

pH와 천연 다당류 고무질이 분리대두단백질의 거품안정성에 미치는 영향

양승택 · 김미숙 · 박춘옥*

경성대학교 식품공학과, *부산여자전문대학 생활교양과

Effects of pH and Natural Polysaccharide Gums on the Foam Stability of Soy Protein Isolate

Seung-Taek Yang, Mi-Sook Kim and Chun-Og Park*

Department of Food Science and Technology, Kyungsoong University

*Department of Life Culture, Pusan Women's Junior College

Abstract

Experiments were conducted to elucidate the effects of pH change and sodium alginate, gum karaya and gum arabic on the foaming properties of soy protein isolate (SPI). The surface tensions of SPI solution (5%) adding to gums at pH 4.0 and 5.0, near the isoelectric point (pH 4.5) were higher than those at pH 7.0 and 8.0. Specific viscosity of the solutions adding to gums (0.1, 0.2 and 0.3%) at pH 7.0 and 8.0 were 3.6~51.8 and 4.0~51.2, respectively. In cases of addition of sodium alginates specific viscosity were predominantly increased, while those of gum arabic did not almost increase. Addition of gums reduced the overrun, but it stabilized the foams, especially those of sodium alginates (0.2%) increased the foam stability at pH 5.0, 7.0 and 8.0 by 57, 413 and 315%, respectively. Foaming ability, foam stability and heat stability of the foam were significantly ($p < 0.05$) affected by changing pH. There was a tendency to increase the foaming ability according to the decrease of surface tension. Specific viscosity was also important in foam stability and heat stability.

Key words: foaming properties, SPI, gums, surface tension, specific viscosity

서 론

천연 다당류 고무질은 식품에 주로 안정제로서 이용되고 있으며 겔화성, 유제품의 안정화, 아이스크림의 빙결정 성장 조절, 기포의 안정성 유지 및 텍스처의 조절 등 중요한 기능특성을 갖고 있다고 알려져 있다. 단백질과 다당류 특히, 점질 다당류와의 상호작용은 식품의 기능성과 밀접한 관계를 갖고 있으며, 정전기적인 힘을 비롯하여 수소결합, 소수적 결합 및 공유결합 등이 이들 복합체의 안정화에 중요한 역할을 하게 된다⁽¹⁾. 거품의 안정성을 높이기 위해서는 단백질만을 사용하는 것보다는 단백질과 다당류의 복합체를 사용하는 것이 더욱 효과적이다⁽²⁾.

단백질의 용해도와 표면장력은 용액의 pH에 따라 다르며 등전점 부근에서 최소가 된다고 알려져 있다. 등전점 부근에서 가용성인 단백질의 경우, 거품의 안정성은 등전점에서 최대가 되며 pH가 등전점에서 멀어지면 단백질의 net 하전이 증가하게 되어 거품의 안정성은 감소하게 된다^(3,4). 또한 단백질용액의 점도와 용해도는 pH,

온도 및 첨가 염류 등의 영향요인에 따라서 다르게 나타난다⁽⁵⁾.

고무질 물질들을 식품에 이용하므로써 제품의 품질 향상 특히, 거품성을 향상시키려는 연구는 제품의 다양화와 기호성 증진이란 측면에서 필요하다고 생각되며, 일부 고무질 물질들이 거품의 안정제로서 유효하다고 알려져 왔으나 단백질과 고무질 물질과의 상호작용에 의하여 거품성을 향상시키려는 상세한 연구보고는 찾아보기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 pH 및 고무질이 분리대두단백질의 거품성에 미치는 효과를 구명할 목적으로 분리대두단백질에 천연 다당류 고무질 중 sodium alginate, gum karaya 및 gum arabic 등 3종의 고무질을 pH 및 농도별로 작용시켜 이들이 단백질의 거품성에 미치는 효과를 실험하였기에 보고한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 단백질은 분리대두단백질(soy protein isolate, SPI, Mira-Pro 121, Staley Co., Illinois, USA : 89.6% 단백질, 3.4% 회분, 2.4% 수분, 4.5% 지방 및 0.1% 탄수화물)이었으며 천연 다당류 고무질로서는

Corresponding author: Seung-Taek Yang, Department of Food Science and Technology, Kyungsoong University 110-1, Daeyeon-Dong, Namgu, Pusan 608-736, Korea

sodium alginate(high viscosity), gum karaya 및 gum arabic을 Sigma(USA)에서 구입하여 사용하였다.

표면장력의 측정

SPI(5% 농도)에 고무질을 0.1, 0.2 및 0.3%의 농도별로 첨가한 후 자석교반기에서 교반하면서 pH를 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0으로 조절하고 30분간 수화하여 조제한 SPI 시료 용액의 표면장력은 du Nuoy ring을 이용한 Fisher tensiometer(Model 20, Fisher Scientific, Pittsburg, Pa)를 사용하여 25℃ (증류수, 72.45 dyne/cm)에서 측정하였다.

점도의 측정

점도의 측정은 고무질을 첨가한 후 pH를 조절하고 30분간 수화하여 조제한 SPI(5% 농도) 시료용액을 가지고 25±0.1℃에서 증류수의 flow time이 248 sec인 Ostwald형 모세관 점도계(Cannon-Fenske No. 50)로써 측정하여 단백질 용액(5%)의 비점도(η_{sp})를 다음 식에 의하여 구하였다⁽⁶⁾.

$$\eta_{sp} = (t_s - t_0) / t_0$$

t_0 : 증류수의 flow time

t_s : 단백질 용액의 flow time

거품형성능 측정

시료의 거품형성능은 Phillips 등⁽⁷⁾의 방법에 준하여 Sunbeam Deluxe Mixmaster Mixer로써 측정하였다. 0.1, 0.2 및 0.3%의 농도별로 sodium alginate, gum karaya 및 gum arabic을 각각 첨가하고 pH를 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0으로 조정하여 분리대두 단백질용액(5% 농도)을 각각 50 ml씩 조제한 다음, 이렇게 조제한 시료용액을 1.5 l의 whipping용 용기에 넣어 double beater로써 98 rpm에서 5분 간격(5, 10, 15 및 20분)으로 합계 20분 동안 whipping하였으며 매 5분 경과 시마다 형성된 거품 100 ml의 무게를 각각 측정하였다. 거품형성능은 다음 식과 같이 % overrun으로 나타내었다.

$$\% \text{ overrun} = \frac{\text{단백질 용액 } 100 \text{ ml의 무게} - \text{거품 } 100 \text{ ml의 무게}}{\text{거품 } 100 \text{ ml의 무게}} \times 100$$

거품안정성 측정

거품의 안정성, 즉 drainage는 Phillips 등⁽¹¹⁾의 방법에 준하여 단백질 용액을 15분간 whipping한 후 측정하였다. 1.5 l의 whipping용 용기에 직경 0.6 cm의 구멍을 뚫어 사용하였으며 이 용기에 형성된 거품을 실온에 방치하였을 때 시간의 경과에 따라 구멍을 통하여 거품에서 분리되어 나온 액체의 무게를 digital balance(Mettler PC400)로써 측정하였다. 이 때 흘러 나온 액이 whipping 직후 전체 거품무게의 50%가 되는데 소요되는 시간을 측정하였다.

