	41.72 ± 0.25	42.55 ± 1.34	38.45 ± 0.75	29.67 ± 1.32
9.0	59.88 ± 1.29	58.72 ± 0.50	65.67 ± 1.04	49.38 ± 4.05	50.55 ± 0.21

1) Values are expressed as mean ± S.D.

## 3. 유화 안정성(Emulsion Stability : E.S.)

### 1) pH에 따른 유화 안정성

pH 조성에 따른 분리 메밀 단백질의 유화 안정성은 Table 7에 표시하였다. 유화 안정성은 pH 4.5에서 가장 낮았으며, pH 8.0에서 가장 높았다. 이는 분리 메밀 단백질의 용해도 및 유화 용량의 결과와 유사한 경향을 보여 용해도가 유화 안정성에 영향을 끼침을 알 수 있다.

Elizalde 등<sup>13)</sup>은 단백질의 유화 안정성은 단백질 구조 내의 소수기와 친수기간의 적절한 균형과 계면층의 장력이 낮아야 증가된다고 하였다. 또한, 단백질의 친수기와 소수기의 정도와도 관련되어 이로 인한, 단백질 분자간의 응집력 증가는 계면의 파열 방지 및 강도 유지에 영향을 주어 유화액을 안정시킨다고 하였다. 따라서, 이는 표면 소수성과 관련있음을 시사하였다.

### 2) NaCl의 첨가에 따른 유화 안정성

염 농도에 따른 분리 메밀 단백질의 유화 안정성은 Table 8에 나타내었다. pH 2.0에서는 유화 형성 후 0.2 M의 염 첨가시 안정성이 다소 떨어졌으나, 0.4 M 이상의 염 농도에서는 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 다량의 염 농도에서는 안정성이 감소하였다. pH 4.5에서는 0.8 M의 염 농도시 높은 안정성을 보였으나, 1.0 M에서는

**Table 7. Effect of pH on the Emulsion Stability of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

	pH					
	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
E.S.	68.00	49.00	84.00	85.00	82.00	74.50
	± 0.32	± 17.09	± 1.63	± 2.58	± 4.90	± 6.40

1) Values are expressed as mean± S.D.

**Table 8. Effect of NaCl Concentration on the Emulsion Stability of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	67.33	66.00	68.00	72.00	72.13	64.67
	± 3.05	± 2.00	± 0.04	± 2.00	± 2.31	± 1.15
4.5	53.33	58.67	64.67	65.00	68.33	56.00
	± 1.15	± 1.15	± 3.06	± 10.58	± 5.08	± 3.18
7.0	79.33	78.67	70.00	66.67	68.67	65.33
	± 1.15	± 4.16	± 2.00	± 1.15	± 1.15	± 2.31
9.0	83.33	82.67	72.67	74.27	73.13	75.00
	± 1.17	± 4.62	± 2.31	± 2.00	± 4.00	± 1.21

1) Values are expressed as mean± S.D.

안정성의 급격한 감소치를 보였다. pH 7.0에서는 염 농도의 증가에 따라 안정성이 감소하였으나, 0.8 M의 염 첨가시는 유화 안정성이 다소 증가하는 경향을 보였다. pH 9.0에서는 염을 첨가하지 않은 경우, 높은 안정성을 보였으나 염 농도에 따른 차이는 크지 않았다.

Siew 등<sup>14)</sup>은 NaCl 첨가시 알칼리 영역에서 보다 산성 영역에서 더 효과가 크다고 하였다. 산성 영역에서는 지방의 응집이 NaCl 농도에 따라 강화되고, 전체적으로 이온간의 반발력을 중화시키기 때문에 유화 안정성이 증가된다고 하였다.

3) 열처리에 따른 유화 안정성

열처리가 유화 안정성에 미친 효과는 Table 9에 나타내었다. pH 2.0에서 열처리에 따른 안정성의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 60°C 에서 낮은 유화 안정성을 나타내었다. pH 4.5에서는 열처리시 높은 안정성을 보였으나, 100°C 의 고온에서는 안정성이 감소하였다. 유화 안정성의 변화는 크지 않아, 열처리에 의한 단백질의 변성은 어느 일정 온도에 도달시 영향을 크게 받을 수 있었다. pH 7.0에서는 60°C 의 열처리에서 84%로 높은 안정성을 보였으며, 그 이상의 열처리에서는 유화 안정성이 감소하였다. pH 9.0의 경우 열처리 온도가 증가하면서 안정성이 감소하다가 80°C 의 열처리시 85.33%로 가장 높은 유화 안정성을 보였다.

