

# 단백질의 기능적 성질과 식품에서의 이용

이 숙 영

(중앙대학교 식생활학과)

## I. 서 론

단백질의 기능적 성질의 중요성이 곡류, 두류, 육류와 유제품 연구분야에서는 일찌기 인식되어 왔으나, 식품가공기술에서 그 중요성이 널리 인식된 것은 비교적 최근이다. 그 중요성은 기능성 식품소재를 사용하여 새로운 식품을 제조 또는 배합하는 것이 강조되면서 가속되어졌다. 농축단백은 외관을 좋게 하기 위해, texture와 점도를 조절하기 위해, 가열할 때 수축되는 것을 감소시키기 위해, 반죽이 잘 되게 하기 위해, 저장성을 향상시키기 위해, 영양가를 높이기 위해 식품에 첨가된다 (Pomeranz, 1985).

한편 분리단백을 사용하여 압축성형식품, meat analogs, whipped toppings, 또는 단백질을 강화한 음료 등의 새로운 단백질 식품을 만드는 것이 증가 추세이다. 값이 비교적 저렴한 식물성 단백을 이용한 조직화한 식물성고기(TVP), 콩치즈(Kim *et al.*, 1992) 등의 제조를 위한 새로운 기능성 식품소재(젤화, 기포성, 유화성, 산성에서 용해도가 높은 단백질 등)의 개발 등 다양한 시도가 이루어지고 있는데, 이것은 각종 식품 단백질의 기능적 성질에 관한 더 많은 정보의 필요성을 느끼게 한다.

그러므로 본고에서는 단백질의 기능적 성질의 mechanism과 변형, 기능성 단백질식품의 종류에 따른 기능적 성질과 그 이용 등에 관하여 고찰해 보고자 한다.

## II. 단백질의 기능적 성질의 정의와 종류

넓은 의미에서의 단백질의 기능적 성질(functional property, functionality)은 영양성 이외에 식품의 이용 가치에 영향을 미치는 단백질의 성질이라고 정의된다. 즉 단백질의 기능적 성질은 식품을 가공, 저장, 조리, 소비하는 동안에 단백질이 식품 내에 작용하여 식품의 품질과 기호에 영향을 주는 단백질의 물리화학적 성질을 말한다.

식품에서 중요한 단백질의 기능적 성질의 종류는 Table 1과 같다(Kinsella, 1979). 단백질의 기능적 성질은 크게 관능적 특성(색, 풍미, 질감 등), 단백질과 수분의 상호작용(용해도, 수분흡수성, 수분 보유력, 팽윤 등), 표면활성에 관한 성질(유화성, 기포성, 유지흡착성 등), 단백질 간 상호작용에 의한 물성(점탄성, 젤화, 조직화 등)으로 나눌 수 있는데, 용해도, 점도, 젤화 등은 단백질과 수분, 단백질

Table 1. Functional properties of proteins in food applications

General property	Functional criteria
Organoleptic	Colour, Flavour, Odour.
Kinesthetic	Texture, Mouthfeel, Smoothness, Grittiness, Turbidity.
Hydration	Solubility, Wettability, Water absorption, Swelling, Thickening, Gelling, Syneresis, Viscosity.
Surface	Emulsification, Foaming (aeration, whipping), Film formation
Binding	Lipid-binding, Flavour-binding.
Structural	Elasticity, Cohesiveness, Chewiness, Adhesion, Network crossbinding, Aggregation, Dough formation, Texturizability, Fiber formation, Extrudability.
Rheological	Viscosity, Gelation.
Enzymatic	Coagulation (rennet), Tenderization (papain), Mellowing ('proteinases').
'Blendability'	Complementarity (wheat-soy, gluten-casein).
Antioxidant	Off-flavour prevention (fluid emulsions).

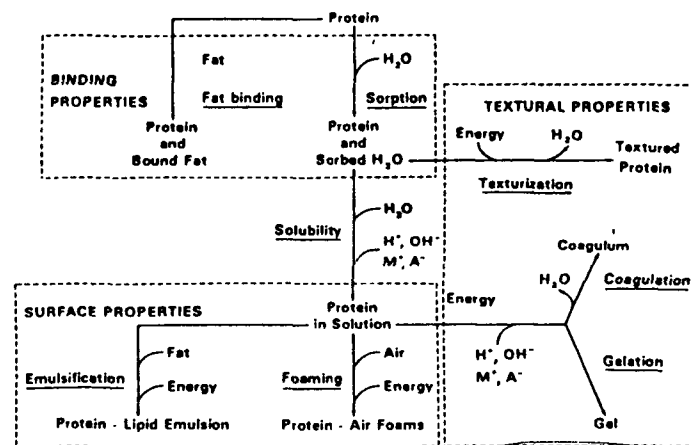


Fig. 1. Aspects of protein functionality and its interrelationships.

간의 상호작용을 둘 다 포함한다(Kinsella, 1979).

Figure 1은 단백질의 기능적 성질들 간의 상호관련성을 보여주고 있다(Phillips and Beuchat, 1981). 단백질의 수분과 지질에 대한 결합력은 흡착성과 film 형성에 의한 유화성과 기포성, fiber의 형성, 점도와 젤화 등에 영향을 준다. 단백질은 반응성이 크므로 환원당, 지질, polyphenols, 식품 첨가물 등과 반응하여 갈변과 풍미가 생기며 영양가가 저하되고 때로는 독성물질이 생성되지만, 어떤 반응들은 식품 내에서 단백질의 바람직한 기능적 성질을 나타내기 위해 필요하다.