거품의 열안정성

거품의 열안정성은 Phillips 등⁽⁷⁾의 방법에 준하여 측정하였다. 5분 간격으로 합계 20분 동안 whipping하면서 매 5분 마다 petri dish(107.5 ml)에 단백질 시료의 거품을 채워 일정한 상대습도가 유지된 90℃의 oven에서 30분간 가열한 후 꺼내어 실온에서 30분간 냉각하였다. 이 때 petri dish에 남아 있는 거품의 높이와 직경을 측정하고 다음식을 이용하여 체적을 계산하였으며 가열 전의 체적(107.5 ml)에 대한 백분율로 나타내었다.

$$\text{체적(ml)} = \pi \times [\text{직경(cm)}/2]^2 \times \text{높이(cm)}$$

통계처리

데이터 분석은 SAS/PC⁽⁸⁾로 GLM(General Linear Model)을 사용하였으며 Duncan의 다중범위검정으로 처리하여 LSD(유의수준 0.05)를 구하였다.

결과 및 고찰

표면장력 및 점도

Table 1은 천연 다당류 고무질을 분리대두단백질(5%)에 첨가했을 때 pH, 고무질 종류 및 농도에 따른 표면장력을 나타낸 것이다.

표면장력을 보면, 분리대두단백질의 등전점(pH 4.5) 부근인 pH 4.0 및 5.0에서 대조구의 경우 각각 39.6 및 40.2 dyne/cm로써 pH 7.0 및 8.0에서 각각 41.8 및 40.8 dyne/cm보다 다소 낮았고 고무질을 첨가했을 때도 역시 pH 4.0 및 5.0 영역에서가 pH 7.0 및 8.0 영역에서보다 낮았으며, 고무질농도가 0.1, 0.2 및 0.3%로 증가함에 따라 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 전체적으로 보아 sodium alginate, gum karaya 및 gum arabic 등 고무질을 첨가한 것(39.9~46.9 dyne/cm)이 대조구(39.6 dyne/cm)보다 다소 높은 것으로 나타났다.

Mita 등⁽⁹⁾ 및 Graham과 Phillips⁽¹⁰⁾는 각각 gluten과 bovine serum albumin의 경우 그 등전점 부근에서 최소의 표면장력을 나타낸다고 하였다. Graham과 Phillips⁽¹¹⁾는 단백질의 경우 그 등전점에서 정전기적인 반발이 최소가 되어 표면장력을 감소시키기 때문에 단백질은 공기-물 계면에 빠르게 흡착되며 등전점 부근에서의 표면장력의 감소는 거품의 안정성을 증가시키게 된다고 하였다. Kitabadake와 Doi⁽¹²⁾는 단백질 용액의 표면장력은 거품형성능과 상관관계가 없으나 표면장력의 감소율은 거품형성능과 상관관계가 있다고 하였다.

Cooney⁽¹³⁾는 whey protein concentrate의 거품형성능은 등전점 부근인 pH 5.0에서보다 오히려 pH 8.0에서가 최적이었다고 하였으며 이것은 이 pH 영역에서 thiol-disulphide 교환반응이 일어나기 때문이라고 하였다.

본 실험에서는 등전점 부근인 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 표면장력이 다소 낮게 나타났으며 표면장력이 떨어질수록 거품형성능(Table 3)이 증가하

Table 1. Effects of pH and natural polysaccharide gums on the surface tension of SPI (5%)

pH	Treatment	Surface tension (dyne/cm)
4.0	SPI	39.6
	SPI & 0.1% sodium alginate	44.1
	SPI & 0.2% sodium alginate	43.7
	SPI & 0.3% sodium alginate	42.6
	SPI & 0.1% gum karaya	40.0
	SPI & 0.2% gum karaya	40.8
	SPI & 0.3% gum karaya	40.9
	SPI & 0.1% gum arabic	39.9
	SPI & 0.2% gum arabic	40.2
5.0	SPI	40.1
	SPI	40.2
	SPI & 0.1% sodium alginate	43.6
	SPI & 0.2% sodium alginate	43.5
	SPI & 0.3% sodium alginate	43.5
	SPI & 0.1% gum karaya	43.1
	SPI & 0.2% gum karaya	43.8
	SPI & 0.3% gum karaya	44.5
	SPI & 0.1% gum arabic	41.7
7.0	SPI	42.8
	SPI & 0.2% gum arabic	42.8
	SPI & 0.3% gum arabic	44.8
	SPI	41.8
	SPI & 0.1% sodium alginate	43.9
	SPI & 0.2% sodium alginate	44.2
	SPI & 0.3% sodium alginate	44.5
	SPI & 0.1% gum karaya	44.9
	SPI & 0.2% gum karaya	45.8
8.0	SPI & 0.3% gum karaya	46.4
	SPI & 0.1% gum arabic	44.2
	SPI & 0.2% gum arabic	44.8
	SPI & 0.3% gum arabic	44.5
	SPI	40.8
	SPI & 0.1% sodium alginate	44.6
	SPI & 0.2% sodium alginate	45.5
	SPI & 0.3% sodium alginate	45.9
	SPI & 0.1% gum karaya	45.2
SPI & 0.2% gum karaya	46.2	
SPI & 0.3% gum karaya	46.9	
SPI & 0.1% gum arabic	46.5	
SPI & 0.2% gum arabic	46.1	
SPI & 0.3% gum arabic	46.2	

는 경향을 나타내었다.

