

분리대두단백의 첨가에 따른 영양음료 Base의 Rheology 특성 변화

신제호* · 서종교 · 이석기 · 심재현 · 김상교 · 백영진
(주)한국 야쿠르트 중앙 연구소

The Change of Rheological Properties of Nutritional Beverage Base by the Soy Protein Isolate

Je-Ho Shin, Jong-Kyo Seo, Seok-Ki Lee, Jae-Hun Sim, Sang-Kyo Kim and Young-Jin Baek
R & D Center, Korea Yakult Co., Ltd.

Abstract

In this study we prepared 5 types of nutritional beverage base samples containing various ratios of soy protein isolate (SPI) and sodium caseinate as protein source. The rheological properties of each sample were measured and the results were as follows; Samples changed their rheological properties with the ratio of SPI. Samples represented newtonian property with low ratio of SPI, pseudoplastic property with the increment of SPI, and bingham pseudoplastic property with higher increment of SPI (80% as protein source). In this result we conjectured that the more was the SPI, the more was the formation of progel during heat treatment, which could be the reason of the rheological changes. In the test of the relationship between temperature and apparent viscosity, apparent viscosity of samples decreased along with the increment of temperature. In observing the relationship between time and apparent viscosity, we found sample, containing high ratio of SPI (80%), represented thixotropic property clearly with the hysteresis loop.

Key words: soy protein isolate, sodium caseinate, progel, thixotropic property, hysteresis loop

서 론

대두는 양질의 단백질과 지방질은 물론 다양한 생리활성 물질을 포함하고 있으며 특히 대두 유래의 saponin, phytic acid, fiber, 난소화성 단백질등이 담즙산 배설증가, 콜레스테롤 대사조절, 내분비계 조절작용 등을 통하여 혈중 콜레스테롤 함량을 낮추는 효과가 있다⁽¹⁾. 또한 대두 단백질에 의한 LDL-receptor 활성 증가도 혈중 콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 저하에 기여한다고 평가되고 있다⁽²⁾. 대두는 산업적으로 주로 대두유 제조에 사용되며 부산물로 생산되는 탈지 대두박은 대부분이 사료로 이용되고 있다⁽³⁾. 탈지 대두박은 일반적으로 탈지 대두분으로 가공되고 이외에 농축 또는 분리대두단백(soy protein isolate, SPI) 등으로 제조되고 있다. SPI는 탈지 대두유에 희석한 알칼리용액(pH 7~9)을 가한 후 상온에서 분리하며⁽⁴⁾ 생산비가 저렴하고 단백질의 가공성 및 기능성을 모두 가

지고 있다. 따라서 축육제품, 수산제품, 인조육, 제과, 제빵 등 가공식품의 품질개량 및 원가절감을 위하여 사용되고 있는 단백질 소재이나 그 사용량이 적어 계속적인 활용방법이 요구되고 있다. 한편 영양음료는 현행 식품공전상⁽⁵⁾ 특수 영양 식품으로 분류되며 영·유아, 병약자, 노약자, 체중감량대상자 또는 임신부 등을 위한 용도에 제공할 목적으로 식품원료에 영양소를 가감시키거나 식품과 영양소를 배합하는 것 등의 방법으로 제조, 가공된 것을 의미한다. 이러한 개념의 음료는 현재 미국과 일본에서 기능성 음료로서 시장이 정착되고 있으며 국내에서도 제품시장이 형성되어 있다. 현재까지 SPI를 이용한 식품에 관한 연구는 주로 두부의 제조에 관한 연구^(6,7), 인조육으로의 개발⁽⁸⁾ 등이 있으나 SPI를 이용한 음료의 제조에 관한 연구는 많지 않으며 특히 SPI를 이용한 영양음료의 유동 특성변화에 관한 연구는 전무하다.

본 실험은 영양 음료 base에서 단백질 급원으로 sodium caseinate의 일정량을 SPI로 대체할 때 나타나는 유동특성 변화를 관찰하여 영양음료의 가공 및 개발에 기초자료로 사용하기 위하여 수행하였다.