Table 2에서와 같이, 단백질의 기능적 성질은 단백질의 조성, 배열, conformation, 분자량과 구조 등의 내적 요인, pH, 온도, 이온 강도, 단백질과 다른 식품성분 간의 상호작용 등의 환경적 요인, 변형 등 가공처리, 측정조건 등에 의해 영향받는다(Kinsella, 1979).

Table 2. Some of the factors influencing the protein functionality in foods

Intrinsic	Environmental factors	Process treatments
Composition of protein(s)	pH	Heating
Conformation of protein(s)	Redox status	pH
Mono-or Multi-component	Salts, Ions	Ionic strength
Hmogeneity-heterogeneity	Water	Reducing agents
	Carbohydrates	Storage conditions
	Lipids	Drying
	Surfactants	Physical modification
	Flavours	Chemical,enzymatic modification

### III. 단백질의 기능적 성질의 측정

단백질의 기능적 성질을 예측하기 위해서는 단지 단백질의 구조만을 연구하는 것보다는 대개 실험으로 측정하는 것이 필요하다. 그러나 food system의 복잡성과 다양성 때문에 각종 단백질의 기능적 성질을 측정하기 위한 실험방법과 조건 등이 다양하고 표준화되어 있지 않으므로, 실험결과를 일반화하기 어렵고 한 식품에서의 결과로부터 다른 식품에서의 그 단백질의 기능을 예측하는 것은 문제가 있다(Kinsella, 1982).

식품 산업용으로 쓰이는 대부분의 단백질 원료는 여러 종류의 단백질과 상당량의 탄수화물, 지질, 무기염, polyphenol 등을 함유하고 있다. 분리단백은 비단백성분을 소량 함유하고 있으나, 일반적으로 많은 가공과정을 거치므로 단백질의 구조와 기능적 성질이 변화받게 된다. 그러므로 model system에서 얻어진 결과들이 real system의 결과와 상관관계가 낮은 경우가 흔히 있다.

또한 사용된 실험방법, 기계 및 기구(형태, 에너지 입력, 온도 조절 등), 분석적 측정방법 등이 모두 그 측정 결과에 영향을 미친다(Waniska *et al.*, 1981). 그동안 많은 실험 연구가 행하여졌으나, 측정을 실제 단백질의 물리화학적 성질에 체계적으로 연관시키고자 하는 노력이 부족한 경우가 많았다. 실험 결과를 더욱 일반화시키기 위해서는 측정들이 단백질의 물리화학적 성질에 기초하여야 한다(Kinsella *et al.*, 1985).

### IV. 대표적인 단백질의 기능적 성질과 그 mechanism

#### 1. 용해도(Solubility)

단백질이 유화성, 기포성, 젤화 등 대부분의 기능적 성질을 잘 수행하기 위해서는 용해도가 높아야 하며, 또한 잘 녹는 단백질이 더 쉽게 식품에 혼합될 수 있다. 용해도가 낮은 단백질은 기능적 성질이 좋지 못하여 식품소재로서의 사용에 제한을 받는다. 최대의 유화력을 갖기 위해서는 어느 정도의 용해도가 필요하다(Adler-Nissen and Olsen, 1979). 용해도는 또한 단백질의 전처리와 식

Table 3. Factors affecting protein solubility

Amino acid composition
Protein conformation(shape, size)
Surface polarity/hydrophobicity
Ionic concentration
Ion species, anion/cation
pH
Temperature

품소재로서의 이용 가능성을 알게 해 주는 좋은 지침이 되며, 가공과정의 최적화를 위해 유용한 정보를 준다.

Table 3과 같이, 용해도에 영향미치는 요인들은 아미노산 조성, 단백질의 conformation, 분자량, 표면 전하, 친수성과 소수성 아미노산의 비율, ion의 종류와 농도, 용매의 pH와 온도 등이다(Kinsella, 1982). 분자량이 증가할수록 친수성 대 소수성 잔기의 비율이 감소되는 경향이 있으므로 용해도가 감소한다.

용매의 pH와 이온 강도는 단백질의 용해도에 가장 큰 영향을 미친다. 대부분의 단백질은 net 전하가 0인 등전점에서 최소의 용해도를 가지는 전형적인 pH-solubility profile을 보이고 있다. 반면 같은 전하를 갖는 아미노산 사이의 정전기적 반발은 구상단백질을 안정화시키고 수분결합을 증가시키므로(e.g., aspartic acid와 glutamic acid는 잔기 당 6~7 분자의 물을 결합할 수 있다), 이것은 용해도, 수화, 젤화와 표면활성 등을 증가시킨다. 용해도는 또한 염류에 의해 변화될 수 있는데, 소량 첨가된 중성염은 반대 이온끼리의 정전기적 흡인력을 감소하여 용해도를 증가시키며(salting-in), 다량 첨가된 중성염은 같은 이온끼리의 정전기적 반발력을 상쇄함으로써 용해도를 감소시킨다(salting-out).

이황화결합을 환원시키는 thiols류(cysteine, mercaptoethanol)와 sodium bisulfite는 분자 상호간의 결합을 분해시킴으로써 단백질의 분해를 일으키고 용해도를 증가시킨다. 용해도는 또한 단백질의 전처리 과정, 추출 방법, 가공공정, 가열정도, 다른 원료의 존재에 따라 달라지는데, 가열처리와 유기용매 등의 변성요인은 단백질의 용해도를 감소시킨다(Kinsella, 1976).