본 실험의 거품안정성 측정결과(Table 3)를 보면 대조구의 경우 등전점 부근인 pH 4.0 및 5.0에서 각각 66.8 및 53.4분으로써 pH 7.0 및 8.0에서 각각 20.4 및 19.7 분보다 훨씬 높은 것은 등전점 부근에서 표면장력이 최소로 되고 거품 안정성이 최대로 된다는 Mita 등¹¹⁾ 및 Waniska와 Kinsella 등¹²⁾의 보고와 일치하는 경향이며 또한 거품형성능도 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 높게 나타난 것으로 보아 낮은 표면장력에서 높은 거품형성능이 형성된다는 Kitabatake와 Doi¹³⁾의 연구 결과와도 일치하는 경향이다. 또한 고무질 첨가구

Table 2. Effects of pH and natural polysaccharide gums on the specific viscosity of SPI (5%)

pH	Treatment	Specific viscosity
7.0	SPI	2.2
	SPI & 0.1% sodium alginate	11.5
	SPI & 0.2% sodium alginate	42.9
	SPI & 0.3% sodium alginate	51.8
	SPI & 0.1% gum karaya	20.1
	SPI & 0.2% gum karaya	10.2
	SPI & 0.3% gum karaya	9.4
	SPI & 0.1% gum arabic	4.2
	SPI & 0.2% gum arabic	3.6
8.0	SPI & 0.3% gum arabic	3.7
	SPI	2.6
	SPI & 0.1% sodium alginate	10.1
	SPI & 0.2% sodium alginate	17.2
	SPI & 0.3% sodium alginate	51.2
	SPI & 0.1% gum karaya	18.2
	SPI & 0.2% gum karaya	19.5
	SPI & 0.3% gum karaya	20.0
	SPI & 0.1% gum arabic	4.7
SPI & 0.2% gum arabic	4.0	
SPI & 0.3% gum arabic	4.4	

에서도 거품형성능의 경우는 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 높았으며 표면장력은 낮았다. 그러나 거품안정성의 경우, 고무질 첨가구의 pH 5.0에서 비교적 높은 수치를 보였으나, 전체적으로 보아 gum karaya 첨가구를 제외하고는 표면장력이 비교적 낮은 pH 4.0 및 5.0에서가 표면장력이 다소 높은 pH 7.0 및 8.0에서보다 뚜렷하게 높게 나타나지는 않았다. 이와 같은 결과는 거품을 형성하는 공기-물 계면에서의 단백질-고무질 상호작용, 단백질-단백질 상호작용 및 고무질이 거품을 보호하는 특성 등이 고무질의 종류에 따라서 다르기 때문이라 추정된다.

Table 2는 고무질의 종류, 농도 및 pH에 따른 비점도를 측정된 결과이다. pH 7.0에서 sodium alginate를 0.2 및 0.3% 첨가시 각각 42.9 및 51.8이었고, pH 8.0에서 각각 17.2 및 51.2로써 대조구(pH 7.0, 2.2 ; pH 8.0, 2.6)에 비하여 크게 증가하였다. Gum karaya를 0.1, 0.2 및 0.3% 첨가시에도 pH 7.0에서 각각 20.1, 10.2 및 9.4, pH 8.0에서 각각 18.2, 19.5 및 20.0으로써 sodium alginate 첨가구에서 보다는 증가폭이 작으나 대조구에 비하여 크게 증가한 것으로 나타났다. 특히 sodium alginate를 첨가했을 때 점도가 크게 증가하는 것은 주로 sodium alginate 자체가 고점도(2% 용액, 14,000 cps)이기 때문이라고 추정되며, gum arabic과 같이 그 자체가 저점도인 고무질을 첨가시는 전체적으로 점도가 낮은 경향을 보여 주었다.

Bikerman¹⁴⁾은 단백질 용액의 점도는 거품의 안정성과 관계가 있으며, 분자의 크기, 형태, flexibility, 수화 정도 및 분자간의 상호작용 등에 의하여 나타나게 된다고

Table 3. Effects of pH and natural polysaccharide gums on the overrun and foam stability of SPI (5%) using 50 ml^l of protein solution

pH	Treatment	Overrun (%)				Foam stability (min)
		5 ¹⁾	10 ²⁾	15 ³⁾	20 ⁴⁾	
4.0	SPI	383.3	1449.7	1642.7	1713.0	66.8
	SPI & 0.1% sodium alginate	599.0	830.3	965.7	1022.7	37.0
	SPI & 0.2% sodium alginate	897.0	978.0	1036.3	1082.7	26.8
	SPI & 0.3% sodium alginate	1017.0	1290.3	1359.3	1409.0	22.7
	SPI & 0.1% gum karaya	1087.7	1548.0	1627.7	1694.3	35.4
	SPI & 0.2% gum karaya	1124.7	1514.0	1630.0	1748.0	37.6
	SPI & 0.3% gum karaya	841.7	1481.0	1614.7	1678.0	36.1
	SPI & 0.1% gum arabic	1061.3	1624.7	1689.7	1760.3	33.6
	SPI & 0.2% gum arabic	790.7	1417.0	1514.7	1633.0	41.1
5.0	SPI & 0.3% gum arabic	681.3	1494.7	1625.7	1730.7	35.3
	SPI	958.7	1349.3	1507.7	1595.7	53.4
	SPI & 0.1% sodium alginate	869.0	1188.3	1268.0	1318.0	79.4
	SPI & 0.2% sodium alginate	1115.0	1252.0	1285.7	1339.7	83.8
	SPI & 0.3% sodium alginate	1137.7	1272.7	1286.0	1329.3	76.3
	SPI & 0.1% gum karaya	1028.7	1314.0	1311.0	1341.3	50.5
	SPI & 0.2% gum karaya	904.7	1188.0	1213.3	1277.0	68.0
	SPI & 0.3% gum karaya	951.7	1175.7	1182.0	1253.0	70.3
	SPI & 0.1% gum arabic	1028.0	1419.3	1413.7	1479.7	41.5
7.0	SPI & 0.2% gum arabic	848.3	1342.7	1375.7	1392.7	48.2
	SPI & 0.3% gum arabic	915.7	1247.3	1245.7	1276.0	48.3
	SPI	973.3	1030.5	1073.7	1117.3	20.4
	SPI & 0.1% sodium alginate	753.0	941.0	1018.0	1072.0	58.9
	SPI & 0.2% sodium alginate	629.0	828.0	990.0	1042.7	104.7
	SPI & 0.3% sodium alginate	504.0	717.7	921.3	1002.3	104.6
	SPI & 0.1% gum karaya	822.7	854.7	870.0	879.0	23.2
	SPI & 0.2% gum karaya	777.7	793.7	804.7	811.7	25.4
	SPI & 0.3% gum karaya	762.7	782.3	795.7	807.0	28.5
8.0	SPI & 0.1% gum arabic	879.3	883.0	898.3	919.7	55.8
	SPI & 0.2% gum arabic	829.3	833.0	851.7	858.0	18.2
	SPI & 0.3% gum arabic	843.3	854.3	875.0	904.7	19.5
	SPI	977.0	1011.3	1050.7	1066.7	19.7
	SPI & 0.1% sodium alginate	700.0	867.7	962.3	1010.7	68.6
	SPI & 0.2% sodium alginate	587.0	687.7	884.3	992.7	81.8
	SPI & 0.3% sodium alginate	502.5	594.3	838.3	943.3	84.6
	SPI & 0.1% gum karaya	820.0	852.3	866.0	880.7	23.5
	SPI & 0.2% gum karaya	771.0	805.7	832.3	845.3	26.5
	SPI & 0.3% gum karaya	749.7	777.0	795.0	813.0	28.1
	SPI & 0.1% gum arabic	825.7	853.0	867.0	872.7	21.6
	SPI & 0.2% gum arabic	828.0	855.0	861.0	871.5	20.7
	SPI & 0.3% gum arabic	815.7	847.3	861.5	873.3	21.0

^{1),2),3),4)} Whipping time (min)

하였다.

