

두부의 가공과 이용

김 철 재

숙명여자대학교 식품영양학과

I. 서 론

콩(soybean ; 대두)을 이용한 식품은 동양에서는 콩 전체를, 서양에서는 콩의 영양성분을 분리하여 제품화하고 있다. 콩 전체를 자주 이용하는 동양권에서는 발효식품과 비발효식품으로 편의상 나누는데, 주요 비발효식품으로는 풋콩 또는 청콩단(green vegetable soybeans ; edamame), 콩가루, 콩나물, 콩국 또는 두유, 두유막(soy protein-lipid film ; yuba), 두부 등이 있으며 발효식품으로 우리가 잘 알고 있는 간장, 된장을 비롯해서 청국장, 템페(tempeh), 낫토(natto), 콩요구르트, 콩치즈 등이 있다. 아마도 콩단백질을 식용으로 하는 면에서 두부가 대표적인 식품이라고 말할 수 있다.

두부는 약 2000년전 중국의 한나라 때에 제조된 것으로 알려지고 있으며 초기에는 주로 왕가에서 또는 도가·불가들의 소찬으로 식용되어 왔다. 우리나라에 도입된 시기는 불교유입시기인 삼국시대 말기에서 통일신라초기나 고려말이 아닌가 싶다. 그 이후 조선시대에 이르러 두부가공기술의 발달과 더불어 서민에게 공급되었다. 조선시대의 두부가공기술이 상당하여 중국에 역으로 이전하는 사례를 남기기도 하였으며, 임진왜란을 계기로 적지 않은 두부 기술자가 일본으로 끌려가 일본의 제조기술 향상에 크게 기여한 것으로 밝혀져 두부 가공 기술이 중국에서 일본에까지 그 명성이 널리 퍼지고 기술적 차원에서도 높은 수준을 유지하고 있었다.

원료 콩사용 실적으로 보면, 두부제품은 일반두부, 연두부, 순두부, 유부, 기타의 순이다. 사용하는 응고제, 성형방법, 가열·냉각 방법 등에 따라 다소 차이가 있다. 현재 판두부 위주의 제품에 순두부, 연

두부 등의 포장이 이뤄진 것 이외에는 신제품의 발전을 볼 수 없고, 생산능력 과다로 가격경쟁이 심하다. 그러나 일부 학계에서 전두부, 얼린두부, 건조두부, 인스턴트두부 등에 관한 가공연구를 하고 있어 입맛에 맞고, 부식으로 즐겨 찾을 수 있는 두부제품 다양화에 노력하고 있다.

현재 두부는 우리 나라를 비롯해 중국, 일본, 동남아시아 등의 동양권뿐만 아니라 미국을 비롯한 서구에서 관심을 갖고 있어 세계적인 식품이 되어가고 있다. 이는 두부가 갖고 있는 영양분이 풍부하고 가격이 저렴하다는 이유도 있지만 무엇보다도 금후 소비자의 식생활 패턴변화가 편의지향, 고급 맛지향, 건강지향이라는 특징적 경향을 띠고 이에 관심이 높아짐에 따라 점차 콩과 이의 가공식품, 특히 두부에 대한 식품 신소재로서의 인식과 이용이 새롭게 되어가고 있기 때문이다.

본 연구에서는 두부가 원료 콩으로부터 소비자에 이를 때까지의 두부 제조공정과 야기된 문제점을 논하고 두부의 가공과 이용에 대한 우리의 실정을 소개하고 두부의 이용을 활성화하기 위한 발전방향을 모색하고자 한다.

II. 본 론

1. 두부의 정의 및 영양

중국에서 두부의 제조법이 알려진 이후로 우리나라에 전파된 것은 삼국시대 말기에서 통일신라시대 초기나 그 이후인 고려말이었으리라는 추측이다¹⁾. 1960년대까지만 하더라도 생계를 유지하기 위해 조금씩 만들어 이웃주민들에게 판매하던 가내공업으로부터 1962년 식품위생법이 최초로 제정공포되었고 1967년에 개정된 법 조항으로 두부류 제조업 시

설기준이 설정되고 국내 기계업의 발달과 식품위생법의 강화로 점차 제조공장으로 발전되기 시작하였다.

오랜 역사와 전통을 가진 두부가 현재까지 변치 않고 전래되는 것은 아마도 두부만이 갖는 고유의 특성 때문이라 할 수 있다. 두부는 맛이 담백하여 체내 신진대사 및 성장발육에 필요한 단백질과 지방, 그리고 철분 및 칼슘 등의 무기영양분이 함유된 식물성 단백질식품으로 지금까지 전통 고유식품으로서의 자리를 굳건히 지키고 있다.

두부(doobu, Korea; tou-fu, China; tofu, Japan; tahu or taufoo, Indonesia and Malaysia; tokua, Philippine; soybean curd, U. S. A.)라 함은 식품공전에 정의하였듯이²⁾ 대두를 원료로하여 얻은 대두액에 응고제를 가하여 응고시킨 것으로 수용성 단백질을 수화시키고 Ca과 Mg의 염화물 또는 황산염을 첨가하여 수용성 단백질 성분을 침전, 응고시킨 후 탈수, 성형한 것이다. 학술적으로 표현한다면 마쇄시 대두 중에 함유된 단백질이 교질 현탁액인 두유로 만들어지고 여기에 응고제를 첨가한 후 중화시켜 침전, 응고된 겔(gel) 상태로 정의된다. 대두단백질로 형성된 망상구조에 수분, 대두지방, 그리고 다른 성분들이 들어 박혀있게 된다. 따라서 두부제조는 간단한 단백질 과학이며 대두가 갖는 수용성 단백질의 추출과 응고제에 의한 응고가 중요한 요소가 된다.

두부의 성분은 추출 및 응고방법, 그리고 사용된 대두품종에 따라 차이가 있으나, 일반적으로 Ca함량이 높고 100g 당 84 kcal의 열량을 가지며³⁾ 전통적인 동양문화권의 경우, 85% 수분, 7.8% 단백질, 그리고 4.2% 지방과 2mg/g 칼슘을 갖고 있다. 만일 건조중량으로 표시하면 50% 단백질과 27% 지방이며 나머지는 탄수화물과 무기질이다.

두부는 소화가 용이한 식물성 단백질로 중요한 단백질 급원식품이다. 두부의 소화흡수율은 96%로 생대두가 갖는 82%에 비해 가열처리로 높은 편이며⁴⁾ 대두단백질은 함황아미노산(methionine과 cysteine)이 부족하다는 단점이 있으나³⁾, 대두의 단백질은 우유나 달걀 단백질의 85~95% 정도로, 동물성 단백질과 비교될만한 영양가 높은 건강식품이다.