## 2. 유화성(Emulsification)

단백질은 분자 내에 친수성과 소수성 잔기가 있으므로 유화제로서 사용되며 계면장력을 감소시켜 유화력을 증가시키고 유화를 안정화시킬 수 있다. Emulsion에 분산된 단백질은 기름과 물과의 경계면으로 확산되어 단백질 변성을 일으켜서 구조가 풀어지게 되며, polypeptides의 소수성부분은 기름 쪽으로 위치하는 반면 극성과 친수성부분은 물 쪽으로 위치함으로써 계면장력을 감소시킨다. 안정한 유화 형성을 위해서는 계면장력의 감소, 탄탄한 계면 film의 형성, 전하, 단백질의 분자량 등이 중요한데, 입자 간의 정전기적 반발력이 흡인력보다 더 클 때 침강이 방지된다(McWatters

Table 4. Factors affecting the foaming properties of proteins

1. Concentration, surface, and bulk viscosity: solubility, diffusion rate, interaction in the disperse phase, and increase of bulk with such substances as sucrose
2. Structure: disordered or flexible versus globular or rigid; availability of hydrophobic and hydrophilic groups
3. Denaturation: ease of polypeptide
4. Electrical double layer: repulsion affected by counter ions such as salts in solution; availability of hydrophobic and hydrophilic groups
5. Marangoni effect: ability to concentrate rapidly at a stress point in the film
6. pH: maximum near the isoelectric point; extremes, dissociate polypeptides
7. Temperature: dissociate polypeptides
8. Denaturants: improve availability and interaction of polypeptides, e.g., thio-reducing reagents
9. Complementary surfactants: other proteins, polysaccharides
10. Coagulation: irreversible aggregations

and Cherry, 1981).

단백질의 유화성에 영향미치는 요인으로는 기계, 용기의 모양과 크기, 혼합속도, 기름의 종류, 기름 첨가속도, 단백질과 수용성 단백질의 함량, 단백질의 종류, pH, 온도, 염의 종류와 농도, 가열처리 등이 있다(Carpenter and Saffle, 1964; Kinsella, 1976). 빠른 혼합속도는 유화력을 감소시키는데, 이것은 빠른 속도에 의해 더 작은 기름방울들이 많이 형성되어 표면이 증가하므로 유화제로서 더 많은 단백질을 필요로 하기 때문이다. 냉동, 높은 온도, 낮은 pH 등 수용성 단백질을 침강시키는 요인들은 유화력과 유화안정성을 감소시킨다(Kinsella, 1976). 등전점에서 emulsion의 침강은 염첨가에 의해 방지될 수 있다(McWatters and Holmes, 1979).

### 3. 기포성(Foaming)

표면장력에 의해 변성된 단백질이 계면에 흡착되고 film을 형성하여 gas를 내포함으로써 기포를 형성한다. 단백질의 기포 형성 과정이 Figure 2에 나타나 있는데(Cherry and McWatters, 1981), 단백질의 기포성은 단백질 분자들이 공기-물 계면에 확산되어 흡착되는 속도 및 표면변성에 따라 달라진다. Table 4에서와 같이, 단백질의 기포성에 영향미치는 요인으로는 용해도, 점탄성, 표면소수성, 이온 강도, 표면 전하, pH, 온도, 단백질과 탄수화물의 농도, 응고 등을 들 수 있다(Hermansson, 1979).

높은 표면점도는 기포안정성에는 바람직하나 기포형성에는 좋지 않고, 점탄성 단백질의 기포성이 좋다. Graham과 Phillips(1976)는 단백질의 등전점에서 정전기적 반발이 최소가 되어 표면장력이 감소하기 때문에 단백질의 기포안정성은 등전점 부근에서 최대이지만 등전점에서 단백질이 불용성이 되어 응고하게 되면 그 안정성은 감소된다고 하였다. pH가 등전점에서 멀어지면 단백질의 net 전하가 증가하게 되어 기포안정성은 감소하게 된다(Waniska and Kinsella, 1979 ; Phillips *et al.*,

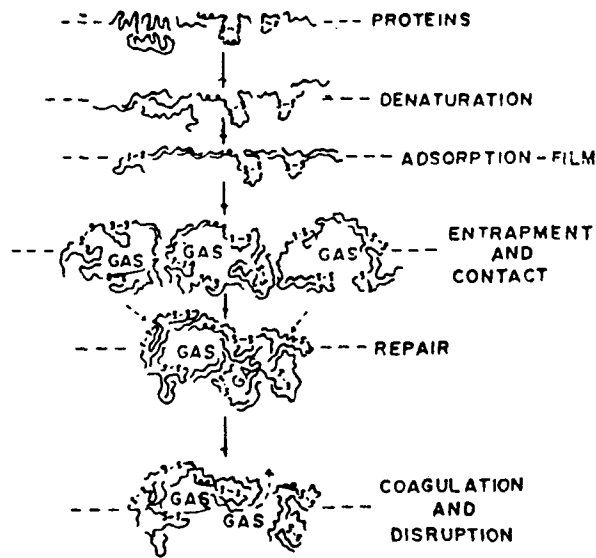


Fig. 2. Diagram of foaming properties of proteins.

1987).

가열 처리, pH의 변화, 또는 다른 식품 원료나 첨가물들이 존재할 때 기포안정성을 유지하는 것이 중요하다. Glicksman(1982)은 carrageenan, sodium alginate, locust bean gum과 같은 친수성 콜로이드는 공기-물 계면의 단백질 film을 안정화시키므로 안정한 기포성을 가진 제품을 만드는데 효과가 있다고 하였다. Poole 등(1987)은 sucrose는 가열과정 중 단백질 film에 작용하여 응집하지 않고 보다 좋은 network를 형성하게 한다고 하였다. 난백은 높은 온도에서도 기포안정성이 높다. Phillips 등(1991)은 분리밀단백(WPI)에 첨가된  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 와  $\text{NaCl}$  등의 중성염은 열처리시의 기포안정성을 증가시키는 데에 효과가 있다고 보고하였다.