Corresponding author: Je-Ho Shin, R & D Center, Korea Yakult Co., Ltd., 418-12, Komae-ri, kiheung-eup, Yongin-si, Kyunggi-do 449-900, Korea

재료 및 방법

시료 제조

3대 영양소가 고르게 배합된 영양음료 base를 Fig. 1과 같은 공정으로 제조하였다. 기본 배합은 Table 1과 같으며 단백질 급원으로서 sodium caseinate (EM 7, DMV International, Co., The Netherlands)은 단백질 90.0%, 수분 5.0%, 지방 0.8%, 회분 4%, 유당 0.2%인 것을 사용하였으며, SPI (SUPRO PLUS 651, Protein Technologies International, Co., U.S.A.)는 단백질 80.0%, 수분 6.0%, 지방 1%, 회분 12%, 기타 1%인 것을 사용하였다. 지방 급원으로서 옥수수유(신동방)를 사용하였다. 탄수화물의 주요 급원으로 말토덱스트린 (maltodextrin, 제네덱스, 삼양테크힐)은 D.E. 14~20인 것과 정백당(제일제당)을 사용하였다. 사용한 용기는 한일제관에서 제공한(202 X 411; 내경 52.3 mm, 높이 104.3 mm) 철제 캔이었다. 시료는 각각 200 mL씩 캔에 분주하여 제조하였다. 본 실험은 단백질 급원으로서 SPI와 sodium caseinate를 혼합비를 달리하여 5종의 시료를 제작하였으며 A, B, C, D, E (각 시료의 단백질 급원중 SPI함량 0, 20, 40, 60, 80%)로 명하였다. 혼합비율은 Table 2와 같다.

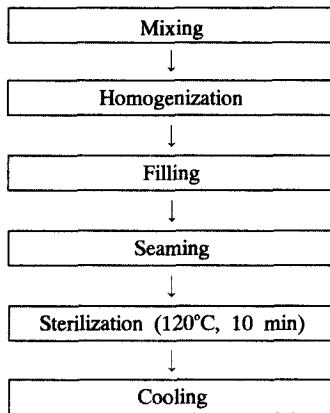


Fig. 1. The manufacturing process of nutritional beverage base.

Table 1. Basic recipe of nutritional beverage base

Ingredients	%
SPI · sodium caseinate	3.55
Maltodextrin	12.0
Sucrose	3.30
Corn oil	2.10
Emulsifier · stabilizer	0.20
Water	78.85

Table 2. The ratio of protein sources at each sample

Sample	SPI: sodium caseinate
A	0:100
B	20:80
C	40:60
D	60:40
E	80:20

유동특성의 측정

각 시료의 유동 특성은 원통형 점도계(Haake Viscometer VT500, Germany)에 NV probe를 사용하여 측정하였다. 일반적인 유동특성 측정을 위하여 10 mL의 시료를 20°C에서 전단속도를 0 sec⁻¹에서 500 sec⁻¹까지 변화시키면서 전단응력을 측정하였다⁽¹⁰⁻¹¹⁾. 온도의존 특성을 살펴보기 위하여 시료를 20, 30, 40°C의 각 온도에서 전단속도를 0 sec⁻¹에서 500 sec⁻¹까지 변화시키면서 전단속도가 250 sec⁻¹일 때 겔보기점도를 측정하였다. 시간의존 특성을 관찰하기 위하여 일정 전단속도(500 sec⁻¹) 하에서 시료의 전단응력을 측정하였다. 또한 thixotrophy (의액성)특성을 파악하기 위하여 전단속도를 0 sec⁻¹에서 1000 sec⁻¹까지 증가시켰다가 다시 1000 sec⁻¹에서 0 sec⁻¹까지 연속적으로 감소시키면서 변화하는 전단응력을 측정하였다⁽¹²⁾.