한편 두부에 함유된 phytic acid는 무기염, 특히 아연(Zn)의 체내 흡수를 감소시키며, raffinose와 stachyose의 다당류는 인간이 분비하는 효소에 의해서는 분해되지 않으나 장내세균에 의해 분해되어 가스를 발생하게 된다⁵⁾. 대두는 또한 생리활성물질, trypsin inhibitor, goitrogen, anti-vitamins 그리고 탄수화물과 결합하는 hemagglutinin이 있으나, 대개 열에 불안정하여 두부제조에서의 10~20분 열처리로 불활성화 된다⁶⁾.

세계적으로 소비되는 열량의 90%와 단백질의 70%가 식물로부터 공급받고 더욱이 2000년도의 세계인구는 60~70억으로 예상되어질 때 식물성 단백질의 의존도는 더욱 더 커질 것이며 대두로부터 제조되는 단백질 식품은 더욱더 중요한 단백질 공급원으로 정착될 것이다⁷⁾.

2. 두부의 제조

중국을 비롯한 동양에서의 전통적인 두부의 제조는 Fig. 1과 같은 과정으로 제조되며, 대두선정과 침지, 두유의 제조, 수용성 단백질의 응고, 성형들에 의한 성형 및 압착, 그리고 냉각 및 수침과정이 포함된다.

즉, 선정된 대두는 세척한 후 침지하여 마쇄한다. 마쇄시 나오는 즙액은 여과하여 두유를 얻게 되고,

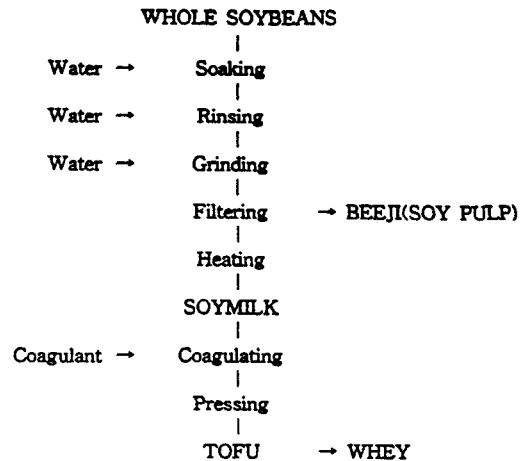


Fig. 1. Flow diagram for preparation of soymilk and tofu according to the Oriental method.

두유는 응고제를 첨가하여 커드(curd)를 형성하기 전에 가열하게 된다. 응고로 형성된 커드는 압착시켜 두부를 얻고 부산물로 순물 또는 유청(whey)를 얻게 된다. 침지과정(soaking)은 반나절 시간이 경과되며 물 사용량은 대두부피의 2~3배가 일반적이다. 침지대두는 물을 빼고 2~3번 행굼을 하고 마쇄 과정에 들어간다. 마쇄과정에서 중요한 것은 water : bean ratio이며 일반적으로 10 : 1로 사용되며 마쇄 후 소포제를 사용하여 거품을 제거할 수도 있다. 마쇄된 콩물(slurry)를 목면이나 명주를 이용하여 비지를 분리하여 생두유를 얻게 된다. 분리된 비지는 더운 물을 붓고 저어준 후 다시 여과한다. 최종으로 얻게 되는 생두유는 원래 부피에 8~10배를 얻게 된다. 생두유는 끓을 때까지 지속적으로 저어주면서 약한 불로 서서히 약 10분 정도 가열한다. 응고시키기 위해 생두유의 온도를 78℃까지 냉각시키고 응고액을 넣어 준 후 30초간 격렬하게 저어준 후 30분간 응고시킨다. 이 때 사용되는 응고제는 해수를 장시간 가열하여 얻은 식염이나 간수가 사용된다. 응고된 커드는 일단 저어주고 일부 파괴시켜 성형틀에 옮긴 후 30분간 방치해 두면 유청이 빠져나가고 두부가 견고해진다. 냉각시킨 후 원하는 크기로 절단한 후 찬물이 있는 포장 용기에 담는다.

2000년 전부터 행해온 전통적인 두부 제조방법은

많은 변천을 가져와 현재에 이르고 있는데 중요한 것은, 첫 번째로 두부의 품질 즉, 맛과 텍스처와 수율(yield)향상에 있다. 즉 대두의 침지로부터 두유로의 추출, 수용성 대두단백질의 응고 그리고 응고된 두부의 성형·압착 및 포장방법 등의 향상으로 변화되었으며, 두 번째로는 상업화 측면에서 생산 규모, 사용장비, 포장방법, 살균 및 식품첨가물 첨가 저장방법, 자동화 설비 등에 초점을 맞추어 개선되어 왔다.

3. 두부 제조에 영향을 주는 요인

1) 대두품종

대두 품종 간에는 물리적 성질이나 화학적 성분에는 많은 차이를 보여준다. 외관은 물리적 성질로, 대두의 크기, 모양, hilum 및 배엽의 색이 포함된다. 전통적으로 두부 제조에 사용되는 대두는 hilum색이 표피(seed coat)와 동일하면서 색깔이 옅은 알이 비교적 크고, 표피가 얇은 것이 좋은 것으로 알려져 있다⁸⁾. 한편 알이 큰 대두품종을 선택하는 것은 주로 심리적 효과일 수도 있다. 최근 보고에 의하면 동일한 품종을 가지고 크기별로 두부를 제조하였을 때 두부의 품질이나 수율에 어떠한 영향도 미치지 못함을 보고하였다⁹⁾. 단백질 함량이 높은 대두로

Table 1. Chemical composition of soybean and its products¹⁾

	Soybean	Soymilk	Regular doobu	Soft doobu	Soy pulp
Energy(kcal)	383.0	60.0	91.0	52.0	73.0
Moisture(g)	9.2	88.4	83.0	89.4	82.7
Protein(g)	41.3	3.1	8.6	4.7	3.9
Fat(g)	17.6	3.0	5.5	2.7	2.1
Carbohydrate(g)	21.6	5.2	2.0	2.6	11.3
Ash(g)	5.8	0.3	0.9	0.6	-
Calcium(mg)	127.0	21.0	181.0	100.0	103.0
Phosphorus(mg)	490.0	40.0	94.0	72.0	35.0
Iron(mg)	17.6	0.7	2.0	1.4	4.6
Sodium(mg)	6.0	2.0	-	3.0	4.0
Potassium(mg)	1,270.0	90.0	-	95.0	230.0
Vitamin B ₁ (mg)	0.6	0.03	0.03	0.03	0.05
Vitamin B ₂ (mg)	0.17	0.02	0.03	0.02	0.01
Niacin(mg)	3.20	0.6	0.5	1.0	-

¹⁾ Unit is in 100 grams of the edible portion.