#### 4. 젤화(Gelation)와 응고(Coagulation)

단백질을 가열처리한 다음 냉각시키면 물과 수용성 성분들을 포집하여 matrix를 형성하는데 이것을 젤화라고 한다. 응고는 침전제에 의해 단백질의 수용성이 불안정해지거나, 단백질의 변성에 의해 용해도가 감소하기 때문에 일어나는 비가역적인 침전현상이다. 단백질의 젤화는 가열에 의해 단백질이 부분 변성되어 polypeptide 사슬이 풀어지게 되고, 냉각시키면 풀어진 polypeptide가 점차로 결합하여 gel matrix를 형성하기 때문에 일어난다. 이 때의 Cross-linking은 수소결합, 이온결합, 이황화결합, 소수성 상호작용 등을 포함한다(Wolf, 1970).

단백질 gel의 단단한 정도는 단백질의 분자량과 농도, 열처리 온도와 시간, pH, 중성염, 환원제, 지질과 탄수화물의 함량 등에 따라 달라진다. 이황화결합은 단백질의 젤화에 매우 중요하므로, 환원제는 젤화를 저해한다(Catsimpoolas and Meyer, 1970). 소수성 아미노산 잔기의 비율이 높은 분자량이 큰 단백질은 강한 젤을 형성한다(Cheftel *et al.*, 1985). 단백질의 gel matrix는 수분, 지질,

다른 식품원료 등을 보유할 수 있으므로 gelatin, yogurt, 같은 고기, 두부, 빵 반죽 등의 제조를 용이하게 한다. 한편 우유 단백질을 가열할 때 일어나는 젤화는 단백질만의 현상이 아니라, 단백질과 지질, 단백질과 탄수화물 간 상호작용에 의해 영향을 받는다.

일반적으로 대두단백의 젤화는 7% 이상 함량의 단백질 용액을 100°C 이상의 온도에서 가열할 때 일어나는데, 이는 meat extender 등의 제조에 중요하다. 같은 고기에 첨가된 대두단백은 수분과 지질을 잘 보유할 수 있는 gel matrix를 형성한다(Wolf, 1977). 또한 myofibrillar의 젤화는 육가공품, fish sausage, 생선묵 등의 제조에 이용된다(Pomeranz, 1985). 응고 또는 커드 형성은 대두단백으로부터의 두부제조, casein으로부터의 cheese 제조에 있어서 중요한 단백질의 기능적 성질이다.

### V. 단백질의 기능적 성질의 변형

단백질의 기능적 성질은 효소적, 화학적, 조직화 방법에 의해 변형될 수 있다. Table 5는 식품 단백질의 변형에 있어서의 일반적인 목적을 보여주며, Table 6는 변형시킬 때의 유의점들을 보여주고 있다(Feeney and Whitaker, 1985).

음료의 용해도를 증가시키거나 마요네즈의 유화력을 증가시키기 위해, 난백의 기포성을 높인다거나 콩비린내를 제거하기 위해 단백질 가수분해물이 사용된다. 또한 lysine 잔기의 ε-amino groups의 acylation은 수화, 용해도, 유화성과 기포성 등을 향상시킨다(Franzen and Kinsella, 1976). Texture와 외관을 좋게 하기 위해서 단백질이 여러가지 모양으로 뽑아지거나(spun) 압축성형(extrusion)될 수 있다. 압축성형제품의 texture는 원료, 단백질함량, 수분함량, pH, 온도, 압력 등에 의해 조절될 수 있다.

Figure 3는 화학적 변형에 의한 단백질의 변화를 보여준다(Choi *et al.*, 1982). Acetylation은 양전하를 감소시켰고, succinylation, maleylation, dimethylglutarylation 등은 음전하를 증가시켰

Table 5. General purposes of modification

To retard deteriorative reactions (e.g., Maillard reaction)
To impart texture (e.g., textured vegetable proteins)
To increase solubility (e.g., beverages)
To decrease solubility (e.g., cheeses)
To provide foaming and coagulation capacities (e.g., whipping agents, baking products)
To provide structural characteristics (e.g., texturized products)
To provide emulsifying capacities (e.g., mayonnaise)
To prevent interactions (e.g., encapsulation)
To remove off-flavors (e.g., as in soybean for tofu)
To remove toxic or inhibitory ingredients (e.g., beans and peas)
To attach chemicals covalently (e.g., colors or flavors)
To attach nutrients covalently (e.g., amino acids)

Table 6. Concerns in the modification of food proteins

1. Loss of nutritional value
  - a. By formation of a product of an amino acid that results in nonhydrolyzable peptide bonds
  - b. By formation of a product of an amino acid that may appear in the blood but is not utilized
2. Toxicity
  - a. Allergenicity of protein or polypeptide products
  - b. Obstruction of metabolism by unnatural polypeptides (found in digestive tract) or entrance of these substances into the physiological system unnaturally
  - c. Free amino acid derivatives capable of obstructing metabolism
3. Organoleptic properties
  - a. Undesirable flavors
  - b. Unusual physical feeling
  - c. General difficulty in mastication
4. Interaction with other foods eaten
  - a. Unusual physical effects when eaten simultaneously with other foodstuffs
  - b. Unusual flavors when eaten simultaneously with other foodstuffs
5. Reversibility of modification
  - a. Occurring on storage
  - b. Occurring on cooking, extent depending on type of cooking and other food ingredients

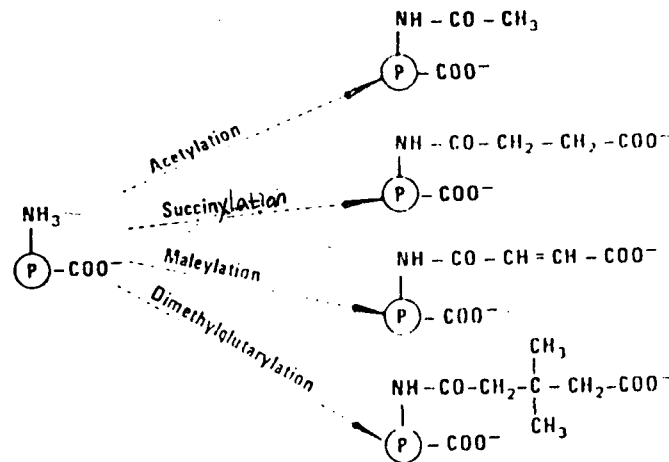


Fig. 3. Major changes on protein molecules by various chemical modifications.