Kato 등<sup>15)</sup>은 단백질 변성은 단백질의 표면 장력을 낮추며, 표면 소수성과 비례 관계가 있다고 보고하면서 부분 변성은 단백질-단백질간 응집을 저해하여 유화 특성을 증가시킨다고 하였다.

**Table 9. Effect of Heating Temperature on the Emulsion Stability of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	68.00	66.67	64.00	65.33	64.67
	± 2.00	± 6.43	± 4.00	± 6.11	± 3.06
4.5	50.00	65.33	66.00	72.00	68.00
	± 9.17	± 1.13	± 3.46	± 5.29	± 2.22
7.0	80.67	78.00	84.00	74.00	71.33
	± 1.15	± 5.29	± 1.00	± 2.00	± 1.37
9.0	84.67	82.67	78.00	85.33	68.97
	± 1.14	± 1.17	± 2.04	± 1.13	± 1.57

1) Values are expressed as mean± S.D.

**Table 10. Effect of pH on the Surface Hydrophobicity of Buckwheat Protein Isolate**

BPI	pH					
	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
BPI	292.72	117.85	100.86	53.58	87.76	24.37

**Table 11. Effect of NaCl Concentration on the Surface Hydrophobicity of Buckwheat Protein Isolate**

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	283.46	128.17	153.86	210.03	69.01	69.44
4.5	121.63	108.60	70.77	92.89	48.29	53.35
7.0	82.45	90.95	118.48	102.88	145.47	111.99
9.0	77.74	64.08	129.71	80.15	106.48	94.22

5. 표면 소수성(Surface Hydrophobicity : So)

1) pH에 따른 표면 소수성

pH의 조성에 따른 분리 메밀 단백질의 표면 소수성은 Table 10과 같다. pH 2.0에서 가장 높은 표면 소수성을 보이다가 pH 4.5에서 급격히 감소하기 시작하여 pH 8.0에서 53.58을 나타내었다. pH 9.0에서는 다소 증가하다가 pH 11.0에서 가장 낮은 표면 소수성을 보였다.

Allan 등<sup>16)</sup>의 canola protein isolate 표면 소수성에 관한 연구에서 pH의 증가에 따라 표면 소수성이 감소함을 보여 본 실험의 결과와 일치하였다. 이는 단백질의 변성이 pH가 등전점 이하인 부근에서 크게 형성되어 단백질 분자내 소수기가 많이 노출되었기 때문이다. 즉, 산성에서는 단백질이 (+)전하를 띠면서 단백질간의 반발력이 형성되고 이로 인하여 소수기들이 노출되면서 단백질의 유화 특성을 향상시키는 요인으로 작용하며, 알칼리에서는 단백질이 (-)전하를 띠어 소수기가 적게 노출되더라도 불구하고 유화 특성이 비교적 높은 것은 단백질이 물과 기름간의 계면에 흡착한 후, 구조적인 변성이 이루어져 소수기가 노출되었기 때문으로 여겨진다.

**Table 12. Effect of Heating Temperature on the Surface Hydrophobicity of Buckwheat Protein Isolate**

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	215.01	186.06	377.70	481.65	305.00
4.5	100.96	69.14	95.75	121.82	233.08
7.0	83.99	76.23	171.76	124.91	185.13
9.0	61.41	74.60	126.42	126.41	117.15

## 2) NaCl의 첨가에 따른 표면 소수성

염 농도에 따른 분리 메밀 단백질의 표면 소수성 변화는 Table 11에 나타난 바와 같다. pH 2.0에서는 0.6 M의 표면 소수성치가 다른 염 농도 보다 높았으나, 그 이상의 염 농도에서는 표면 소수성이 급격히 감소하였다. pH 4.5는 pH 2.0와 유사한 양상을 보였다. pH 7.0에서는 염 농도 증가에 따라 표면 소수성이 증가하다가 0.6 M에서 다소 감소하였으나, 0.8 M에서 최대치를 나타내었다. pH 9.0에서는 0.4 M의 염 첨가시 최대치인 129.71을 보였으며, 그 밖의 염 첨가에서는 유의적인 차이가 없었다.