유동 특성값의 계산

Casson model⁽¹⁾을 이용하여 시료의 항복력을 구하였으며, Herschel-Bulkley model⁽²⁾을 이용, 비선형 최소자승법으로⁽¹⁴⁾ 점조성지수(K, consistency index, Pa·s⁻ⁿ)와 유동지수(n, flow behavior index)를 구하여 해석하였다. 시료의 유동특성에 대한 온도의 영향은 (3)⁽¹⁵⁾을 이용하여 분석하였다^(11,16).

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{C} + K\sqrt{\dot{\gamma}} \tag{1}$$

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

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \cdot \exp(Ea/RT) \tag{3}$$

τ : 전단응력(shear stress, Pa)

$\dot{\gamma}$: 전단속도(shear rate, sec⁻¹)

C : 항복력(yield stress, Pa)

K, K₁ : 점조도 지수(consistency index, Pa·s⁻ⁿ)

η_{app} : 겔보기 점도(apparent viscosity, Pa·s)

η_{∞} : 무한 겔보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa·s)

Ea : 활성화 에너지(activation energy, kJ/kg·mol)

R : 기체상수(gas constant, kJ/kg·mol·K)

T : 절대온도(absolute temperature, K)

결과 및 고찰

유동 특성

전단속도를 0 sec^{-1} 에서 500 sec^{-1} 까지 변화시키면서 영양 음료 base의 전단응력을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 전반적으로 SPI의 첨가량이 많아질수록 전단속도가 증가함에 따라 전단응력이 높아지는 경향이 나타났다. 특히 단백질 급원중 SPI의 함량이 단백질 급원의 40%를 초과하는 시료(D, E)는 다른시료에 비

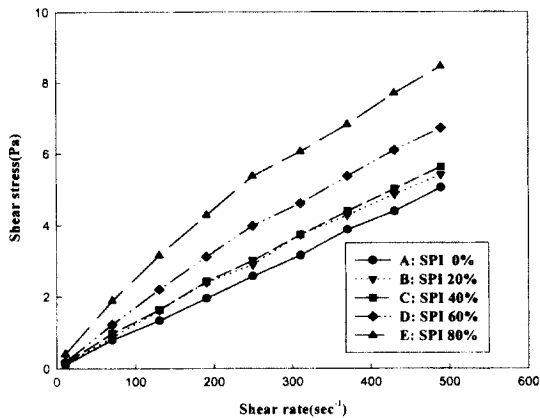


Fig. 2. Shear stress vs. shear rate of nutritional beverage bases at 20°C.

Table 3. Rheological parameters of nutritional beverage bases

Samples	Temp. °C	Herschel-Bulkley model			Casson model
		K(Pa · s ⁻ⁿ)	n	r ¹⁾	C(Pa)
A ²⁾	20	0.0157	1.0001	0.99	0.0142
	30	0.0096	0.9530	0.99	0.0088
	40	0.0078	0.9377	0.99	0.0078
B ³⁾	20	0.0218	0.9577	0.99	0.0553
	30	0.0104	0.9480	0.99	0.0057
	40	0.0092	0.9388	0.98	0.0030
C ⁴⁾	20	0.0219	0.9105	0.99	0.0601
	30	0.0103	0.9294	0.99	0.0293
	40	0.0091	0.8996	0.99	0.0070
D ⁵⁾	20	0.0291	0.8684	0.99	0.0994
	30	0.0249	0.8425	0.99	0.0785
	40	0.0220	0.8377	0.99	0.0142
E ⁶⁾	20	0.0486	0.8455	0.98	0.3115
	30	0.0315	0.8121	0.98	0.1403
	40	0.0274	0.8234	0.99	0.0948