본 실험의 pH 7.0 및 8.0에서 sodium alginate를 0.1, 0.2 및 0.3% 첨가했을 경우 점도가 높게 나타났으며 이 첨가구에서 거품의 안정성(Table 3)도 역시 크게 나타난 것으로 보아 점도와 거품안정성과는 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있다.

거품형성능

Table 3은 whipping 시간을 5, 10, 15 및 20분으로 했을 때의 pH, 고무질의 종류 및 농도에 따른 분리대

두단백질의 거품형성능(overrun)을 나타낸 것이다. Table 3의 15분 whipping의 경우 pH 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0에서 모두 첨가구에서가 대조구보다 overrun이 낮은 것으로 나타났다. Gum arabic을 0.1% 첨가했을 경우는 overrun이 1689.7%로써 대조구(1642.7%)보다 평균치는 다소 높았으나 양시료 간에는 유의차가 인정되지 않았다($p > 0.05$)(Fig. 3).

Whipping시간을 5분으로 했을 경우를 보면, pH 4.0영역에서 sodium alginate 0.3% 첨가구에서 1017.0%, gum karaya를 0.1 및 0.2% 첨가하였을 때 각각 1087.7 및

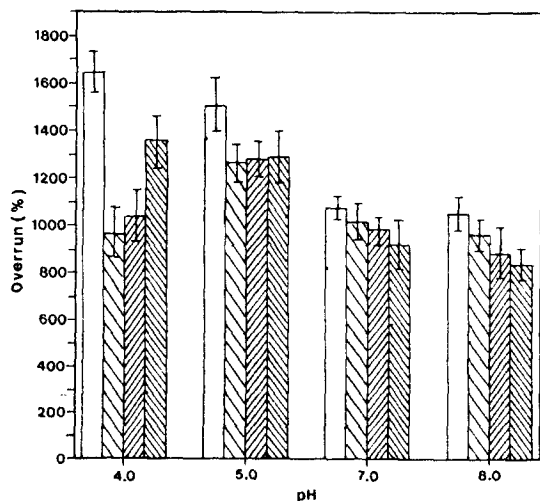


Fig. 1. Effects of pH and sodium alginate on the overrun of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).

□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

1124.7%, 그리고 gum arabic 0.1% 첨가하였을 때 1061.3%로 대조구(383.3%)에 비하여 크게 증가하였으며 전체적으로 고무질의 종류 및 농도에 따라 증가하여 599.0~1124.7%이었다. pH 5.0에서는 sodium alginate를 0.1 및 0.2% 첨가했을 때 각각 1115.0 및 1137.7%로 대조구(958.7%)에 비하여 크게 증가하였다. 또한 gum karaya 및 gum arabic을 각각 0.1% 첨가하였을 때도 각각 1028.7 및 1028.0%로 대조구보다 증가하였다. 그러나 pH 7.0 및 8.0에서는 모두 대조구보다 감소하였다.

10분 whipping했을 때는 pH 4.0에서 gum karaya를 0.1, 0.2 및 0.3% 첨가했을 때 각각 1548.0, 1514.0 및 1481.0%이었고 gum arabic을 0.1 및 0.3% 첨가했을 때 각각 1624.7 및 1494.7%로써 대조구(1449.7%)보다 증가하였으나 그 외는 감소하였으며 pH 5.0, 7.0 및 8.0에서는 대조구보다 전체적으로 감소하였다.

20분 whipping의 경우는 전체적으로 보아 pH 4.0에서 gum karaya를 0.2%, gum arabic을 0.1 및 0.3%를 첨가했을 때 1730.7~1760.3%로써 대조구(1713.0%)보다 다소 증가한 것을 제외하고는 pH 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0 모두에서 overrun이 대조구보다 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 1은 pH 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0에서 sodium alginate를 0.1, 0.2 및 0.3% 첨가하여 15분간 whipping하였을 때 overrun의 변화를 나타낸 것이다. pH 4.0, 5.0, 7.0 및 8.0에서 모두, 대조구보다 고무질 첨가에서 overrun이 떨어지는 것으로 나타났으며, 특히 pH 7.0 및 8.0에서는 고무질 농도가 증가할수록 점차적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다.

Fig. 2는 gum karaya를 pH 및 농도별로 분리대두단

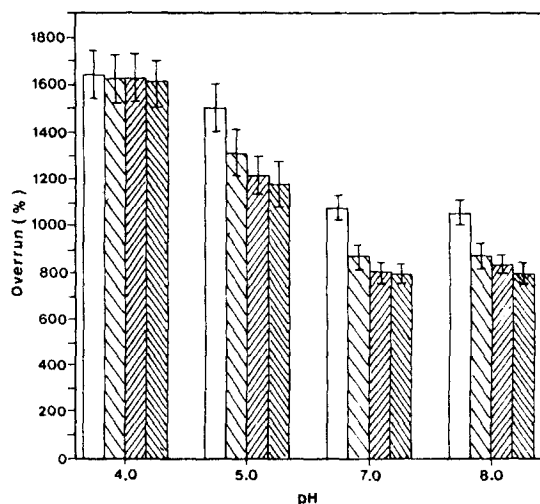


Fig. 2. Effects of pH and gum karaya on the overrun of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).

□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

백질에 첨가하였을 때 거품형성능의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 보아 overrun은 첨가구에서가 대조구에서보다 떨어지는 경향이나 pH 4.0의 경우는 모두 대조구와 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$).

Fig. 3은 gum arabic을 첨가했을 때의 overrun의 변화를 나타낸 것이다. pH 4.0에서 0.1% 첨가시 1689.7%로써 대조구(1642.7%)에서보다 평균치는 다소 높게 나타났다으나 양 시료간에는 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 전체적으로 보아 대두단백질의 등전점(pH 4.5) 부근인 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 overrun이 높았으며 첨가농도에 따른 큰 차이는 나타나지 않았다. 이와 같이 단백질의 등전점 부근에서 overrun이 높은 것은 등전점 부근에서 단백질의 net하전량이 거의 이동하지 않아 정전기적 반발이 낮게 되므로써 단백질이 공기-물 계면에 빠르게 흡착될 수 있기 때문이라 생각된다.

pH, 고무질 종류 및 농도, whipping 시간 등을 종합적으로 고려해 볼 때, pH 4.0 및 5.0에서 5분 whipping의 경우를 제외하면, 전체적으로 고무질의 첨가는 분리대두단백질의 거품형성능을 향상시키지 않고 오히려 감소시키는 결과를 보여주었다.