Allan 등<sup>16)</sup>의 canola protein isolate의 연구 결과 표면 소수성 변화는 pH에 영향을 받아 산성에서는 염의 첨가가 표면 소수성의 감소를, 알칼리에서는 염의 첨가가 표면 소수성을 증가시킴을 보고하였다.

## 3) 열처리에 따른 표면 소수성

열처리에 따른 분리 메밀 단백질의 표면 소수성 변화는 Table 12와 같다. pH 2.0에서는 열처리 온도 증가에 따라 표면 소수성이 증가하여 80°C에서 가장 높았다. pH 4.5에서는 열처리를 하지 않은 경우가 미약한 40°C의 열처리 보다 높은 표면 소수성을 보였으며, 열처리 온도가 높아질수록 표면 소수성이 점차적으로 증가하여 100°C에서 가장 높았다. pH 7.0에서는 60°C에서 급격한 상승치를 보이다가 그 이상의 온도에서는 다소 감소하는 경향을 보였으며, pH 9.0에서도 열처리 온도가 높을수록 표면 소수성이 높아져 60°C에서 최고치를 보이다가 80°C, 100°C에서 다소 감소하였다.

강 등<sup>17)</sup>은 단백질의 부분적 변성이 소수기 노출에 영향을 미치고, 변성 온도 이상에서는 열 응고에 의해 소수성 부위가 내부로 묻혀버려 상대적으로 소수기의 감소를 나타낸다고 하였다. 따라서, 응고가 형성되기 이전까지의 열처리는 부분적 변성을 야기시켜 단백질의 기능성 향상에 크게 기여할 것으로 생각된다.

## 5. 기포 형성 능력(Foam Capacity : F.C.)

## 1) pH에 따른 기포 형성 능력

pH에 따른 분리 메밀 단백질의 변화는 Table 13에 나타내었다. 분리 메밀 단백질의 기포 형성력은 pH 4.5에서 가장 크게 나타났으며, pH의 증가에 따라 감소하는 경향을 보이다가 pH 11.0에서 다시 증가하였다.

**Table 13. Effect of pH on the Foam Capacity of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

	pH					
	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
BPI	283.33	266.67	241.63	233.34	216.67	225.00
	± 6.63	± 7.64	± 9.21	± 6.51	± 7.38	± 9.43

1) Values are expressed as mean ± S.D.

**Table 14. Effect of NaCl Concentration on the Foam Capacity of Buckwheat Protein Isolate** (Unit : %)

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	303.33	266.67	260.00	263.33	259.55	258.33
	± 5.28	± 1.00	± 5.17	± 5.77	± 4.16	± 1.41
4.5	289.33	281.13	276.55	269.67	292.33	288.23
	± 5.77	± 5.77	± 4.26	± 2.89	± 2.89	± 2.68
7.0	226.05	252.00	233.33	230.00	230.33	228.33
	± 5.36	± 1.00	± 5.79	± 2.50	± 3.81	± 2.89
9.0	234.85	240.00	250.00	220.96	225.00	235.00
	± 2.88	± 0.22	± 2.51	± 9.99	± 7.07	± 7.01

1) Values are expressed as mean ± S.D.

본 실험의 결과는 기포 형성력이 민<sup>18)</sup>의 녹두 단백질 기포 형성력보다도 높아 매우 양호한 결과를 보였다. 그러나, 김 등<sup>19)</sup>의 연구 및 Abbey 등<sup>4)</sup>의 연구 결과와 본 실험의 결과가 일치하지 않아 기포 형성력은 표면 활성제 작용인 물의 표면 장력을 줄이는 특성과 기포 주위에 연속적이고 응집력이 강한 막을 형성하는 단백질의 종류가 영향을 미치는 것으로 생각된다.