¹⁾ correlation coefficient

²⁾ A: SPI 0% as the protein source of nutritional beverage base

³⁾ B: SPI 20% as the protein source of nutritional beverage base

⁴⁾ C: SPI 40% as the protein source of nutritional beverage base

⁵⁾ D: SPI 60% as the protein source of nutritional beverage base

⁶⁾ E: SPI 80% as the protein source of nutritional beverage base

하여 급격한 점도상승을 보였다. 각 시료의 유체곡선을 보면 SPI의 함량이 점차 증가할수록 전단속도와 전단응력이 정비례하는 newtonian 유동특성에서 전단속도에 따라 전단응력이 hypobolic하게 증가하는 pseudoplastic (의가소성) 유동특성으로 전환되었다. 시료의 유동 특성을 구체적으로 분석하기 위하여 온도조건을 변화시키고(20, 30, 40°C) 전단속도를 0 sec^{-1} 에서 500 sec^{-1} 까지 변화시키면서 전단응력을 측정 후 Herschel-Bulkley model식과 Casson식에 적용시켰다(Table 3).

동일한 온도조건에서 유동지수(n) 값은 SPI의 첨가비율이 높아질수록 작아졌다. 즉, 20°C에서는 $1.0001(A) > 0.9577(B) > 0.9105(C) > 0.8684(D) > 0.8455(E)$, 30°C에서는 $0.9530(A) > 0.9480(B) > 0.9294(C) > 0.8425(D) > 0.8121(E)$, 40°C에서는 $0.9377(A) > 0.9388(B) > 0.8996(C) > 0.8377(D) > 0.8234(E)$ 를 나타내었다. 점조도 지수(K)는 SPI의 첨가비율이 높아질수록 높게 나타났다. 즉, 20°C에서는 $0.0157(A) < 0.0218(B) < 0.0219(C) < 0.0291(D) < 0.0486(E)$, 30°C에서는 $0.0096(A) < 0.0104(B) \approx 0.0103(C) < 0.0249(D) < 0.0315(E)$, 40°C에서는 $0.0078(A) < 0.0092(B) \approx 0.0091(C) < 0.0220(D) < 0.0274(E)$ 를 나타내었다. 항복력(C)도 점조도 지수와 같이 SPI의 첨가비율이 높아질수록 높게 나타났다. 즉, 20°C에서는 $0.0142(A) < 0.0553(B) < 0.0601(C) < 0.0994(D)$

<0.3115(E), 30°C에서는 0.0088(A) < 0.0057(B) < 0.0293(C) < 0.0785(D) < 0.1403(E), 40°C에서는 0.0078(A) < 0.0030(B) < 0.0070(C) < 0.0142(D) < 0.0948(E)을 나타내었다. 유동지수의 변화를 볼 때 SPI의 첨가비율이 높아질수록 시료는 newtonian 유동특성에서 pseudoplastic 유동특성으로 변화한다고 해석할 수 있으며 이는 Fig. 2의 유체곡선과 부합되는 결과이다⁽¹⁴⁾. 또한 항복력의 변화를 주목하면 SPI의 첨가비율이 높아질수록 항복력이 증가하는 사실을 발견할 수 있었다. 즉, SPI의 첨가량이 일정량 이하로 증가하면 시료는 newtonian 유동특성에서 pseudoplastic 유동특성으로 변화하여 가고 그 이상 첨가될 경우 항복력을 동반한 bingham pseudoplastic 유동특성으로 연속적으로 전환된다는 것을 의미한다⁽¹⁴⁾.

또한 같은 시료라도 온도조건을 달리하여 비교하면 유동지수(n), 점조도 지수(K), 그리고 항복력(C)의 모든 값이 온도가 높아질수록 낮아지는 경향을 보였는데 이는 온도증가로 조직내 분자간 열운동이 증가하고 결합이 저해되어 유동에 대한 저항력이 감소하기 때문이라고 사료된다⁽¹⁷⁾.