Poole 등¹¹⁾에 의하면 sucrose는 β -lactoglobulin(β -Lg)의 overrun을 감소시키나 염가성 단백질인 lysozyme과 병용하면 β -Lg의 overrun을 크게 향상시키는 상승작용이 있으며 overrun을 감소시키는 것은 sucrose가 단백질의 unfolding 및 단백질-단백질 상호작용을 제한하기 때문이라고 하였다.

단백질의 거품형성능은 단백질 분자들이 공기-물 계면에 확산되어 흡착되는 정도 및 표면변성에 의하여

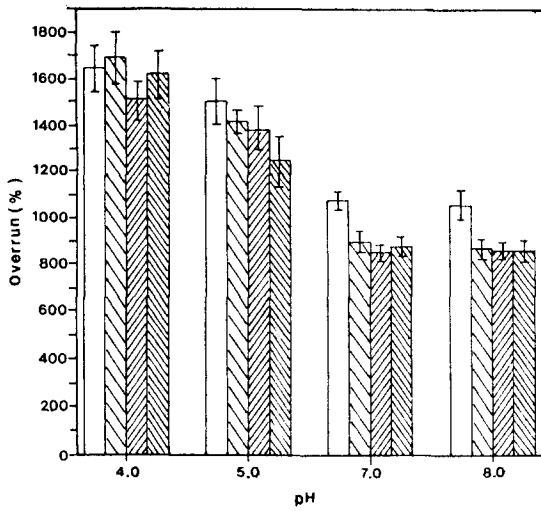


Fig. 3. Effects of pH and gum arabic on the overrun of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).
□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

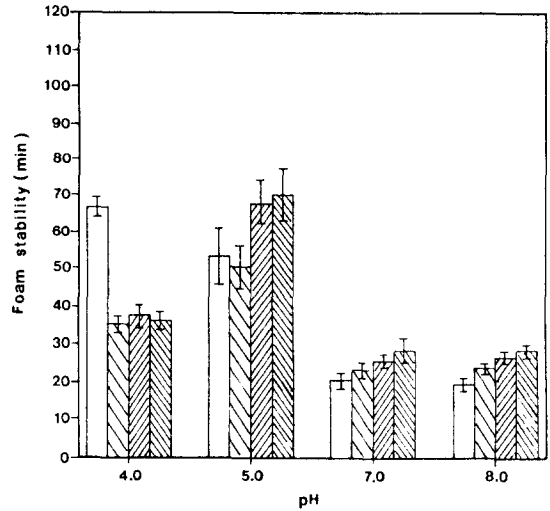


Fig. 5. Effects of pH and gum karaya on the foam stability of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).
□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

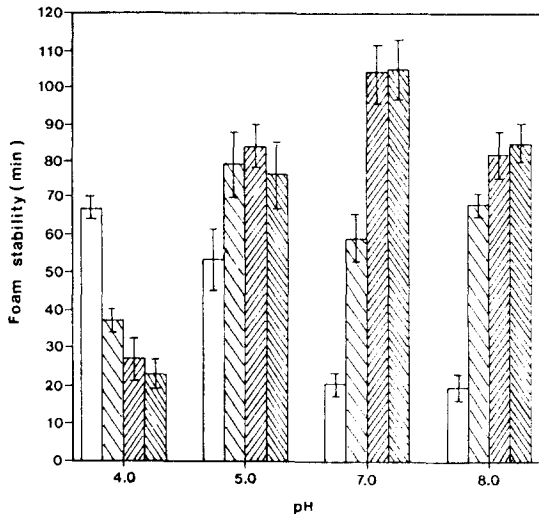


Fig. 4. Effects of pH and sodium alginate on the foam stability of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).
□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

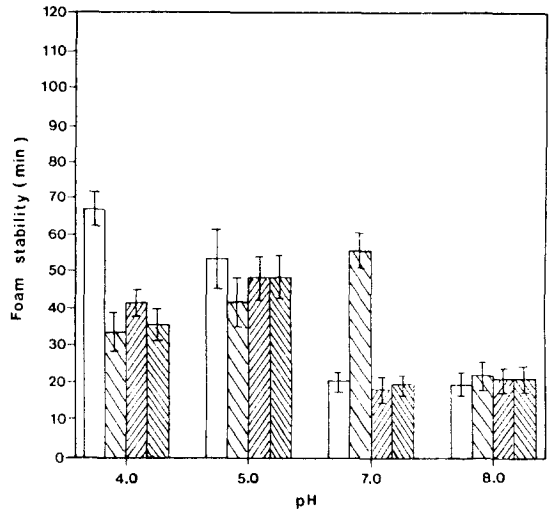


Fig. 6. Effects of pH and gum arabic on the foam stability of soy protein isolate (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).
□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

달라지며 단백질의 분자량, 표면 hydrophobicity 및 분자내부의 결합상태 등에 따라서 영향을 받게 된다¹⁶⁾. 본 실험에서 고무질을 첨가하므로써 전체적으로 단백질의 overrun이 감소하는 것은 첨가한 고무질이 단백질과 상호작용하여 단백질의 응집을 조장하고 단백질의 표면 변성을 지연시키므로써 공기-물 계면에 단백질 film이 형성되는 것이 용이하지 않게 되기 때문이라고 생각된다.

거품안정성

Sodium alginate를 농도별로 단백질에 첨가하였을 때 pH 변화에 따른 거품의 안정성은 Fig.4에 나타내었다. Sodium alginate를 첨가하였을 때 pH 4.0의 경우를 제외한 나머지 모든 pH 영역에서 안정성이 증진되는 것으로 나타났다(p<0.05). 특히 pH 7.0에서는, sodium alginate를 0.1, 0.2 및 0.3% 첨가하였을 때 각각 58.9, 104.7