다.

손 등(1991a, b)은 분리땅콩단백질과 분리녹두단백질에 succinic acid로 수식화하였을 때 용해도, 유화력, 유화안정성 등이 증가되었으며, 특히 염 첨가시 분리녹두단백질의 기포형성력이 증가되었다고 보고하였다. Succinylated β-casein의 경우에도 음전하가 증가되어 침전이 감소되었는데, Succinic과 maleic caseins은 pH 4.4에서도 용해될 수 있었다. 일반적으로 화학적 변형은 식품 단백질의 용해도, 분산도, 유화성, 기포성, 열안정성 등을 증가시켰고, Coffee whitener의 점도, 응고 또는



침전 등을 감소시킬 수 있었는데(Kinsella, 1977), 그러나 이와 같은 화학적 변형의 단점은 lysine의  $\epsilon$ -amino 잔기가 결합되므로 영양가는 저하된다는 점이다.

효소적 변형은 protease의 특이성에 의해 특정한 펩티드 결합을 분해할 수 있으며, 분자량의 감소, 극성기의 증가, 펩티드 수의 증가로 인해 용해도, 유화성, 기포성, 풍미 등을 향상시킬 수 있다. 효소적 변형의 장점과 목적들이 Table 7과 8(Whitaker, 1977)에 각각 나타나 있다.

윤 등(1991)은 키위 단백질분해효소(actinidin)로 처리된 casein의 용해도가 등전점인 pH 4.5에서 뚜렷한 증가를 보였고, pH 4에서 유화력과 기포형성력이 각각 증가하였다고 보고하였으며, Kim(Lee)

Table 7. Some advantages of enzymatic modification

Specificity
Effectiveness at low concentration
Requirements of mild conditions
Low energy input
General safety

Table 8. Purposes of enzyme modification in various foods

Food	Purpose or action
Baked goods	Softening action in doughs; cut mixing time, increase extensibility of doughs; improvement in texture, grain and loaf volume; liberate $\beta$ -amylase
Brewing	Body, flavor and nutrient development during fermentation; aid in filtration and clarification; chillproofing
Cereals	Modify proteins to increase drying rate, improve product handling characteristics; production of miso and tofu
Cheese	Casein coagulation; specific flavor development during aging
Chocolate-cocoa	Action on beans during fermentation
Eggs and egg products	Improve drying properties
Feeds	Waste product conversion to feeds; digestive aids, particularly for pigs
Fish	Solubilization of fish protein concentrate; recovery of oil and proteins from inedible parts
Legumes	Hydrolyzed protein products; removal of flavor; paste in formation
Meats	Tenderization; recovery of protein from bones
Milk	Coagulation in rennet puddings; preparation of soybean milk
Protein hydrolysates	Condiments such as soy sauce; bouillon; dehydrated soups; gravy powders; processed meats; special diets
Antinutrient factor removal	Specific protein inhibitors of proteolytic enzymes and amylases; phytate; gossypol; nucleic acid
Wines	Clarification
In vivo processing	Conversion of zymogens to enzymes; fibrinogen to fibrin; collagen biosynthesis; proinsulin to insulin

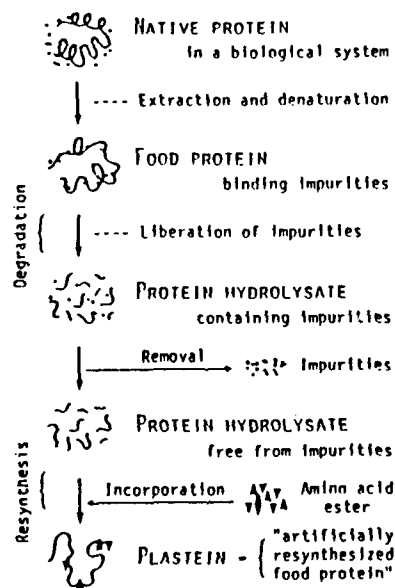


Fig. 4. Process of enzymatic hydrolysis and resynthesis(plastein).

등(1990)은 분리대두단백의 용해도와 유화력을 증가시키는 데에 trypsin이  $\alpha$ -chymotrypsin보다 더 효과적이었다고 보고하였다. 그러나 가수분해가 지나치면 쓴맛을 내는 peptides가 생성되고 기능적 성질이 오히려 저하되므로(e.g., 유화성, 기포성, texture 등의 저하) 분해정도를 잘 조절해야 한다. Figure 4는 단백질을 가수분해한 후 제한 아미노산 등을 첨가하여 새로운 단백질을 합성하는 과정(plastein 반응)을 보여준다. Plastein 반응의 장점은 (a) 단백질의 용해도 증가, (b) 단백질의 기능적 성질의 변형, (c) 단백질분해효소에 의해 생성된 bitter peptides의 제거, (d) 제한 아미노산의 첨가, (e) 색, flavor 발생물질의 제거, (f) 불필요한 아미노산의 제거, (g) 표면활성제의 합성 등이다(Feeney and Whitaker, 1985).