SPI의 첨가비율의 조절에 의한 유동특성의 변화는 다음과 같이 해석할 수 있다. 즉, 본 실험에서 시료마다 변화를 준 점은 단백질 급원의 조절인데 실험결과를 전반적으로 보면 단백질 급원중 sodium caseinate의 함량이 높아질수록 시료의 겔보기 점도는 낮아지고 유동특성은 newtonian에 가깝게 나타났다. 반대로 SPI의 비율이 높아질수록 시료의 겔보기 점도는 높아지고 유동특성은 pseudoplastic으로 더 나아가서는 항복력을 동반한 bingham pseudoplastic 유동특성으로 전환되었다. 첨가한 2종의 단백질 급원의 특성을 좀 더 고찰하면 상기의 결과를 명확히 판단할 수 있다. Sodium caseinate는 casein에 NaOH 용액등을 가하여 용해시켜 pH 6.7로 조정한 후 분말화한 제품이다⁽¹⁸⁾. 우유에 함유된 유청 단백질은 열에 불안정하지만 casein은 열에 안정하다고 알려져 있다⁽⁸⁾. 따라서 casein의 열 안정성과 같이 sodium caseinate도 열에 의한 조직변성이 크지 않다고 예측하였으며 실험결과로 미루어 볼때 단백질 급원으로 sodium caseinate가 많이 함유될수록 newtonian 유동특성이 명확하여지므로 이것이 증명되었다.

한편 SPI의 첨가에 의해 시료가 newtonian 유동특성에서 pseudoplastic 유동특성으로 변하는 현상은 SPI가 다른 원재료에 비하여 살균 공정에 의해 단백질 변성을 쉽게 받고 겔보기 점도를 상승시키는 특성에 연유한다고 사료된다⁽¹⁴⁾. SPI중 가열 공정후 조직 변성에 큰 영향을 주는 단백질은 7S와 11S라고 보고되어

있으며^(19,20) 이들은 유사한 2차구조와 4차구조를 지닌다고 알려져있다. 즉, 펩타이드 사슬은 병렬형을 취하고 사슬과 사슬사이는 수소결합의 형식을 취하며 바로 이웃 사슬들은 서로 반대반향을 취하는 β-구조로 조밀하게 접혀 전체적으로는 구형단백질의 형상을 나타내는 것으로 보고되었다. Catsimpoilas 등⁽²¹⁾은 대두 단백질의 겔화 과정에는 “progel state”가 있다고 보고하였는데 이는 가열에 의해 4차구조가 와해되고 연속적으로 냉각시키면 그물망 조직이 형성되는 과정을 의미한다. 본 실험에서는 고온의 살균과정과 냉각과정이 포함되므로 이러한 progel state가 일어난다고 사료된다. 따라서 SPI의 농도가 높아질수록 전체조직중 progel의 형성이 많아지고 유동특성에 변화를 준다고 사료된다. 요컨대 본 실험에서 단백질급원 중 조직특성 변화에 직접적인 원인을 주는 급원은 SPI라고 해석할 수 있다.

겔보기 점도의 온도의존성

유동특성과 온도의 관계를 관찰하기 위하여 각 시료를 온도변화에 따라서 log₁₀η_{app}(겔보기 점도)과 1/T을 도시한 결과는 Fig. 3과 같다. 겔보기 점도는 250 sec⁻¹에서 모든 시료가 온도가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였으며 SPI의 첨가량이 많은 시료일수록 감소폭이 크게 나타났다. 온도변화에 따른 각 시료의 겔보기 점도를 측정된 다음 arrhenius식에 의하여 Ea(활성화 에너지)를 구한 결과는 Table 4와 같다. 일반적으로 활성화 에너지는 newtonian-유체의 경우 점도를, non-newtonian 유체의 경우 일정 전단속도에서의 겔보기 점도를 바탕으로 계산하게 되는데⁽²²⁾, Table 4의 활성화에너지는 SPI의 첨가량이 늘어남에 따라

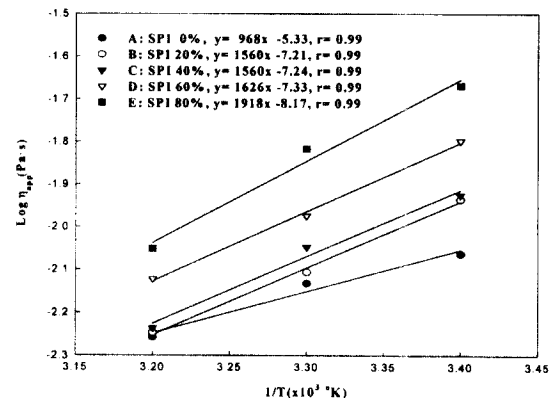


Fig. 3. Relationship between apparent viscosity and temperature at 250 sec⁻¹.