제조된 두부 역시 단백질 함량이 높은 것처럼, 원료 대두에 따라 두부의 화학성분이 다르게 된다. 대두 및 이를 이용한 제품 두유와 두부, 그리고 부산물인 비지(soy pulp)의 성분을 Table 1에 표시하였다.

두부에 있어 맛, 텍스처, 수율은 중요한 품질요인 이기 때문에 대두의 화학적 성분이 대두의 물리적 성질보다 중요하다 말할 수 있다. 특히 단백질량, 단백질의 구성획분, 용해도, 그리고 다른 영양성분이 두부 품질에 영향을 주며 이에 관한 연구가 수십 년간 수행되고 있다. 대두단백질의 구성 획분은 침강 정수로 2S, 7S, 11S, 그리고 15S globulins으로 각각 10~15, 30~35, 30~50, 5~10%를 함유하고 있으며, 대두의 저장단백질(storage protein)인 β -conglycinin과 glycinin이 65~80%를 차지하고 있다(Table 2)¹⁰⁾.

이들 저장단백질들은 주로 protein body에 저장되어 있다. Protein body는 다소 구형태로 존재하며 크기는 2~20 μ m이다. 탈지대두분에서 분리된 protein body는 2가지 획분으로 존재하며 단백질의 함량도 각기 다르다. 또한 protein body는 단순막으로 되어 있고 약하다. 특히 배엽세포의 침지시 파괴되었을 때 이 protein body는 쉽게 분해된다¹¹⁾. 그러나 일단 열처리를 받으면 막이 단단해져 파괴하기 힘들어 그 속에 있는 수용성 단백질의 용출이 힘들어진다.

단백질의 구성성분인 conglycinin은 α , β , γ 형이 있으나 β 형이 7S 획분에 대부분을 차지하고 있다.

β -conglycinin은 α' , α 와 β 의 subunit를 갖는 삼위체(trimer)로 존재한다¹²⁾. 이들 subunit는 탄수화물을 4~5% 함유하고 있는 glycoprotein이고 β -conglycinin은 이들 subunit의 복합형태인 6 성분(B₁에서 B₆)로 이뤄지고 있으며 B₁은 1 α' 2 β , B₂는 1 α 2 β , B₃는 1 α 1 α' 1 β , B₄는 2 α 1 β , B₅는 2 α 1 α' , B₆는 3 α 로 구성된다¹³⁾. 한편 glycinin은 11S globulin으로 거의 순수한 단백질로 대두단백질에 25~35% 그리고 총 globulin에 40% 이상을 차지하고 있다. 일반적으로 glycinin은 6개의 단위체 subunit(monomeric subunit)를 갖는 육위체(hexamer)로 존재한다. 개개의 단위체 subunit는 A-S-S-B의 구조를 가지며 A는 산성 polypeptide, B는 염기성 polypeptide로 disulfide결합(-S-S-)으로 연결되어 있다. 5개의 subunit인 A_{1a}B₂, A_{1b}B_{1b}, A₂B_{1a}, A₃B₄, A₅A₄B₃의 구조나 물리적 특성이 알려지고 있으며 이들 특성에 의해 A_{1a}B₂, A_{1b}B_{1b}, A₂B_{1a}는 I군에 그리고 A₃B₄와 A₅A₄B₃는 II군으로 나뉘지며, I군이 II군에 비해 분자량이 비교적 일정하며 또한 methionine도 더 많이 함유하고 있다¹⁴⁾. 최근 발표에 의하면 미국에서 생산되는 모든 대두품종에는 5 subunit를 모두 포함하고 있으나 일반산 품종의 약 20% 정도는 A₅A₄B₃ unit가 결여된 것으로 보고되고 있다¹⁵⁾.

Glycinin과 β -conglycinin의 영양적 특성과 기능성에는 차이가 있는데¹⁴⁾, 11S globulin인 glycinin은 β -conglycinin보다 단위단백질당 3~4배 정도

Table 2. Major components of soy proteins

Fraction	Content(%)	Components	Mol. Wt.
2S	10~20	Trypsin inhibitor (Browman-Birk)	7,900
		Cytochrome C	12,500
		Trypsin inhibitor (Kunitz)	21,500
		Enzymes	6,000~15,000
7S	30~35	Enzymes	70,000~240,000
		Lipoxygenase	100,000
		7S Globulin (conglycinin)	104,000
		Agglutinins	110,000
		7S Globulin (β -conglycinin)	140,000~170,000
11S	30~50	11S Globulin (Glycinin)	350,000
15S	5~10	Urease	480,000
		15S Globulin	600,000

methionine과 cysteine을 더 함유하고 있다. 일반적으로 대두단백질에는 함황아미노산이 부족한데 영양학적 측면에서는 11S globulin이 더욱더 가치가 있다. 한편 두 단백질간에는 기능성, 특히 겔화 능력, 열 안정성, 유화 형성 능력에 차이가 있다. 일반적으로 11S획분은 겔 형성 능력이 강하고 7S획분은 유화 형성 능력이나 유화 안정성이 좋다¹⁶⁾. 더욱이 glycinin의 A₅A₄B₃ subunit의 존재 유무는 두유의 겔화 능력이나 두부겔의 견고성에 영향을 준다. 즉, A₅A₄B₃를 갖지 않는 대두로 제조된 두유로 만든 두부는 훨씬 부드럽고 균일한 gel을 형성한다¹⁷⁾.

두 단백질간 겔화 능력에 대한 열처리 효과를 보면 80℃에서 30분간 처리시 11S 겔이 7S 겔보다 견고성이 약해서 더 높은 온도를 필요로 하였으며¹⁸⁾, 100℃에서 5분 이내 처리하였을 때도 7S 겔이 딱딱하였다. 응고제로 황산칼슘을 사용하였을 때 11S획분의 겔형성이 빨라지고 응고 덩어리도 컸으며, 더욱이 11S 겔이 7S 겔 보다 딱딱하여 응고제의 중요성을 보고하였다¹⁹⁾. 따라서 glycinin 단백질이 β-conglycinin보다 열에 의한 겔형성 능력이 불안정함을 알 수 있다(Fig. 2). 또한 제조된 두부의 경도(hardness), 파쇄성(brittleness), 껌성(gumminess)에 영향을 준다.

단백질과 획분함량이 높고 무기질 인 함량이 적은 대두품종으로 제조한 두부에서는 두부의 수율이 높았고, 고품성분 함량과 pH가 높은 두유로 제조한 두부도 역시 두부의 수율이 높았으며 경도도 높았다. 특히 인의 함량이 증가하면 두부의 파쇄성도 높았다. 인의 2/3 정도는 phytic acid 형태로 존재하는데 대부분이 두유로 추출되거나 두부제조시 단백질과 함께 침전된다. 따라서 두유나 두부의 품질에 영향을 미친다. 특히 인은 두부에 있어서 경도를 낮추는 역할을 하는데²⁰⁾, 응고시 단백질과 경쟁하거나 2가 이온과 작용하여 수분을 더 많이 함유한 고질상의 침전을 유도한다. 그러므로 phytic acid를 많이 갖고 있는 대두로 두부를 제조시 두부 품질에 미치는 효과를 고려하여 원래보다 많은 양의 응고제를 사용해야 한다.