Table 4. Effects of pH and natural polysaccharide gums on the heat stability of the foam of SPI (5%) using 50 ml of protein solution

pH	Treatment	Heat stability of the foam (%)			
		5 ¹⁾	10 ²⁾	15 ³⁾	20 ⁴⁾
4.0	SPI	57.8	33.8	30.2	27.6
	SPI & 0.1% sodium alginate	57.5	47.3	30.5	2.8
	SPI & 0.2% sodium alginate	2.9	0.0	0.0	0.0
	SPI & 0.3% sodium alginate	2.3	0.0	0.0	0.0
	SPI & 0.1% gum karaya	61.8	38.1	38.0	35.0
	SPI & 0.2% gum karaya	65.8	40.7	16.5	16.5
	SPI & 0.3% gum karaya	60.3	13.6	6.0	5.2
	SPI & 0.1% gum arabic	39.0	19.7	0.0	0.0
	SPI & 0.2% gum arabic	55.4	30.3	8.9	8.7
	SPI & 0.3% gum arabic	65.4	50.4	5.6	6.0
5.0	SPI	45.0	23.9	23.7	18.8
	SPI & 0.1% sodium alginate	67.6	51.3	42.1	36.8
	SPI & 0.2% sodium alginate	58.7	48.9	45.7	44.8
	SPI & 0.3% sodium alginate	81.3	70.9	57.0	54.0
	SPI & 0.1% gum karaya	65.0	42.4	30.0	27.9
	SPI & 0.2% gum karaya	55.9	48.5	27.9	27.2
	SPI & 0.3% gum karaya	61.1	32.1	25.8	40.7
	SPI & 0.1% gum arabic	39.8	25.8	25.0	19.6
	SPI & 0.2% gum arabic	57.2	36.9	28.9	25.8
	SPI & 0.3% gum arabic	44.2	20.9	0.0	0.0
7.0	SPI	42.6	43.9	39.6	33.5
	SPI & 0.1% sodium alginate	55.3	55.8	51.1	51.5
	SPI & 0.2% sodium alginate	60.1	60.5	57.0	56.4
	SPI & 0.3% sodium alginate	62.8	59.7	59.4	59.6
	SPI & 0.1% gum karaya	40.0	41.9	38.7	39.0
	SPI & 0.2% gum karaya	46.5	43.9	43.8	40.0
	SPI & 0.3% gum karaya	0.0	0.0	0.0	0.0
	SPI & 0.1% gum arabic	38.0	38.6	36.6	38.0
	SPI & 0.2% gum arabic	36.9	40.4	36.0	42.4
	SPI & 0.3% gum arabic	37.2	37.0	37.3	36.0
8.0	SPI	46.4	45.8	43.6	37.8
	SPI & 0.1% sodium alginate	52.5	52.8	50.4	50.0
	SPI & 0.2% sodium alginate	67.4	63.6	56.9	55.5
	SPI & 0.3% sodium alginate	63.7	62.4	58.4	57.5
	SPI & 0.1% gum karaya	43.2	45.9	43.6	43.4
	SPI & 0.2% gum karaya	45.8	46.4	46.7	43.1
	SPI & 0.3% gum karaya	43.6	41.9	43.9	39.7
	SPI & 0.1% gum arabic	45.7	44.4	45.8	42.1
	SPI & 0.2% gum arabic	41.0	40.4	36.6	38.0
	SPI & 0.3% gum arabic	43.3	43.7	42.8	42.9

1)2)3)4) Whipping time (min)

및 104.6분으로써 대조구(20.4분)보다 각각 188.7, 413.2 및 412.7%로 크게 증진하였다. pH 8.0의 경우를 보면 0.1, 0.2 및 0.3%로 첨가농도가 증가됨에 따라 각각 68.6, 81.8 및 84.6분으로써 대조구(19.7분)의 각각 248.2, 315.2 및 329.4% 증가하였다. 한편 pH 7.0 및 8.0에서, sodium alginate를 0.2 및 0.3% 첨가한 시료에서는 상호 유의차가 없는 것($p>0.05$)으로 보아 거품의 안정성을 위한 sodium alginate의 첨가농도는 0.2%가 알맞다고 볼 수 있다.

Fig. 5는 gum karaya를 농도별로 첨가하였을 때 pH

변화에 따른 거품안정성을 나타낸 것이다. pH 4.0 영역을 제외하고는 그 외의 모든 pH 영역에서 전체적으로 증대되는 경향을 나타내었다. pH 5.0 영역에서 gum karaya를 0.2 및 0.3% 첨가시 각각 68.0 및 70.3분으로써 대조구(53.4분)보다 증가하였으며 농도에 따른 양 시료 간의 유의차는 인정되지 않았다($p>0.05$). pH 7.0 및 8.0에서 모두 0.1% 첨가구와 대조구와는 유의차가 없었으며 ($p>0.05$) 또한 0.1% 첨가구와 0.2% 첨가구 및 0.2% 첨가구와 0.3% 첨가구는 모두 서로 유의차가 없었다($p>0.05$). 그러나 0.2% 첨가구와 대조구 사이에는 유의차가

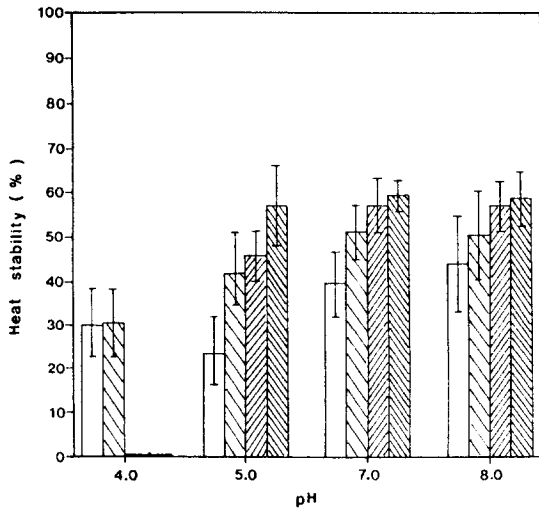


Fig. 7. Effects of pH and sodium alginate on the heat stability of soy protein isolate foam (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).

□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

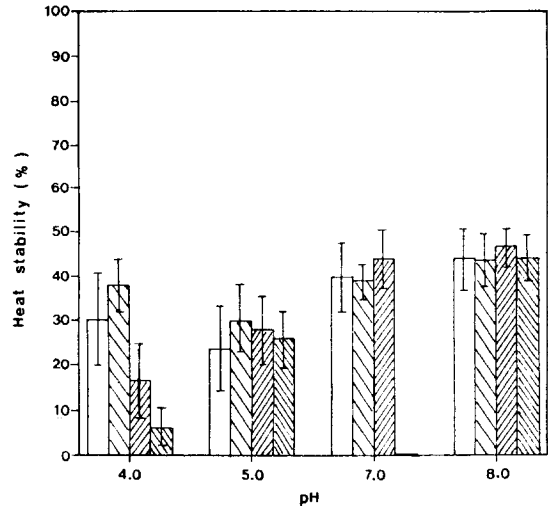


Fig. 8. Effects of pH and gum karaya on the heat stability of soy protein isolate foam (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).

□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

인정되었다($p < 0.05$). 따라서 gum karaya 역시 0.2% 첨가하는 것이 거품의 안정성을 위한 최적의 농도 조건이라 볼 수 있다.

Fig. 6은 gum arabic을 0.1, 0.2 및 0.3%의 농도별로 단백질에 첨가하였을 경우 pH의 변화에 따른 거품의 안정성을 나타낸 것이다. 전체적으로 보아 pH 7.0에서 0.1% 첨가구의 경우 55.8분으로써 대조구(20.4분)에서 보다 173.5% 증가한 것을 제외하고는 뚜렷한 첨가효과는 나타나지 않았다.