## VI. 기능성 단백질식품의 종류에 따른 기능적 성질

Table 9은 기능적 성질을 나타내는 기능 단백질의 종류와 그 함유식품들을 보여주고 있으며, Table 10은 식품 배합에 사용되는 기능 단백질의 주요 기능적 성질과 그 mechanism을 보여주고 있다(Kinsella, 1982). 다양한 기능적 성질을 가지고 있는 단백질이 기능성 식품소재로서 이상적이나 매우 적은 편이다. 밀 gluten의 점탄성과 기포성, 육류와 어류의 myosin의 흡착성, 유화성과 젤화 등, 우유 casein의 부착성, 유화성, 응고성과 점탄성 등, 난백 단백질의 기포성, 젤화와 결합성 등의 기능적 성질이 식품 배합에 이용될 수 있다. 대두단백은 좋은 기능적 성질을 많이 가지고 있으나 비린내 성분을 결합하고 있고, 또한 대두단백의 현저한 열 안정성은 젤화를 방해하여 많은 식품에서의 이용을 제한하고 있다.

Table 9. Principal foods used as sources of functional protein

Commodity source	Functional protein
Milk	Milk powder, Caseins, Whey proteins
Egg	Egg white, Lipoprotein of egg yolk
Meat	Collagen, Muscle, Blood
Fish	Collagen, Muscle
Cereals	Wheat gluten, Maize zein
Oilseeds	Flours, Concentrates, Isolates from Soybean, Cottonseed, Peanut, Sesame
Yeast	Extracts, Dried Yeast

Table 10. Principal functional proteins used in food formulations

Protein	Functional property	Mechanism
Gluten	Viscoelasticity, Foaming, Adhesion	H, SS, Hp, E
Myosin	Adhesion, Emulsifying, Gelling	E, Hp, SS
Casein	Adhesion, Emulsifying, Coagulation, Viscoelasticity	Hp, E
Collagen	Gelation, Foaming	Hp, H
Egg white	Foaming, Coagulation/gelation, Binding	E, Hp

H=hydrogen bonding; Hp=Hydrophobic association; E=electrostatic; SS=disulphide.

Table 11. Functional properties performed by functional proteins in foods

Functional property	Mode of action	Food system
Solubility	Protein solvation, pH dependent	Beverages
Water absorption and binding	Hydrogen bonding of water; Entrapment of water	Meat, Sausages, Breads, Cakes
Viscosity	Thickening; Water binding	Soups, Gravies
Gelation	Protein matrix formation and setting	Meats, Curds, Cheese
Cohesion-adhesion	Protein acts as adhesive material	Meat, Sausages, Baked goods, Pasta products
Elasticity	Hydrophobic bonding in gluten; Disulphide links in gels	Meats, Bakery
Emulsification	Formation and stabilization of fat emulsions	Sausages, Bologna, Soup, Cakes
Fat absorption	Binding of free fat	Meats, Sausages, Doughnuts
Flavour-binding	Adsorption, entrapment, release	Simulated meats, Bakery, etc.
Foaming	Form stable films to entrap gas	Whipped toppings, Chiffon desserts, Angel cakes

Table 12. Functions of ingredient proteins in meat-based products

---

Improves uniform emulsion formation and stabilization
Gelation improves firmness, pliability and texture
Facilitates cleaner, smoother slicing
Reduces cooking shrinkage and drip by entrapping/binding fats and water
Prevents fat separation
Enhances binding of meat particles without stickiness
Improves moisture-holding and mouthfeel
May impart antioxidant effects

---

Table 13. Functions of ingredient proteins in bakery products

---

Facilitates water absorption
Improves dough handling and mixing tolerance
Improves "machineability" of cookie doughs
Improves moisture retention during baking
Improves cake tenderness, crumb structure, and texture
Retards fat absorption by doughnuts
Prolongs freshness and storage stability
Reduces stickiness in macaroni
Lipoxygenase results in whiter bread and improves flavor
Improves nutritional quality

---

기능성 단백식품의 예로는 빵에서 밀 gluten의 점탄성과 기포성, 육류에서 muscle의 texture, 다즙성과 색 등, cheese에서 casein의 curd 형성, 아이스크림, whipped 제품에서 1난백의 기포성, 마요네즈에서 난황의 유화성, 두부제조시 Ca에 의한 대두단백의 응고성 등을 들 수 있다. 식품의 종류에 따라 기능성 단백질이 나타내는 기능적 성질이 각기 다른데, Table 11은 각종 식품 내에서 작용하고 있는 단백질의 기능적 성질과 그 작용방식을 보여 준다(Kinsella, 1979). 음료의 경우 단백질이 용해되어 있고, 제빵에서는 수분흡수, 탄성, 응집성, 기포성 등을 보이며, 같은 고기의 경우 수분과 유지를 흡착하고 가열할 때 gel을 형성하며, whipped topping과 angel cake의 경우는 열에 안정한 기포성을 보여 준다. Table 12와 13(Kinsella *et al.*, 1985)에서 보이는 바와 같이, 육가공품에 있어서는 유화성, 젤화, texture, 유지 및 수분결합에 의한 조리시의 수축 감소, 수분보유력 등이 중요한 반면, 제빵의 경우는 수분흡수, 구울 때의 수분보유력, 반죽 강도, texture 등이 중요하다.