1960년대 초반까지만 해도 적은 인구수에다 대두

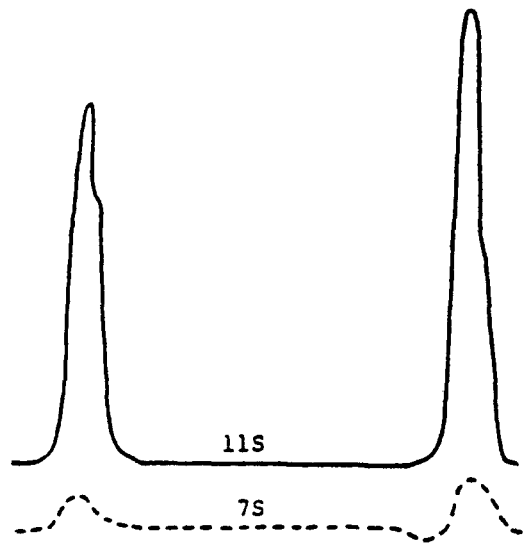


Fig. 2. Texturometer profile of calcium sulfate coagulated tofu prepared from 7S(bottom) and 11S(top).

를 이용한 가공품의 종류가 적었기 때문에 그 시기의 두부 제조는 거의 국산 콩을 활용하였다. 그러나 Table 3에서 보듯이 1965년도에는 국산콩의 자급율이 100%였던 것이 1995년 이후 10%이하로 떨어져 국내산 콩으로 충당하기가 어려운 실정이다. 이는 무엇보다도 콩 재배면적의 감소에 있다. 농촌의 도시화, 산업화로 농지의 비농업화로 콩수율의 감소, 농민의 콩파종 기피와 특용작물로 대체화, 축산업 발전으로 인한 사료용 콩의 대량수입 등으로 요약된다²¹⁾. 국내산 콩의 자급율이 10% 내외이고 보니, 절대물량이 부족하여 제품의 용도에 구분됨이 없이 거의 모든 제품은 수입산 콩에 의존해야 하는 것이 우리의 실정이다. 수입콩은 정부에서 수매한 국산콩과 pool화 가격으로 두부 제조업소에 연계 공급된다. 수입 콩은 대부분 미국산으로 미국의 콩 등급 기준에 맞는 U. S. No. 1급인데 수입국에서 별크상태로 선적해 들여와 깨끗이 정선하여 단위포장하기 때문에 정선되지 않은 국산 콩보다 깨끗하다. 정선이 잘 된 수입콩과 정부가 수매한 국산콩에 있어서의 두유 및 두부제조에 대한 가공 적성 연구가 필요하다. 수입콩과 국산콩의 성분이나 품질 등에 관한 품

Table 3. Yearly supply status of soybean

Year	Domestic (MT)	Imported (MT)	Supply (MT)	Yearly Consumption(MT)	Self-supply rate(%)
1965	163	0	163	163	100.0
1970	229	36	272	266	86.1
1975	319	61	410	372	85.8
1980	257	417	777	733	35.1
1985	254	885	1,226	1,130	22.5
1990	252	1,092	1,382	1,253	20.1
1991	253	912	1,341	1,227	19.0
1992	183	1,304	1,597	1,503	12.2
1993	176	1,113	1,383	1,274	13.8
1994	170	1,299	1,578	1,347	12.6
1995	160	1,435	1,826	1,558	10.3
1996	160	1,467	1,889	1,618	9.9

Source: Data adapted and modified from Reference (21).

Table 4. Proximate composition of Korean soybeans

Soybean variety	Moisture(%)	Protein ¹⁾ (%)	Lipid(%)	CHO(%)	Ash(%)
Paldal	8.00	40.66	19.13	34.60	5.61
Baegun	7.90	36.85	21.11	36.85	5.19
Bangsa	7.58	38.45	21.65	33.90	5.99
Duckyoo	8.76	43.82	19.53	31.02	5.63
Jangback	7.75	38.48	20.81	35.32	5.39
Hwangum	7.68	39.88	20.01	34.79	5.32
Jangyeob	7.74	40.35	19.29	34.88	5.47
Danyeob	7.46	40.58	18.72	35.49	5.22
Hill	8.37	36.01	20.77	38.28	4.91
Suwon-133	9.30	41.51	19.81	33.56	5.12
Suwon-138	7.82	41.04	20.64	33.42	4.89
Suwon-141	8.59	41.48	20.21	33.75	4.86
Suwon-142	8.72	38.65	19.84	36.58	4.93
Millyang-21	8.87	41.75	19.86	33.41	4.97
Maximum	9.30	43.82	21.65	38.28	4.99
Minimum	7.46	36.01	18.72	31.02	4.86
Average	8.18	39.97	20.10	34.77	5.25

¹⁾ Values are expressed as dry basis.

종별 비교 연구가 전무한 상태이기 때문이다. 국내에서 장 등^{22, 23)}은 농촌진흥청에서 추천한 14가지 장려 콩품종을 대상으로 두부를 제조하여 콩과 두부의 화학적 조성, 텍스처 특성과 관능적 특성 등을 연구하였다. 품종간 두부 수율은 수분, 단백질, 탄수화물 등 화학적 조성과 밀접한 관계가 있었으며 텍스처 특성 중 파쇄성, 부착성, 겹성은 품종간의 차이가

많았으며, 두부의 냄새와 맛에서도 품종간에 많은 차이가 있음을 보고하였다(Table 4, 5). Tsai 등²⁴⁾은 대만산 콩과 수입콩(미국산)을 사용하여 두부를 제조하여 두부 품질 특성과 수율을 비교하였을 때 별 차이가 없음을 보고하였다. 한편 Wang 등²⁵⁾은 일본산과 미국산 대두를 품종별로 콩의 이화학적 특성과 두부를 제조하여 품질 특성과 수율을 고찰하였

Table 5. Comparison of textural properties of soybean curd prepared with various varieties of Korean soybeans