Glicksman⁽¹⁷⁾은 carrageenan, sodium alginate 및 locust bean gum과 같은 친수성 콜로이드는 공기-물 계면의 단백질 film을 안정화하는데 관여하며 안정한 거품성을 가진 제품을 만드는데 효과가 있다고 하였다. Poole 등⁽¹⁶⁾은 공기-물 계면에서 단백질 film의 강도는 흡착된 단백질의 함량과 부분적으로 unfolding된 분자들이 회합할 수 있는 능력에 따라 달라진다고 하였으며 단백질의 표면 변성에 의하여 단백질 분자들의 결합을 증진시키는 반응 group들을 노출시키게 된다고 하였다. Graham과 Phillips⁽¹¹⁾는 단백질의 거품안정성은 등전점에서 최대이지만 단백질이 불용성으로 되어 응고하게 되면 그 안정성은 감소하게 된다고 하였다. 본 실험에서도 대조구의 경우는 등전점 부근인 pH 4.0 및 5.0의 경우 각각 66.8 및 53.4분으로써 pH 7.0 및 8.0의 각각 20.4 및 19.7분보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

Phillips 등⁽⁷⁾은 β -lactoglobulin(β -Lg)과 whey protein isolate(WPI)의 거품성에 관한 연구에서 β -Lg와 WPI에 sucrose를 작용시키는 경우 clupeine 및 lysozyme과 병용하면 거품형성능과 거품안정성이 크게 증진되나 suc-

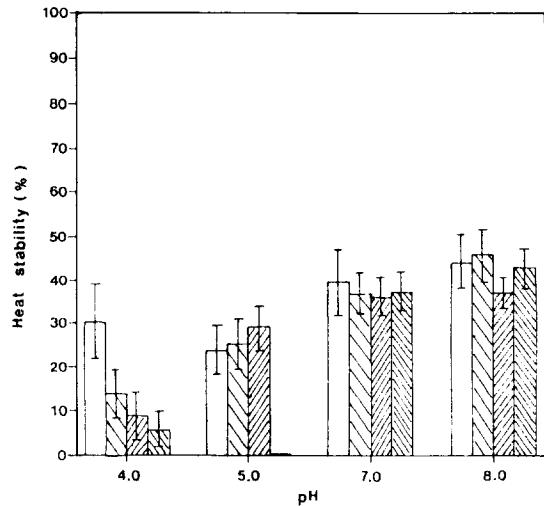


Fig. 9. Effects of pH and gum arabic on the heat stability of soy protein isolate foam (5% conc) whipped for 15 min (with 95% confidence intervals).

□; 0%, ▨; 0.1%, ▩; 0.2%, ▪; 0.3%

rose만을 사용하면 효과가 없었다고 하였다.

본 연구에서는 sodium alginate를 농도별로 첨가했을 때 pH 4.0 영역을 제외하고는 거품안정성이 크게 증진된 것으로 나타났으며 특히 pH 7.0 및 8.0 영역에서 그 효과가 현저하였다. Gum karaya 첨가구 역시 pH 4.0을 제외하고 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 gum arabic을 첨가했을 경우는 전 pH 영역을 통하여 전체적으로 효과가 없는 것으로 나타났다. Glicksman⁽¹⁷⁾은

대부분의 고무질들은 1~5%의 낮은 농도에서 높은 점성을 나타내나 gum arabic의 경우는 점성이 높지 않으며 높은 점성은 40~50% 이상의 고농도일 때만 가능하다고 하였다. 따라서 본 실험에서 sodium alginate를 첨가하였을 때, 특히 안정성이 높은 것은 주로 sodium alginate가 높은 점도(2%용액, 약 14,000 cps)를 가지고 있기 때문이라고 생각되며, gum karaya(2% 용액, 약 4,000 cps)도 sodium alginate보다는 첨가효과가 크게 떨어졌으나 효과가 있었다. 그러나 gum arabic의 경우는 전혀 효과가 없는 것으로 나타났다.

거품의 열안정성

Table 4는 pH, 고무질의 종류 및 농도에 따른 분리대두단백질의 거품의 열안정성을 나타낸 것이며 Fig. 7은 sodium alginate를 농도별로 첨가하여 15분간 whipping하였을 때 pH의 변화에 따른 거품의 열안정성을 나타낸 것이다.

pH 4.0 영역을 제외하고 pH 5.0, 7.0 및 8.0 영역에서 모두 첨가 효과가 있는 것으로 나타났다. pH 5.0의 경우, 0.1% 첨가구와 0.2% 첨가구 사이에는 유의차가 없었으나 ($p > 0.05$) 대조구와 0.1% 첨가구 및 0.2% 첨가구와 0.3% 첨가구 사이에는 유의차가 있었다($p < 0.05$). pH 7.0 및 8.0의 경우 두 pH 영역 모두 대조구와 0.1% 첨가구 및 0.1와 0.2% 첨가구 사이에는 유의차가 있었다($p < 0.05$). 그러나 0.2와 0.3% 첨가구 사이에는 유의차가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$).

Fig. 8은 gum karaya를 첨가하였을 경우의 pH 변화에 따른 거품의 열안정성을 나타낸 것이다. pH 4.0에서 0.1% 첨가시는 다소 증가하였으나 0.2 및 0.3% 첨가시는 감소하였다. pH 5.0에서는 역시 0.1% 첨가시보다 그 증가폭이 적었으며 각각 대조구와는 서로 유의차가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$). pH 7.0 및 8.0에서는 모두 각각 대조구와 유의차가 없었다($p > 0.05$).

Fig. 9는 gum arabic을 첨가하였을 때 열안정성의 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 보아 고무질첨가에 따른 열안정성의 뚜렷한 증가 효과는 나타나지 않았다.

Fig. 4~9를 전체적으로 볼 때 거품의 안정성이 양호한 첨가구는 열안정성도 양호한 경향을 보여주고 있다.

Phillips 등⁽⁷⁾은 2.5% β -Lg의 거품은 열안정성이 별로 없었으나 2.5% β -Lg에 lysozyme을 각각 0.25 및 0.50% 첨가하였을 때는 거품의 열안정성이 증진되었는데 이는 단백질-단백질 상호작용에 의하여 보다 강하고 탄력이 있는 단백질 film이 공기-물 계면에 형성되기 때문이라고 하였다. 또한 Poole 등⁽⁶⁾은 sucrose는 가열과정 중 응집하지 않고 단백질 film에 작용하여 보다 양호한 network을 형성하게 한다고 하였다. 한편 Phillips 등⁽⁸⁾은 WPI 용액에 Na_2SO_4 , NaCl 및 NaSCN 등의 중성염을 작용시켜 거품을 형성하였을 때, 열처리가 WPI 거품의 안정성에 미치는 효과를 보면 1M의 Na_2SO_4 및 NaCl을 첨가하였을 때 대조구에 비하여 각각 83 및 26% 증가

하여 효과가 있었으나 1M NaSCN의 경우는 오히려 23% 감소하였다고 보고하였다.