## VII. 기능성 식품소재로서의 식물성단백의 이용

### 1. 대두단백의 기능적 성질과 이용

대두단백의 유지 및 수분 흡수성, 표백효과 등은 제빵 및 제과에 이용되는 반면, 대두단백의 수분 및 유지흡착성, 수분보유력, 유화, 젤화, 조직화, 부착성 등은 meat extender, hamburger, sausage, meatballs, luncheon meats 등 육가공품에 이용된다(Kinsella *et al.*, 1985). 농축대두단백은 수분 및 유지흡착성 때문에 meat patties와 sausages 등에서 결합제와 conditioners로 사용되고 있다.

분리대두단백은 높은 온도와 높은 가공속도에서 처리되는 통조림제품에서 수분과 유지를 잘 보유하기 위해, 또한 유제품, sandwich spreads, snack dips 등에서 바람직한 부드러운 성질을 주기 위해 사용되고 있다. 분리대두단백은 또한 커피 크림, whipped toppings, 아이스크림 등 유제품에 사용되고 있는데, whipping toppings와 아이스크림에서 유화제, 기포제, 안정제로서의 기능을 한다(Pomeranz, 1985). 한편, 효소변형한 분리대두단백을 첨가한 콩치즈에 관한 연구(Kim *et al.*, 1992)도 행하여졌다.

Spun 대두단백은 고기와 같이 만들어진 후 밀 gluten, egg albumin, 유지, flavors, 색 등과 혼합하여서 다양한 종류의 새로운 제품을 만드는 데 사용되는 반면, 압축성형된 대두제품들(chunks, granules, or bits)은 ground beef와 같은 외관을 가지므로 hamburger patties, chili, meat loaf 등에 사용된다(Pomeranz, 1985). 조직대두단백은 또한 다져서 만든 생선 통조림, 생선 pastes 등에도 사용되고 있다.

### 2. 밀단백의 기능적 성질과 이용

Gluten은 gliadin과 glutenin으로 구성되어 있고, 제빵시에 gas를 보유할 수 있는 유연하면서도 응집성인 얇은 막(film)을 형성한다. 밀 gluten은 gas 보유력과 수분흡수성을 가지고 있으므로 효모에 의해 부풀은 빵과 반죽 제품의 강도를 높혀 바람직한 texture를 준다. 물을 가해 반죽할 때 밀 gluten이 수화하여 형성된 점탄성이며 신장성인 film은 효모 발효에 의해 발생한 CO<sub>2</sub> gas를 보유하여 단단한 기포를 많이 형성하는데, 이러한 gluten film은 오븐에서 구울 때 변성되고 안정화되어 호화 전분과 함께 matrix를 형성케 하여 구운 빵의 독특한 기능적 성질을 갖게 한다.

미국에서 생산되는 분리 gluten의 70%는 제빵용으로, 12%는 breakfast cereal용으로, 9%는 가축 사료용으로, 4%는 meat analogs용으로 쓰이고 있는데, 제빵 제품에서는 분리 gluten이 반죽 강도, loaf volume, 조직 강도 등을 증가시키기 위해 사용된다(Kinsella, 1982). 분리 gluten은 또한 식품에서 접착제(adhesive agent)로서 널리 사용되고 있는데, breakfast cereal에서는 가열하기 전에 원료들을 결합시키기 위해, 육가공품에서는 여러 종류의 육류를 결합시키기 위한 기능성 식품소재로 사용되고 있다. 분리 gluten의 점탄성, 응집성, 젤화, 결합성, 유화성 등이 육가공품에서 매우 중요하다. 분리 gluten은 또한 기포성이 필요한 whipped 제품에 사용될 수 있으며, 다른 원료와 혼합(e. g. gluten-soy, gluten-casein)하여 사용될 수 있는 기능성 단백질이다(Kinsella, 1982).

## 결 론

그동안 여러가지 식품단백질의 독특한 기능적 성질에 대한 연구가 행하여져 왔으나, 이들 단백질의 기능적 성질과 실제 식품계에서의 기능성과 연관지어 연구하기 시작한 것은 거의 최근의 일이다. 값이 저렴한 기능성 식물성단백을 이용한 새로운 식품의 개발에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이것으로 동물성단백인 muscle, cheese, egg white 등을 대체하기 위한 노력이 행하여지고 있다. 그러나, 이들 특정 식품 단백질의 기능적 성질의 mechanism과 구조와의 관계를 잘 이해하여야만 이들 식품 성분을 성공적으로 모방하거나 대체시킬 수 있다.

한편, 변형식품단백을 포함한 기능성 식품 소재를 배합하여 새로운 단백질식품을 개발하려는 시도(황 등, 1992; Kim *et al.*, 1992)가 늘고 있는데, 이를 성공적으로 수행하기 위해서는 각 식품 단백질의 기능적 성질, 식품계에의 적용과 가공 조건에 대한 이해가 필요하다.

앞으로는 기능적 성질을 측정하기 위한 표준화된 실험방법의 개발, 식품 단백질의 기능적 성질의 mechanism과 구조와의 관계, 가공처리에 의한 기능적 성질의 변형, 실제 식품계에서 단백질의 작용기전 등에 대한 체계적인 연구가 필요하다고 생각한다.