Table 4. Values of η_{∞} and Ea of nutritional beverage bases

Samples	Temp. (K)	η_{∞} (Pa · s)	Ea ($\times 10^4$ J/kg · mol)	$r^{1)}$
A ²⁾	293	0.1283	0.8045	0.99
	303	0.1197		
	313	0.1057		
B ³⁾	293	0.1444	1.2967	0.99
	303	0.1217		
	313	0.1057		
C ⁴⁾	293	0.1459	1.2970	0.99
	303	0.1290		
	313	0.1068		
D ⁵⁾	293	0.1658	1.3522	0.99
	303	0.1388		
	313	0.1197		
E ⁶⁾	293	0.1886	1.5947	0.99
	303	0.1625		
	313	0.1285		

¹⁾correlation coefficient.

²⁾SPI 0% as the protein source of nutritional beverage base.

³⁾SPI 20% as the protein source of nutritional beverage base.

⁴⁾SPI 40% as the protein source of nutritional beverage base.

⁵⁾SPI 60% as the protein source of nutritional beverage base.

⁶⁾SPI 80% as the protein source of nutritional beverage base.

증가하는(0.8035~1.5947 $\times 10^4$ J/kg · mol) 결과를 나타내었다. 이는 SPI의 첨가량이 많은 시료는 열처리 공정 후 progel화 된 SPI의 함량이 상대적으로 많아지고 이에따라 겔보기 점도가 증가하고 유동 활성화에너지 외에 분자간 회합등을 절단하는데 소요되는 구조 활성화에너지⁽²³⁾가 필요하였기 때문이라고 사료된다.

겔보기 점도의 시간의존성

영양음료 base의 겔보기 점도와 시간과의 관계를 파악하기 위하여 500 sec⁻¹의 전단속도하에서 10분간 전단응력의 변화를 측정하였다. 실험 결과는 Fig. 4와 같이 나타났다. A, B, C는 시간에따라 겔보기 점도가 미세하게 증가하는 공통점을 보였고 증가폭은 A > B > C의 순서로 나타났다. 한편 D, E는 시간에따라 겔보기 점도가 감소하는 공통점을 보였고 D는 감소폭이 작았으나 E는 컸다. 이러한 결과들 만으로는 시료들의 시간의존에 따른 유동특성을 확실히 결정짓기는 불확실하다고 판단되어 좀더 구체적인 실험을 수행하였다. 즉, 전단속도를 0 sec⁻¹에서 1000 sec⁻¹까지 증가시켰다가 다시 연속적으로 1000 sec⁻¹에서 0 sec⁻¹까지 감소시키며 각 시료의 전단응력을 관찰하였다⁽¹⁴⁾. Fig. 5에서 나타난 결과로 보면 A, B, C, D는 상승곡선과 하강곡선이 일치하며 따라서 구조적 붕괴가 없음을 알 수 있었다. 그러나 E는 hysteresis loop를 형성

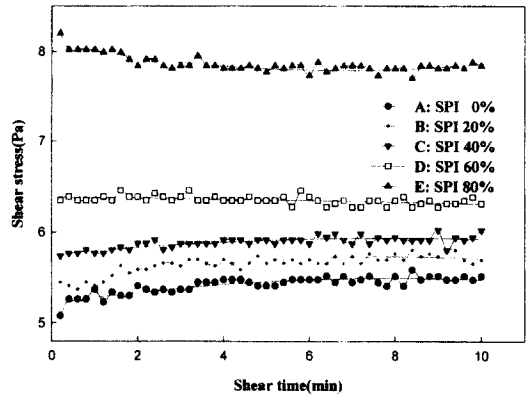


Fig. 4. Changes of shear stress as a function of shear time for nutritional beverage base at 500 sec⁻¹ and 20°C.