본 실험에서는 sodium alginate를 첨가하였을 경우 특히 거품의 열안정성이 증진되었으며 이는 sodium alginate의 높은 점성으로 인하여 일단 형성된 거품은 열에 견딜 수 있는 독특한 단백질의 film을 형성하게 되기 때문이라고 생각된다.

요 약

천연 다당류 고무질을 식품에 확대 이용하고자, sodium alginate, gum karaya 및 gum arabic을 가지고 pH 및 농도별로 SPI에 작용시켜 거품특성을 실험하였다.

표면장력은 3종의 고무질을 농도별로 첨가시 전체적으로 SPI의 등전점(pH 4.5) 부근인 pH 4.0 및 5.0에서 각각 39.9~44.1 및 41.7~44.8 dyne/cm이었고, pH 7.0 및 8.0에서는 각각 43.9~46.4 및 44.6~46.9 dyne/cm로써 전체적으로 대조구보다 다소 높았으며 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 다소 낮았다.

비점도는 pH 7.0 및 8.0에서 전체를 통하여 각각 3.6~51.8 및 4.0~51.2이었으며, 특히 sodium alginate를 농도별로 첨가 시 pH 7.0 및 8.0에서 각각 11.5~51.8 및 10.1~51.2로써 대조구에 비하여 크게 증가하였다.

거품형성능(overrun)은 15분 whipping시, 고무질의 종류 및 농도에 따라 pH 4.0 및 5.0에서 각각 965.7~1689.0 및 1182~1413%이었고, pH 7.0 및 8.0에서 각각 804.7~1018.0 및 795.0~962.3%로써 전체적으로 대조구보다 낮았으며 pH 4.0 및 5.0에서가 pH 7.0 및 8.0에서보다 높았다.

거품안정성(drainage)은 고무질 종류 및 농도에 따라 pH 4.0(대조구, 66.8분) 및 5.0(대조구, 53.4분)에서 각각 22.7~41.1 및 41.5~83.8분이었고, pH 7.0(대조구, 20.4분) 및 8.0(대조구, 19.7분)에서 각각 18.2~104.7 및 21.0~84.6분이었으며, 특히 sodium alginate 첨가시 효과가 현저하였으며 0.2% 첨가시 pH 5.0, 7.0 및 8.0에서 각각 대조구의 57, 413 및 315% 증진되었다.

거품의 열안정성은 15분 whipping시, pH 4.0(대조구, 30.2%) 및 5.0(대조구, 23.7%)에서 각각 0~38.0 및 0~57.0%이었고 pH 7.0(대조구, 39.6%) 및 8.0(대조구, 43.6%)에서 각각 0~59.4 및 36.6~58.4%이었으며 sodium alginate 첨가시가 가장 양호하였다.

전체적으로 보아 거품안정성이 높은 것은 열안정성도 높은 경향이며, 표면장력이 낮으면 거품형성능이 높아지고, 비점도가 높으면 거품안정성 및 열안정성이 높아지는 경향이 있었다.

문 헌

1. Stainsby, G.: Foaming and emulsification. In *Functional Properties of Food Macromolecules*. Mitchell, J.R.

- and Ledward, D.A.(ed), Elsevier Applied Science Publishers, p.315(1986)
2. Tolstoguzov, V.B.: Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In *Functional Properties of Food Macromolecules*. Mitchell, J.R. and Ledward, D.A. (ed), Elsevier Applied Science Publishers, p.385(1986)
 3. Waniska, R.D. and Kinsella, J.E.: Foaming properties of proteins: Evaluation of a column aeration apparatus with ovalbumin. *J. Food Sci.*, **44**, 1938(1979)
 4. Phillips, L.G., Haque, Z. and Kinsella, J.E.: A method for the measurement of foam formation and stability. *J. Food Sci.*, **52**, 1074(1987)
 5. Konstance, R.P. and Strange, E.D.: Solubility and viscous properties of casein and caseinates. *J. Food Sci.*, **56**, 556(1991)
 6. Bradbury, J.H.: Viscosity. In *Physical Principles and Techniques of Protein Chemistry*. Leach, S.J.(ed), Academic Press, New York, Part B. p.204(1970)
 7. Philips, L.G., Yang, S.T., Schulman, W. and Kinsella, J.E.: Effects of lysozyme, clupeine, and sucrose on the foaming properties of whey protein isolate and β -lactoglobulin. *J. Food Sci.*, **54**, 743(1989)
 8. SAS: *SAS User's Guide*. SAS Institute, Inc., Cary, NC (1985)
 9. Mita, T., Nikai, K., Hiraoka, T., Matsuo, S. and Matsumoto, H.: Physicochemical studies on wheat protein foams. *J. Colloid Interface Sci.*, **59**, 172(1977)
 10. Graham, D.E. and Phillips, M.C.: Proteins at liquid interfaces I. Kinetics of adsorption and surface denaturation. *J. Colloid Interface Sci.*, **70**, 403(1979)
 11. Graham, D.E. and Phillips, M.C.: The conformation of proteins at the air-water interface and their role in stabilizing foams. In *Foams*. Akers, R.J.(ed), Academic Press, London, New York & San Francisco, p.237 (1976)
 12. Kitabatake, N. and Doi, E.: Surface tension and foaming of protein solutions. *J. Food Sci.*, **47**, 1218(1982)
 13. Cooney, C.M.: A study of foam formation by whey proteins. *Ph. D. Thesis*, University of Minnesota(1974)
 14. Bikerman, J.J.: *Foams*. Springer-Verlag, Berlin(1973)
 15. Poole, S., West, S. and Fry, J.: Effects of basic proteins on the denaturation and heat gelation of acidic proteins. *Food Hydrocolloids* **1**, 301(1987)
 16. Poole, S., West, S. and Fry, J.: High-performance protein foaming and gelation systems. In *Developments in Food Proteins-5*. Hudson, B.J.F.(ed), Elsevier Applied Science, p.257(1987)
 17. Glicksman, M.: Functional properties of hydrocolloid. In *Food Hydrocolloids* Vol. I. Glicksman, M.(ed), CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, p.47(1982)
 18. Phillips, L.G., Yang, S.T. and Kinsella, J.E.: Neutral salt effects on stability of whey protein isolate foams. *J. Food Sci.*, **56**, 588(1991)
-
- (1991년 11월 13일 접수)