## 참고문헌

- Adler-Nissen, J. and Olsen, H.S. 1979. The influence of peptide chain length on taste and functional properties of enzymatically modified soy protein. In "Functionality and Protein Structure," Pour-El, A.(Ed.), p.125. ACS, Washington, DC.
- Carpenter, J.A. and Saffle, R.L. 1964. A simple method of estimating the emulsi-fying capacity of various sausage meats. *J. Food Sci.* **29**: 774.
- Catsimpoolas, N. and Meyer, E.W. 1970. Gelation phenomena of soybean globulins. 1. Protein-protein interactions. *Cereal Chem.* **47**: 559.
- Cheftel, J.C., Cuq, J.L., and Lorient, D. 1985. Amino acids, peptides, and proteins. In "Food Chemistry," 2nd ed. Fennema, O.R.(Ed.), p.245. Marcel Dekker, INC. New York, NY.
- Cherry, J.P. and McWatters, K.H. 1981. Whippability and aeration. *ACS Symp. Ser.* **147**: 149.
- Choi, Y.R., Lusas, E.W., and Rhee, K.C. 1982. Effects of acylation of defatted cottonseed flour with various acid anhydrides on protein extractability and functional properties of resulting protein isolates. *J. Food Sci.* **47**: 1713.
- Feeney, R.E. and Whitaker, J.R. 1985. Chemical and enzymatic modification of plant proteins, In "New Protein Foods," Altschul, A.M. and Wilcke, H.L. (Ed.), p. 181. Academic Press, INC., Orlando, FL.
- Franzen, K.L. and Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of succinylated and acetylated soy protein. *J. Agric. Food Chem.* **24**: 788.
- Glicksman, M. 1982. Functional properties of hydrocolloid. In "Food Hydro-colloids", Vol.1. p.47. CRC Press, INC. Boca Raton, FL.
- Graham, D.E. and Phillips, M.C. 1976. The conformation of proteins at the air-water interface and their role in stabilizing foams. In "Foams", Akers, R.J. (Ed.), p.237, Academic Press, New York, NY.
- Hermansson, A.M. 1979. Aggregation and denaturation involved in gel formation. *ACS Symp. Ser.* **92**: 81.

- Kim(Lee), S.Y., Park, P.S.W., and Rhee, K.C. 1990. Functional properties of proteolytic enzyme modified soy protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* **38**(3): 651.
- Kim(Lee), S.Y., Park, P.S.W., and Rhee, K.C. 1992. Textural properties of cheese analogs containing proteolytic enzyme-modified soy protein isolates. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **69**(8): 755.
- Kinsella, J.E. 1976. Functional properties of proteins in foods: a survey. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **7**: 219.
- Kinsella, J.E. 1977. Functional properties in novel proteins: some methods for improvement. *Chemistry and Industry*. Vol. **5**: 177.
- Kinsella, J.E. 1979. Functional properties of soy proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **56**: 242.
- Kinsella, J.E. 1982. Relationships between structure and functional properties of food proteins. In "Food Proteins," Fox, P.F. and Condon, J.J. (Ed.), p.51. Applied Science Publishers, New York, NY.
- Kinsella, J.E., Damodaran, S., and German, B. 1985. Physicochemical and functional properties of oilseed proteins with emphasis on soy proteins, In "New Protein Foods," Altschul, A.M. and Wilcke, H.L. (Ed.), p.107. Academic Press, INC., Orlando, FL.
- McWatters, K.H. and Cherry, J.P. 1981. Emulsification: vegetable proteins. In "Protein Functionality in Foods," Cherry, J.P. (Ed.), p. 217. ACS, Washington, DC.
- McWatters, K.H. and Holmes, M.R. 1979. Influence of pH and salt concentration on nitrogen solubility and emulsification properties of soy flour. *J. Food Sci.* **44**: 770.
- Phillips, R.D. and Beuchat, L.R. 1981. Enzyme modification of proteins. In "Protein Functionality in Foods," Cherry, J.P. (Ed.), p.275. ACS, Washington, DC.
- Phillips, L.G., Yang, S.T., and Kinsella, J.E. 1987. A method for the measurement of foam formation and stability. *J. Food Sci.* **52**: 1074.
- Phillips, L.G., Yang, S.T., and Kinsella, J.E. 1991. Neutral salt effects on stability of whey protein isolate foams. *J. Food Sci.* **56**: 588.
- Pomeranz, Y. 1985. Proteins: general. In "Functional Properties of Food Components," p.155. Academic press, INC, Orlando, FL.
- Poole, S., West, S., and Fry, J. 1987. Effects of basic proteins on the denaturation and heat gelation of acidic proteins. *Food Hydrocolloids.* **1**: 301.
- Waniska, R.D. and Kinsella, J.E. 1979. Foaming properties of proteins: Evaluation of a column aeration apparatus with ovalbumin. *J. Food Sci.* **44**: 1938.
- Waniska, R.D., Shetty, J.K., and Kinsella, J.E. 1981. Protein-stabilized emulsions: effect of modification on the emulsifying activity of bovine serum albumin in a model system. *J. Agric. Food Chem.* **29**: 826.
- Whitaker, J.R. 1977. Enzymatic modification of proteins applicable to foods. *Adv. Chem. Ser.* **160**: 95.
- Wolf, W.J. 1970. Soybean protein: their functional, chemical and physical properties. *J. Agric. Food Chem.* **18**: 969.
- Wolf, W.J. 1977. Physical and chemical properties of soybean proteins. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **54**: 112.
- 손경희, 민성희, 박현경, 박진. 1991a. 분리땅콩단백질과 화학적으로 수식화한 단백질간의 식품학적 특성 비교. *한국조리과학회지.* **7**(2): 97.
- 손경희, 민성희, 박현경, 박진. 1991b. 분리녹두단백질과 이를 화학적으로 수식화한 단백질간의 식품학적 기능성 비교. *한국조리과학회지.* **7**(3): 53.
- 윤선, 최혜정, 이진실. 1991. 키위단백질 분해효소가 카제인의 기능성에 미치는 영향. *한국조리과학회지.* **7**(4): 93.
- 황인경, 김수희, 최영락. 1992. 단백질 식품자원의 개발 및 그 물성적 특성과 관능평가. *한국조리과학회지.* **8**(2): 117.