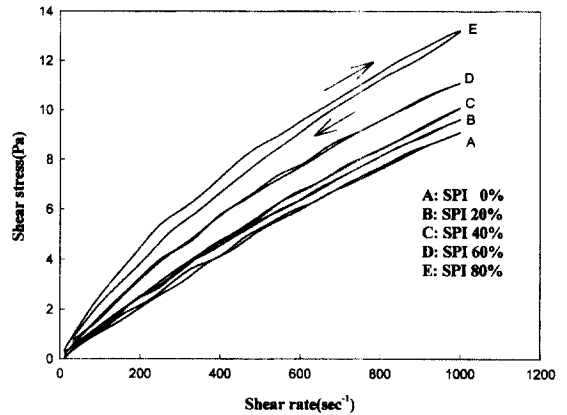


Fig. 5. Hysteresis of nutritional beverage bases at 20°C.

하였는데 이 loop로 둘러 쌓인 면적은 시간의존성의 크기에 비례한다고 알려져 있으며 조직의 구조적 붕괴를 의미한다⁽²⁴⁾. 이로써 시료 E는 명확한 thixotropic 성질을 지닌다고 사료된다. 요컨대, SPI의 함량이 일정 수준 이상일 경우 연속적인 전단응력의 변화에 따라 조직붕괴가 심해져 시료의 유체성질이 크게 변함을 알 수 있었다.

요 약

본 연구에서는 영양음료 base를 제조할 때 단백질 공급원으로 분리대두단백질(soy protein isolate; SPI)과 sodium caseinate를 혼합비를 달리하여 5종의 시료를 제작하였고 각각의 유동특성을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같다. 20°C에서 전단속도를 0 sec⁻¹에서 500 sec⁻¹까지 변화시킬때, SPI 비율이 커질수록 시료

는 newtonian 유동특성에서 pseudoplastic 유동특성으로 변화되고 비율이 더욱 커짐에 따라 항복력을 동반한 bingham pseudoplastic 유동특성으로 전환되었다. 이는 SPI의 농도가 높아질수록 전체 조직 중 progel의 형성이 많아지고 이것이 유동특성에 변화를 주었기 때문이라고 사료된다. 유동특성과 온도의 관계를 알기 위하여 각 시료를 온도변화에 따라서 겔보기 점도 ($\log \eta_{app}$)와 $1/T$ 의 관계를 도식한 결과 겔보기 점도는 모든 시료가 250 sec^{-1} 의 전단속도에서 온도가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였으며 SPI의 첨가량이 많은 시료일수록 감소폭이 크게 나타났다. E_a (활성화에너지)는 SPI의 비율이 늘어남에 따라 증가하는 ($0.8035 \sim 1.5947 \times 10^4 \text{ J/kg} \cdot \text{mol}$) 결과가 나타났다. 이는 SPI의 비율이 높은 시료는 열처리 공정 후 progel화된 SPI의 함량이 상대적으로 많아지고 이에 따라 겔보기 점도가 증가하고 유동 활성화에너지 외에 분자간 회합등을 절단하는데 소요되는 구조 활성화에너지가 필요하였기 때문이라고 사료된다. 겔보기 점도와 시간의존성의 관계에서는 SPI의 비율이 일정수준 이상일 경우 hysteresis loop를 관찰하였고 전단응력의 변화에 따라 조직붕괴가 심해져 결과적으로 시료의 유동특성이 크게 변함을 알 수 있었다.