Soybean variety	Textural properties of soybean curds						
	Hardness (kg)	Fracturability (kg)	Elasticity	Adhesiveness (cm ²)	Cohesiveness	Gumminess ^a	Chewiness ^b
Paldal	0.58	0.24	0.94	0.97	0.49	0.28	0.27
Baegun	0.80	0.33	0.95	1.06	0.52	0.41	0.30
Bangsa	0.73	0.35	0.96	0.84	0.47	0.35	0.33
Duckyoo	0.62	0.25	0.93	0.85	0.47	0.29	0.27
Jangback	0.64	0.25	0.93	0.82	0.48	0.30	0.28
Hwangum	0.87	0.30	0.92	0.60	0.44	0.38	0.35
Jangyeob	0.91	0.38	0.97	1.02	0.49	0.45	0.43
Danyeob	0.83	0.38	0.95	0.96	0.49	0.41	0.39
Hill	0.61	0.25	0.95	1.08	0.48	0.30	0.28
Suwon-133	1.02	0.43	0.97	1.06	0.48	0.49	0.48
Suwon-138	0.76	0.29	0.87	1.00	0.40	0.31	0.27
Suwon-141	0.65	0.24	0.93	0.88	0.46	0.30	0.28
Suwon-142	0.59	0.20	0.93	0.63	0.49	0.29	0.27
Millyang-21	0.85	0.32	0.95	0.99	0.47	0.40	0.38

^a Gumminess: Hardness × Cohesiveness.^b Chewiness: Hardness × Elasticity × Cohesiveness.**Table 6.** Physical and chemical properties of five U.S. and five Japanese soybean varieties used to make soymilk and tofu

Variety	Color of seed coat	Color of hilum	Moisture (%)	Protein (%)	Oil ¹⁾ (%)	Weight (g) of 100 beans	Weight (g) of 50-g beans at complete hydration
U.S.							
Coles	Tan, dull	Yellow	7.95	43.2	18.5	20.27	114.4
Vinton	Tan, dull	Yellow	8.10	45.1	17.9	24.11	112.1
Weber	Tan	Black	7.71	40.9	19.3	15.24	115.0
Hodgson	Tan	Bluff	7.78	40.9	19.4	18.25	112.9
Corsoy	Tan, dull	Yellow	7.86	40.8	18.9	17.74	114.6
Japanese							
Kitamusume	Tan, green hue	Dark brown	7.86	40.8	19.4	22.30	120.2
Tokachi-Nagaha	Tan, green hue	Dark brown	8.05	41.8	17.3	18.65	119.3
Wase-Kogane	Tan, bright	Yellow	8.23	45.2	17.4	17.53	108.8
Yuuzuru	Tan, green hue	Yellow	7.79	42.3	17.7	35.35	123.0
Toyosuzu	Tan, green hue	Yellow	7.94	44.1	18.1	24.45	119.3
SE ²⁾			0.09	0.5	0.2	0.36	1.1
LSD ³⁾			0.26	1.6	0.7	1.13	3.6

Source: From Reference²⁵⁾.¹⁾ Dry basis. ²⁾ Standard error of the mean. ³⁾ Least significant difference (P=0.05).

다(Table 6, 7). 그들의 연구 결과에 의하면 품종간의 이화학적 특성에는 차이가 있었으나 제조된 모든

두부에서는 두부 고유의 맛과 텍스처를 갖고 있었으며, 두부 수율, 단백질 회수율과 두부의 경도에 차이

Table 7. Yields and characteristics of tofu prepared from five U.S. and five Japanese soybean varieties

Variety	Soymilk		Fresh Tofu		Fresh Tofu			Protein Recovery		Fresh Tofu Hardness (kg)		
	Protein (%)	Oil (%)	Yield ¹⁾ (g)	Moisture (%)	Protein (%)	Oil (%)	Yield ²⁾ (g)	Protein (%)	Oil (%)		In Milk (%)	In Tofu (%)
U.S.												
Coles	3.15	1.49	156.3	84.87	7.56	4.25	54.11	49.92	28.06	67.98	63.07	0.46
Vinton	3.50	1.40	184.1	85.43	7.62	3.79	58.37	52.24	25.98	71.27	67.62	0.37
Weber	3.00	1.71	192.7	85.68	6.80	4.33	59.80	47.52	30.22	68.35	69.52	0.28
Hodgson	3.10	1.63	178.1	84.93	7.35	4.41	58.00	48.75	29.25	71.61	69.11	0.35
Corsoy	3.16	1.62	180.2	85.31	7.15	4.22	55.92	48.63	28.70	71.99	69.80	0.36
Japanese												
Kitamusume	3.07	1.65	167.3	84.37	7.37	4.68	56.59	47.10	29.95	68.25	65.39	0.38
Tokachi-Nagaha	3.09	1.46	175.3	85.12	7.50	3.98	56.71	50.42	26.77	70.49	68.35	0.36
Wase-Kogane	3.41	1.37	169.7	84.20	8.42	4.06	58.43	53.30	25.67	70.29	68.97	0.46
Yuuzuru	3.24	1.41	178.9	85.65	7.16	3.92	55.57	49.83	26.33	71.39	65.48	0.32
Toyosuzu	3.32	1.56	185.8	85.54	7.38	4.30	58.41	51.02	27.23	69.96	67.59	0.32
SE ³⁾	0.07	0.03	5.8	0.52	0.34	0.17	2.05	0.84	1.35	0.93	2.95	0.02
LSD ⁴⁾	0.23	0.08	18.4	1.62	1.07	0.52	6.47	2.65	4.27	2.92	9.28	0.07

Source: From Reference²⁵⁾.

¹⁾ From 50g soybeans(as is basis).

²⁾ From 100g soybeans(dry basis).

³⁾ Standard error of the mean.

⁴⁾ Least significant difference(P=0.05).

가 있었다. 특히 두부의 성분, 색상에서는 차이가 있었으며 단백질과 지방의 함량이 높은 대두로 제조된 두부도 역시 이의 높은 함량을 갖고 있음을 확인하였고 검정색 hilum을 갖는 콩의 두부는 색상이 다소 회색에 가까웠다. 따라서 대두품종이 두부의 품질 특성에 미치는 영향은 큰 것으로 생각되며 기존의 생산공정 시설조건 하에 여러 품종의 대두로 두부를 제조한 후 품질 특성, 즉 맛과 텍스처, 수율, 외관 등을 관찰하여 적절한 품종을 선택하는 것이 현명하다.

2) 두유의 제조

두유는 두부 제조의 중간원료로 우유를 생산하지 못하는 곳에서의 우유 대체음료로서의, 우유의 lactose를 소화시키지 못하는 유아를 위한 이유식으로, 그리고 건강식품으로, 즉 cholesterol이 없고 생리활성물질(phytochemicals)를 갖는 대두식품으로 각광받고 있다.