## 2) NaCl 첨가에 따른 기포 형성 능력

기포 형성력이 NaCl 첨가에 따른 양상은 Table 14에 요약하였다. pH 2.0에서는 염 농도가 증가할수록 기포 형성력이 감소하였다. pH 4.5에서는 염의 첨가에 따라 감소하는 경향을 보이다가 0.8 M의 농도에서 최고치를 보였다. pH 7.0에서는 0.2 M의 염 첨가시 높은 기포 형성력을 보이고, 그 밖의 염 농도에서는 유의적인 차이가 없었다. pH 9.0에서는 0.4 M의 염 첨가시 최대의 기포 형성력을 보였으며, 염 첨가에 따른 기포 형성력간의 유의적인 차이는 없었다.

Bera 등<sup>11)</sup>은 rice bran protein의 기포 형성력 연구에서 0.1 M의 염 농도가 기포 형성력을 증진시킨다고 하였으며, 1.0 M 이상의 염 첨가는 기포 형성력에 역작용을 미친다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 염 농도가 단백질의 용해도에 영향을 주어 기포 형성력의 차이를 유도한 것이라 하였으며, 고농도의 염 첨가는 "Salting-out" 효과에 기인한다고 하였다.

## 3) 열처리에 따른 기포 형성 능력

열처리에 따른 분리 메밀 단백질의 기포 형성력은 Table 15에 나타내었다. pH 2.0에서 40°C와 60°C의 열처

**Table 15. Effect of Heating Temperature on the Foam Capacity of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)**

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	278.33 ± 2.89	283.20 ± 1.41	285.00 ± 5.10	275.00 ± 5.00	272.50 ± 5.06
4.5	268.61 ± 5.28	270.00 ± 1.00	260.00 ± 1.32	265.00 ± 3.00	262.50 ± 5.32
7.0	220.33 ± 5.77	194.23 ± 5.17	190.00 ± 1.00	186.67 ± 2.89	173.33 ± 2.89
9.0	208.18 ± 2.51	181.67 ± 7.63	150.00 ± 7.32	143.33 ± 5.77	103.33 ± 5.75

1) Values are expressed as mean± S.D.

**Table 16. Effect of pH on the Foam Stability of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)**

BPI	pH					
	2.0	4.5	7.0	8.0	9.0	11.0
	86.00 ± 4.24	82.50 ± 4.65	89.50 ± 1.61	93.50 ± 2.12	87.00 ± 4.14	70.50 ± 4.95

1) Values are expressed as mean± S.D.

리시 높은 기포 형성력을 보였으나, 유의적인 차는 없었다. pH 4.5에서는 가열처리 온도에 따른 변화가 크지 않아, 60°C의 열처리시 다소 감소하는 경향만을 보였다. pH 2.0과 pH 4.5에서 나타난 미약한 열처리에 따른 기포 형성력의 증가는 열변성 이전의 단백질 부분 변성으로 인하여 노출된 소수기가 표면 소수성의 증가에 영향을 미친 것에 기인한다고 생각된다. pH 7.0에서는 열처리의 온도 증가에 따라 기포 형성력의 감소를 보여 100°C에서 173.33%로 최소치를 나타내었다. pH 9.0에서는 pH 7.0과 유사한 경향을 보였다.

Abbey 등<sup>4)</sup>은 cowpea flour 연구에서 열처리시 단백질의 변성으로 인한 용해도의 감소가 기포 형성력의 감소 원인이 된다고 하였다.

**6. 기포 안정성(Foam Stability : F.S.)**

1) pH에 따른 기포 안정성

pH에 따른 분리 메밀 단백질의 기포 안정성 변화는 Table 16에 요약하였다. pH간의 기포 안정성에는 유의적인 차가 없었으나, pH 11.0에서 가장 낮은 안정성을 보였으며, pH 8.0에서 높은 안정성을 띠었다.