문 헌

1. Poster, S.M.: Overview of proposed mechanism for the hypocholesterolemic effect of soy. *J. Nutr.*, **125**, 606-614 (1995)
2. Tovar Palacio, C., Potter, S.M., Hafermann, J.C. and Shay, N.F.: Intake of soy protein and soy protein extracts influences lipid metabolism and hepatic gene expression in Gerbiles. *J. Nutr.* **128**, 839-849 (1998)
3. The year book of Food: The agriculture, fisheries and livestock news, p655-670 (1997)
4. Morr, C.V.: Utilization of proteins as starting materials for other foodstuffs. *J. Dairy Res.*, **46**, 369-376 (1979)
5. Food code: Korea foods industry association, p. 353-354 (1997)
6. Ko, S.N. and Kim, W.J.: Effect of coagulants and coagulation temperature on physical properties of ISP-tofu (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **24**, 154-159 (1992)
7. Kim, D.W.: Effects of some factors affecting on ISP-tofu preparation. *Ph.D. Thesis*, King Sejong Univ., Korea (1992)
8. Kim, W.J. and Ku, K.H.: Optimization of heating and addition of water, oil and dextrin for uncompressed SPI

Tofu preparation (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **26**(1), 37-43 (1992)

9. Hudson, B.J.F.: Developments in food proteins-I, 1st ed., Applied Science Publishers LTD., London and New Jersey, p. 247-262 (1982)
10. Lee, B.Y., Lee, Y.C., Kim, H.M., Kim, C.H. and Park, M.H.: Rheological properties of the gelatinized yam starch solution (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **24**, 619-622 (1992)
11. Haper, J.C. and Lebermann, K.W.: Viscometric behavior of tomato concentrate. *J. Food Sci.*, **30**, 470-476 (1965)
12. Ha, S.K. and Choi, Y.H.: Rheological characteristics and viscosity prediction models of tomato ketchup suspensions (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **20**, 812-819 (1988)
13. Charm, S.E.: The direct determination of stress shear rate behavior of foods in the presence of a yield stress. *J. Food Sci.*, **28**, 107-113 (1963)
14. Song, J.C. and Park, H.J.: Physical functional textural and rheological properties of foods. Ulsan Univ. Press. (1995)
15. Vitali, A.A. and Rao, M.A.: Flow properties of low-pulp concentrated orange juice effect of temperature and concentration. *J. Food Sci.*, **49**, 882-888 (1984)
16. Haper, J.C. and Lebermann, K.W.: Rheological behavior of pear purees. *Proc. 1st. Int. Conf. Food Sci. Technol.*, **1**, 719-730 (1962)
17. Kang, K.J., Kim, K., Kim, S.K., Park, Y.K. and Lee, S. Y.: Rheological properties of gelatinized large and small starch granules of potato (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **21**, 755-759 (1989)
18. Kang, K.H., Yu, J.H. and Lee, J.Y.: Milk processing. 5th ed., Hyang-moon Publishing Co., p.109-115 (1997)
19. Fukushima, D.: International structure of 7S and 11S globulin molecules in soybean proteins. *Cereal Chem.* **45**, 203-224 (1968)
20. Badley, R.A., Atkinson, O., Hauser, H., Oldani, D., Green, G.P. and Stubbs, J.M.: The structure, physical and chemical properties of the soy bean protein glycinin. *Biochem. Biophys. Acta.* **412**, 214-228 (1975)
21. Catsimpoalas, N. and Meyer, E.W.: Gelation phenomena of soy bean globulins. I. Protein-protein interactions.. *Cereal Chem.* **47**, 559-569 (1970)
22. Lee, S.E., Lee, B.Y., Jin, J.S., Kim, D.M. and Kim, K. H.: Rheological Properties of Radish Juice Concentrate (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **24**, 261-272 (1992)
23. Eyring, H.: The theory of rate processes. *J. Chem. Phy.*, **4**, 283-294 (1936)
24. Bauer, W.H. and Collins, E.A.: Thixotropy and dilatancy. In rheology theory and applications, Eirich, F. R.(ed), Academic Press, New York, Vol.4, p. 423-436 (1972)