우리 고유의 낱말인 '콩국'은 한자 표기로는 '豆汁'이라 하며 오늘날에는 두유(豆乳)로서 흔히 알려져

있으며 콩국의 원천적인 조리법은 콩을 불려서 멧돌에 갈아 비지를 분리한 콩의 精液을 말하므로 흔히 두부제법과 동일한 방법으로 볼 수 있으나, 콩국을 이용한 조리음식의 유형은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 그 하나는 콩국을 음료로 곧바로 이용할 수 있는 제법으로 콩을 삶아서 콩국을 얻으며, 다른 하나는 콩국을 얻어 콩국을 만드는데 이용되는 콩국형으로, 두부 공정에서 얻어진 콩국 그 자체와 유사하게 콩을 불려서 곧바로 콩국을 얻는 것으로 예전부터 넓은 의미에서의 콩국 조리법에는 양면성이 있었다는 것을 알 수 있다.

두유의 제조를 위해 올바른 콩의 선택은 무엇보다 중요하다. 앞서 서술하였듯이 콩의 물리적 성질과 화학적 성분이 두유의 고형성분과 단백질 수율에 영향을 미칠 뿐만 아니라 두유의 맛, 냄새, 색에도 직접 영향을 미친다. 두 번째로 중요한 것은 표피를 제거할 것인가의 문제이다. 대부분의 두유 가공업자는 콩의 표피를 제거하지 않는 생콩을 사용하고 있다. 콩 표피를 벗기지 않은 생콩으로 두유를 제조하는 것이 표피를 벗기고 배엽만으로 제조한 두유보다

고유의 맛이 약간 더 좋고 두유 여과시에 겉질이 여과 보조제 역할을 하여줌으로써 효과적이다. 그러나 콩 표피를 벗겨줌으로써 풀냄새와 같은 향 (green or raw flavor)을 제거해 주며 흰색의 두유를 얻을 수 있으며 소화력을 향상시킬 수 있고 다당류의 함량을 줄여 줄 수 있으며 콩의 침지시간을 단축하는 이점도 있다. 배축(hypocotyl axis)에는 불포화지방산과 isoflavone이 배엽보다 많기 때문에 탈피과정 중에 일부 배축이 배엽으로부터 이탈되어 두유의 콩 비린내가 다소 환원되어질 수 있다.

수침과정은 콩이 수분을 흡수하여 조직이 부드러워지고 마쇄가 용이하게 되어 수용성단백질 및 기타 고형성분의 용출 및 분산을 용이하게 한다. 또한 콩이 수분을 흡수하기 시작하면 lipase나 lipoxygenase(LOX), 특히 LOX의 활성화²⁶⁾와 isoflavone의 가수분해로 off-flavor(beany, painty, bitter and rancid flavors)와 불쾌한 뒷맛(objectionable aftertaste)이 없는 두유를 제조하기 위해 수침시간의 조절이 필요하다. 수침시간이 필요이상 길어지면 수용성 고형분, 즉 비단백태 질소, 수용성 탄수화물, 무기질 등이 침지수에 용해되어 나오는데 24시간과 72시간에 각각 5%, 10%의 고형성분을 잃게 된다. 침지온도는 두유 생산에 중요한데 수화율, 고형성분 누출율, 대사변화율 등 두유 품질에 영향을 준다.

콩 그 자체를 장시간 수침하는 것보다는 콩의 수분 함량을 조절하여 표피와 배축을 제거한 배엽(cotyledon)만으로 2~8등분으로 하여 작은 알갱이 (grits)나 박편(flakes)을 사용하여 수침시간의 단축을 유도하며 또한 분리콩단백(isolated soy protein)을 원료로 이용하거나 300 mesh 이상 미세한 전지콩가루의 사용도 고려해 볼직하다.

마쇄는 배엽의 세포조직을 분열시켜 콩이 갖는 단백질, 지방을 포함한 고형성분을 수용화 또는 현탁화시켜 콩죽(slurry)를 만드는 과정이다. 마쇄시 고려해야 할 것은 이취미의 발생과 마쇄온도에 따른 두유와 제조될 두부의 품질이다. 마쇄온도가 적어도 85°C 이상이면 LOX에 의한 콩 비린내나 산패취는 형성되지 않는 것으로 알려지고 있다. 한편, Obata와 Matsuura²⁷⁾는 마쇄시 마쇄온도를 조정하지 않으면 lipoxygenase(LOX)에 의한 대두 지방의 산화가 촉진되어 콩 비린내를 생성하며, 더욱이 두유의 SH함량이 감소되어 결국 두부의 경도에도 영향을 미친다고 보고하였다(Fig. 3). 따라서 효소 LOX는 콩 비린내 발생뿐만 아니라 두유의 SH함량 감소에 관여함을 알 수 있다. LOX는 동질효소(isozyme) 1, 2, 3가 있는데 이들 동질효소도 SH함량 감소에 관여하며 특히 LOX-2 와 LOX-3의 감소 효과가 크다²⁸⁾. 마쇄시 가수량은 두유제품의 종류

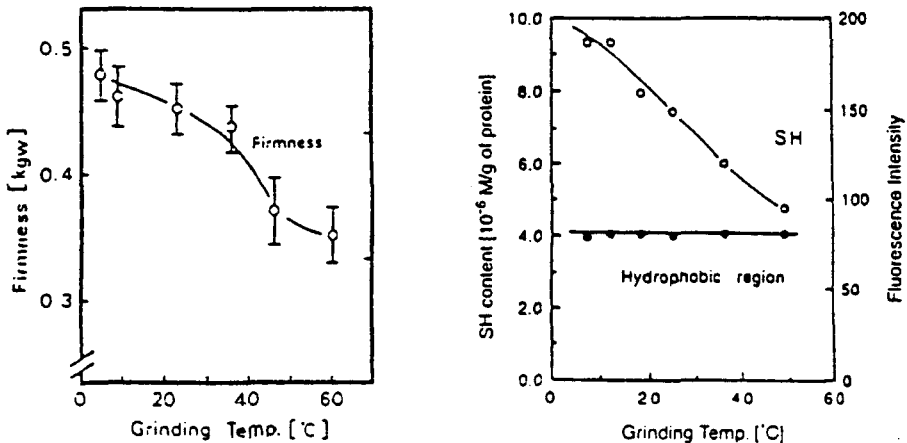


Fig. 3. Effect of soybean grinding temperature on the firmness of tofu, and the SH-content and the hydrophobic region in heated soymilk.