Narayama 등<sup>20)</sup>은 연구를 통하여 기포 안정성은 단백질내 구조의 계면 특성과 피막의 강도에 영향을 받으며, 이러한 특성은 단백질 내부의 분자 구조와 밀접한 관련성을 지니 거대한 3차원적 입체 구조를 지닌 단백질인 경우는 분자의 구조로 인하여 낮은 기포 형성력을 지니나, 어느 정도의 기포가 형성된 후에는 기포의 안정성이 뛰어난 특성을 지닌다고 하였다. Koyoro 등<sup>20)</sup>의

**Table 17. Effect of NaCl Concentration on the Foam Stability of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)**

pH	NaCl Conc. (M)					
	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
2.0	92.50 ± 3.54	94.51 ± 3.54	99.50 ± 0.71	97.00 ± 0.22	96.00 ± 1.24	93.00 ± 5.66
4.5	86.50 ± 3.55	89.00 ± 4.95	92.50 ± 4.24	95.00 ± 4.24	94.00 ± 1.41	98.00 ± 0.08
7.0	90.50 ± 9.19	94.00 ± 0.12	95.50 ± 0.70	94.50 ± 0.71	82.00 ± 4.24	79.00 ± 4.24
9.0	89.50 ± 3.54	89.50 ± 6.36	94.50 ± 2.07	94.50 ± 0.71	94.00 ± 0.02	89.00 ± 1.26

1) Values are expressed as mean± S.D.

**Table 18. Effect of Heating Temperature on the Foam Stability of Buckwheat Protein Isolate (Unit : %)**

pH	Temperature (°C)				
	20	40	60	80	100
2.0	86.50 ± 2.12	95.00 ± 0.13	94.00 ± 1.41	93.50 ± 2.12	87.00 ± 1.14
4.5	88.50 ± 3.54	88.00 ± 5.66	96.00 ± 1.42	96.00 ± 1.41	93.00 ± 1.32
7.0	87.50 ± 6.61	85.50 ± 2.12	97.00 ± 1.00	97.50 ± 0.71	96.50 ± 0.77
9.0	82.50 3.54	84.00 ± 2.83	81.50 ± 4.95	75.50 ± 4.97	76.50 ± 0.28

1) Values are expressed as mean± S.D.

연구에서는 단백질의 구성분인 amino acid의 구성이 표면 소수성과 관련되어 기포 안정성에 영향을 준다고 보고하면서 황함유 amino acid를 많이 지닌 단백질은 낮은 기포 안정성을 보인다고 하였다. 또한, pH에 따른 기포 안정성의 차이는 기포의 크기와 표면 소수성의 차이에 기인한다고 보고하였다.

2) NaCl의 첨가에 따른 기포 안정성

NaCl 농도에 따른 분리 메밀 단백질의 기포 안정성은 Table 17에 나타내었다. pH 2.0에서 염을 첨가시 기포 안정성이 증가하여 0.4 M에서 최대치를 보이고, 그 이상의 염 농도에서는 감소하는 경향을 보였다. pH 4.5에서는 염 농도의 증가에 따른 기포 안정성의 증가 양상을 보였다. pH 7.0에서는 염 농도가 0.4 M인 경우 최대치를 보였으며, 그 이상의 염 농도에서는 기포 안정성의 감소를 보였다. pH 9.0은 pH 7.0과 유사한 결과를 보였다.

기포 안정성은 NaCl의 농도와 단백질 분자내 이온의 강도, 단백질 용액의 조제 방법 및 pH 등에도 영향을 받으므로 식품 제조시 식품의 다양한 기능성 향상을 위하여 여러 각도에서의 연구가 시급하다고 생각된다.

3) 열처리에 따른 기포 안정성

열처리에 따른 기포 안정성의 변화는 Table 18에 표시하였다. pH 2.0에서는 40°C에서 가장 안정성이 뛰어난

났으며, 그 이상의 온도에서는 안정성이 감소하였다. pH 4.5에서는 60°C와 80°C에서 안정성이 높았으며, 열처리 하지 않은 경우 낮은 안정성을 보였다. pH 7.0에서는 pH 4.5와 유사한 결과를 보였다. pH 9.0에서는 20°C의 열처리시 안정성이 가장 높았고, 온도의 증가에 따라 차츰 감소하였다.

Eldridge 등<sup>21)</sup>은 기포 형성력에서 최대치를 보이는 pH 영역과 기포 안정성에서 최대치를 보이는 pH 영역간의 차이를 시사하면서, 이는 단백질의 정제 방법에 의해서 영향을 받기 때문인 것으로 설명하였다. 그 밖에 단백질의 종류, 처리 온도 및 pH, 기포 형성시의 교반 시간, 단백질의 농도 등에 의해서도 영향을 받는다고 하였다.

#### IV. 결론 및 제언

분리 메밀 단백질에 대한 유화특성 및 기포특성에 관한 연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 분리 메밀 단백질의 용해도는 pH에 따라 차이를 보여, pH 11.0의 용해도를 기준으로 보았을 때 pH 4.5에서 가장 낮았고, pH 1.0과 11.0에서 용해도가 높았다. NaCl의 첨가에 따른 용해도는 각 pH에 따라 차이가 있어 pH 2.0에서는 염을 첨가시 용해도가 저하되고 pH 4.5에서는 증가하여 0.6 M에서 높은 용해도를 보였다. 열처리에 의한 용해도의 변화는 열처리 온도 증가에 따라 용해도 증가 양상을 보였으나, 고온에서는 용해도가 감소하였다.

2. 분리 메밀 단백질의 유화 용량은 pH 4.5에서 가장 낮았고, 등전점을 기준으로 산성과 알칼리성으로 진행되면서 유화 용량이 증가하였다. pH 2.0에서는 염 농도의 증가시 유화 용량이 저하된 반면, pH 4.5에서는 증가하였다. pH 7.0과 9.0에서는 각각 0.6 M, 0.8 M에서 최대의 유화 용량을 보였다. 열처리시 pH 2.0, 4.5에서는 열처리 온도가 증가함에 따라 유화 용량이 감소하였으며, pH 7.0, 9.0에서는 60°C에서 최대 유화 용량을 나타내었다.

3. 분리 메밀 단백질의 유화 안정성은 pH 4.5에서 가장 낮았으며, pH 7.0과 8.0에서 증가하였다. NaCl의 농도에 따른 유화 안정성의 경향은 pH 2.0과 4.5에서는 0.8 M에서 최대치를 보여 염 농도와 비례 관계를 보인 반면, pH 7.0과 9.0에서는 염을 첨가하는 경우 유화 안정성이 저하되었다. 열처리시 유화 안정성의 변화는 pH 2.0, 7.0, 9.0의 경우 온도 상승에 따라 감소를 보였으며, pH 4.5에서는 증가의 양상을 보였다.

4. 분리 메밀 단백질의 표면 소수성은 pH 2.0에서 최대치를, pH 11.0에서 가장 낮은 값을 보였다. NaCl의 농도에 따른 변화는 pH 2.0과 4.5에서 염 첨가시 감소 경향을 보였으며, pH 7.0과 9.0에서는 각각 0.8 M과 0.4 M에서 최대의 표면 소수성을 보이는 특성이외에 유의적인 차이는 없었다. 열처리시는 pH의 모든 영역에서 가열 온도 증가에 따라 표면 소수성이 증가하여 pH 2.0에서는 80°C에서 최고치를, pH 4.5와 7.0에서는 100°C

에서, pH 9.0은 60°C에서 최대 표면 소수성을 나타내었다.

5. 분리 메밀 단백질의 기포 형성 능력은 pH의 증가에 따라 저하하였다. NaCl 첨가시 기포 형성 능력의 변화는 pH 2.0과 4.5에서는 염 농도가 증가함에 따라 감소를 보였고, pH 7.0과 9.0에서는 낮은 농도인 0.2 M과 0.4 M에서 최대의 기포 형성 능력을 나타내었다. 열처리에서는 pH 2.0과 4.5의 각각 60°C와 40°C에서 최대치를 보이고 온도의 증가에 따라 기포 형성 능력은 저하되었다. pH 7.0과 9.0에서는 열처리 온도 상승에 따라 기포 형성력이 감소하였다.