그리고 콩이 흡수한 수분량에 따라 정해지며 제품에 합당한 고형성분을 갖도록 정한다. 두유의 농도는 두유가 갖는 고형성분으로 나타내며 굴절계로 직접 읽어 °Brix로 표시한다. 두유의 농도는 마쇄시 water : bean ratio와 soymilk : bean ratio와 관계하며 다음의 식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \text{Ratio of water to bean} &= \frac{\text{Total weight of water during soaking, grinding, heating}}{\text{Original weight of dry soybeans}} \times 100 \\ \text{Ratio of soymilk to bean} &= \frac{\text{Total weight of soymilk}}{\text{Original weight of dry soybeans}} \times 100 \end{aligned}$$

두유 제조시 비지에 수분이 함유하므로 일반적으로 soymilk : bean ratio는 water : bean ratio의 92%가 적당하다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 water : bean ratio가 10 : 1일 때 두부의 단백질 수율이 가장 높음을 알 수 있다²⁹⁾. Silk두부나 압착두부에 관계없이 두유의 고형성분 함량이 높으면 두부의 경도가 증가됨을 보고하고 있다. Water : bean ratio에 따라 두유를 3가지로 나누어 표준화하고 있으며 (Table 8) 이에 따라 구성 성분도 달라진다. 진한 두유(rich soymilk)는 silk두부나 두유막(yuba)제조에 적당하고 dairylike soymilk는 우유대체용으로 그리고 economy soymilk는 일반두부의 제조나 두유음료제조에 적당하다³⁰⁾. 두유의 농도가 두부의 수율과 텍스처에 미치는 영향에 있어서 농도가 증가함에 따라 두부 수율과 응집성(cohesiveness)은 감소하나 부서짐성(brittleness), 탄력성(elasticity)과 경도(hardness)는 증가한다.

두유 제조방법은 전통적인 방법(Fig. 1)³¹⁾과 이

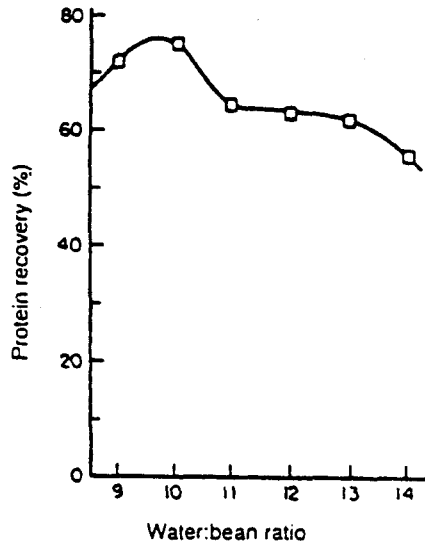


Fig. 4. Percentage of protein recovered in the tofu vs. the ration of water : beans used for the maceration.

를 개선한 온탕추출법인 Cornell 방법(Fig. 5)³²⁾, 마쇄 전과 후에 가열처리하는 Illinois방법(Fig. 6)³³⁾, 그리고 steam으로 고온단시간 열처리하는 RHHC(Rapid hydration hydrothermal cooking) 방법 (Fig. 7)^{34,35)} 등이 두유 제조 방법으로 알려지고 있으며 전통적인 방법에서는 생추출법과 가열추출법으로 나눌 수 있다(Fig. 8). 전통적인 두유 제조에서는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 2000년전 중국에서 유래된 생추출방법이다. 그러나 일본에서는 여과 전 콩죽을 가열처리하는 가열추출법을 사용하고 있다. 이 방법은 중국방법보다 두유 추출이 용이하고 수율도 다소 개선되었으나 가열시 콩죽이 타거나, 두유 여과의 어려움, 그리고 energy 소비가 큼이 단점이다. 두 방법 다 전통적인 두유 제조방법으

Table 8. Approximate composition of three basic categories of soymilk

Soymilk	Water:bean ratio	Solids(%)	Protein(%)	Fat(%)
Rich	5:1~6:1	10~11.5	4.5~5.2	2.8~3.2
Dairylike	8:1~8.5:1	7.4~8.0	3.3~3.6	2.1~2.3
Economy	10:1	6.0	2.7~3.3	1.2~1.6

Source: Data adapted and modified from Reference ³⁰⁾.

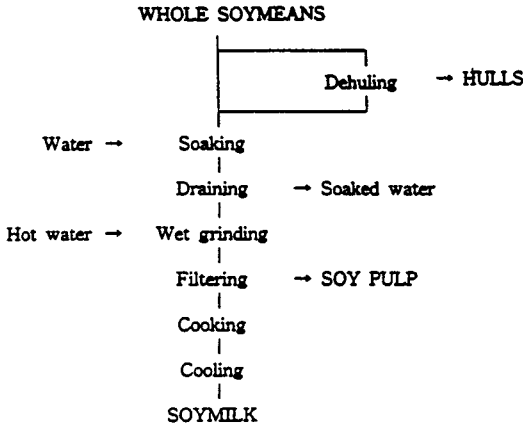


Fig. 5. Flow diagram for preparation of soymilk according to the Cornell Process.

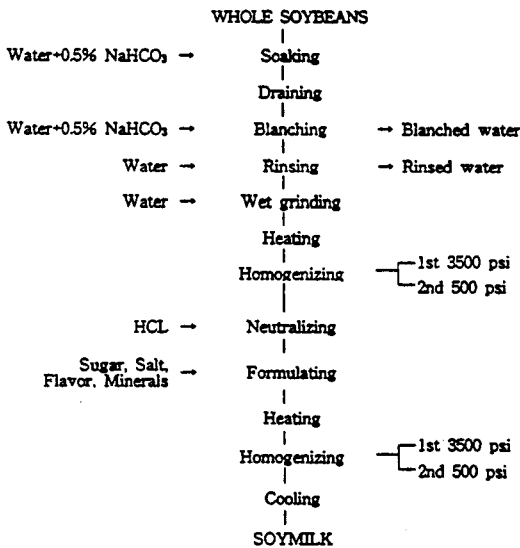


Fig. 6. Flow diagram for preparation of soymilk according to the Illinois Process.

로 알려지고 있다. 전통적인 제조방법으로 두유를 제조할 때 품질상 가장 큰 문제는 이취미와 특이한 뒷맛(aftertaste)라고 하겠다. 또한 두유 수율이 낮은 경향이 있다. 전통적인 방법이나 개선된 두유 제조방법에서는 적어도 한번 또는 그 이상의 가열처리를 하고 있다. 두유 가공 중 가열처리의 목적은 첫째

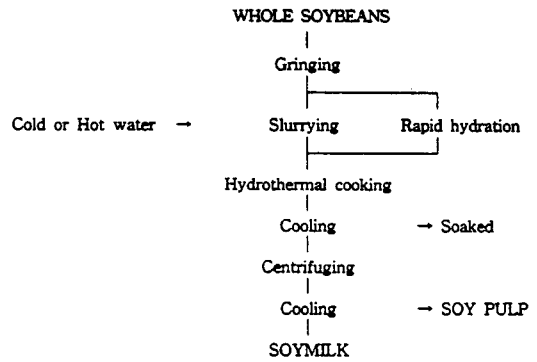


Fig. 7. Flow diagram for preparation of soymilk according to the Rapid Hydration Hydrothermal Cooking Process.