6. 분리 메밀 단백질의 기포 안정성은 pH에 따라 유의적인 차이를 보이지는 않았으나, pH 11.0에서 70.50%로 가장 낮은 기포 안정성을 나타내었다. pH 2.0, 7.0, 9.0에서는 0.4 M의 NaCl 첨가시 기포 안정성의 최대치를 보였으며, 그 이상의 염 농도에서는 차츰 감소하였다. pH 4.5에서는 1.0 M에서 가장 높은 기포 안정성을 보였다. 열처리에 따른 변화는 pH 2.0과 9.0에서는 각각 40°C와 20°C의 열처리시 안정성이 떨어졌으며, 그 이상의 온도에서는 안정성이 감소하였다. pH 4.5와 7.0에서는 80°C에서 안정성이 높았으며, 열처리 온도의 증가에 따라 차츰 감소하는 양상을 보였다.

#### 참고문헌

1. Johnson, D.W., Functional properties of oilseed proteins, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, **48**: 402(1970).
2. Mazza, G. and Campbell, C.G., Influence of water activity and temperature on dehulling of buckwheat, *Cereal Chem.*, **62**: 31(1985).
3. Skerritt, J.H., Molecular comparison of alcohol-soluble wheat and buckwheat proteins, **63**: 365(1986).
4. Abbey, B.W. and Ibeh, G.O., Functional properties of raw and heat processed cowpea(*Vigna unguiculata*, Walp) flour, *J. Food Sci.*, **53**: 1775(1988).
5. Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Fan, A.L. and Randall, R.J., Protein measurement with the folinphenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**: 275(1951).
6. Aoki, H., Tanesama, O. and Inamz, M., Emulsifying properties of soy protein: Characteristics of 7S and 11S proteins, *J. Food Sci.*, **45**: 534(1980).
7. Swift, C.E., Locket, C. and Fryer, A.J., Comminuted meat emulsion: The capacity of meats for emulsifying fat, *Food Tech.*, **15**: 468(1961).
8. Yamauchi, K., Shimizu, M. and Kamiya, T., Emulsifying properties of whey protein, *J. Food Sci.*, **45**: 1237(1980).
9. Nakai, S. and Kato, A., Hydrophobicity determined by a fluorescence probe method and its correlation with surface properties of protein, *Biochem. Biophys. Acta*, **624**: 13(1980).
10. Poole, S., Review: The foam enhancing properties of basic biopolymers, *International J. Food Sci. and Tech.*, **24**: 121(1989).
11. Bera, M.B. and Mukherjee, R.K., Solubility, emulsify-



- ing and foaming properties of rice bran protein concentrates, *J. Food Sci.*, **54**: 142(1989).
12. Narayama, K. and Narasinga, M.S., Functional properties of raw and heat processed winged bean(*Psophocarpus tetragonolobus*) flour, *J. Food Sci.*, **47**: 1534(1982).
  13. Elizalde, B.E., De Kanterwize, Piloof, A.M.R. and Bartholomai, G.B., Physicochemical properties of food proteins related to their ability to stabilize oil-in-water emulsions, *J. Food Sci.*, **53**: 845(1988).
  14. Siew, L.C. and Les, K.F., PH and sodium chloride effects on emulsifying properties of egg yolk phosphovitin, *J. Food Sci.*, **57**: 40(1992).
  15. Kato, A., Tsutui, N., Matsudomi, N., Kobayashi, K. and Nakai, S., Effects of partial denaturation on surface properties of ovalbumin and lysozyme, *Agric. Biol. Chem.*, **45**: 2755(1981).
  16. Allan, T.P. and Marvin, A.T., Solubility, hydrophobicity and net charge of succinylated canola protein isolate, *J. Food Sci.*, **52**: 1557(1987).
  17. 강일준, 이철호, 열응고 과정에서 단백질의 소수성 변화에 관한 연구. *한국생화학회지*, **21**: 88(1988).
  18. 민성희, 분리 녹두 단백질의 기포 특성에 관한 연구. 연세대학교, *식생활학과* (1989).
  19. 김영옥, 이철호, 루우핀콩 단백질 농축물(LPC)의 식품 기능성. *한국식품과학회지*, **19**: 499(1987).
  20. Koyoro, H. and Powers, J.R., Functional properties of pea globuline fractions, *Cereal Chem.*, **64**: 97(1987).
  21. Eldridge, A.C., Hall, P.K. and Wolf, W.J., Stable foams from unhydrolyzed soybean, *Food Tech.*, **16**: 120(1962).