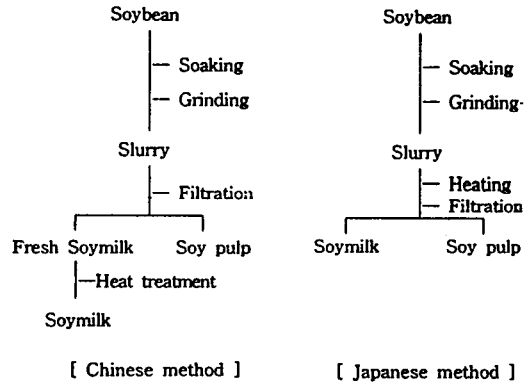


Fig. 8. Traditional Chinese and Japanese methods for preparing soymilks.

콩이 갖고 있는 TI나 lectin과 같은 비영양인자를 불활성화 시키고, 둘째 대두단백질을 어느 정도 변성시켜 소화율을 높이고, 셋째 콩이나 제조기로부터 오염되는 미생물을 사멸하여 두유나 두부의 저장성을 향상시키고, 네번째 콩죽으로부터 두유 추출을 용이하게 하고, 마지막으로 LOX를 불활성화시켜 지방산패나 콩 비린내의 발생을 최소화하는데 있다. 두유에서는 콩단백식품에 일반적으로 사용되는 용해도 즉, NSI(nitroten solubility index)나 PDI(protein digestibility index)는 적용될 수 없고 대개 고형성분이나 단백질의 수율로 표시한다³⁶⁾.

Process	Traditional	Cornell	Illinois	RHHC	Alfa-Laval
	SB SOAK COLD GRIND COOK FILTER (100°C/20 MINS) FILTER COOK	SB SOAK HOT GRIND (>80°C) COOK (100°C/ 10 MINS) FILTER	SB or DSB ALKALINE SOAK BALANCH (100°C/10-20 MINS) GRIND COOK (to 82°C) HOMO	SB GRIND TO FLOUR SLURRY IN H ₂ O COOK (154°C/ 30 SECS) COOL FILTER	SB or DSB HOT GRIND FILTER COOK DEODORIZE
BEANY FLAVOR	STRONG	IMPROVED	NONE	NONE	NONE
SOLIDS YIELD	61% (55~65%)	65%	89%	86%	-
PROTEIN YIELD	73% (70~80%)	83%	95%	90%	70%

Fig. 9. Summary of soymilk process. SB=cleaned soybeans, DSB=dehulled, cleaned soybeans, RHHC=rapid hydration hydrothermal cooking.

따라서 위에서 열거한 여러 두유 제조방법의 고형성분 및 단백질 수율을 Fig. 9에 표시하였다³⁰⁾. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 수율면에 있어서 Illinois방법이 다른 제조방법보다 우수함을 알 수 있다.

Cornell 방법은 콩 비린내를 제거하기 위해 마쇄 온도를 80°C로 유지해야 하며 마쇄시 처음 수조간이 중요하다. 따라서 80°C로 유지하기 위해 콩을 예열시키거나 또는 신속히 수화가 일어나는 온수에서 콩을 침지시켜 사용한다.

마쇄 전과 후에 가열하는 대표적인 방법으로 Illinois process(Fig. 6)가 있다³³⁾. 이 방법은 대두를 NaHCO₃용액에 침지시켜 불린 뒤 약 80°C에서 30분간 가열(pre-blanching)하고 마쇄한 콩죽을

93°C에서 다시 가열하는 방법이다. 이 방법에서 가열된 현탁액을 높은 압력(300psi)에서 충분히 균질화시키면 고형분과 단백질의 수율을 각각 89%와 95%까지 올릴 수 있고, 콩 비린내가 거의 없다(Fig. 9). 그러나 가공비가 높고 장기간 보관하였을 때의 현탁 안정성이 문제로 되어 있다.

RHHC방법(Fig. 7)은 대두를 먼저 미세하게 마쇄한 뒤 더운 물과 신속히 혼합하여 콩죽을 만든 후 높은 온도(154°C)의 증기를 직접 주입시키면서 단시간 가열처리하여 LOX를 불활성화시켜 향미의 개선과 함께 수율을 향상시키는 방법이다^{34, 35)}. 이 방법은 단백질의 입자가 고압의 증기와 급속히 접촉하면서 단백질 입자가 부분적으로 변성되어 단백질 용

출이 쉽게 일어나게 하는 원리로서 단백질 수율이 90%까지 도달할 수 있다.

그 외에 proteinase를 주로 한 peptidase, cellulase 등 여러 가지 효소를 가열처리한 콩가루에 작용시켜 수율을 향상시킨 보고³⁷⁾가 있으나 실용화하기에는 반응시간 및 시설비용 등 문제가 있는 것으로 알려져 있다.

두유의 품질로서 가장 큰 문제인 두유의 불쾌한 냄새는 콩 비린 냄새(beaney), 곰팡이 냄새(musty), 날콩냄새(green beany), 산패냄새(rancid), 풀냄새(grassy)등으로, 맛은 콩 비린 맛(beaney), 쓴맛(bitter), 떫은 맛(astringent) 등으로 이러한 이취미(異臭味)를 주는 휘발성분은 주로 알코올류, 알데하이드류, 케톤류 및 페놀류 등으로서 가공하기 전에는 전구물질 형태로 단백질이나 탄수화물에 결합되어 있다가 두유 제조과정 중 화학반응으로 불쾌한 냄새나 맛물질로 되거나, 지방질 가공과정 중 LOX와 같은 효소반응에 의하여 생성되는 것으로 알려져 있다³⁸⁾. 열처리 이외의 방법으로서 콩을 알칼리성 물에 침지시키면 두유의 기호도가 높아진다는 보고도 있다³⁹⁾. Bourne 등⁴⁰⁾은 대두를 증류수에 침지시킨 뒤 끓는 물로 마쇄하고 얻어진 두유를 여러 가지 알칼리성 염으로 pH(6.7~8.0)를 조절한 결과, NaOH로 pH 7.0~7.5로 조절시킨 두유가 Na₂CO₃나 NaHCO₃로 조절시킨 것보다 높은 기호도를 보여주었다고 하였다. 이 결과에서 해리된 Na 이온량이 주로 두유의 기호도를 향상시키는데 많은 도움을 준다고 제안하였다. 그러나 이러한 방법들은 가열에 의한 단백질 수율 감소와 높은 온도처리로 인한 황황아미노산의 분해산물인 H₂S가스의 발생 등이 문제로 남아 있다.

두유의 또 하나의 불쾌한 느낌인 떫은 맛(astringent)은 일반적으로 polyphenol화합물이 입안의 mucoprotein과 작용하여 생긴다고 알려져 왔다. 이러한 떫은맛은 탈지유(30~50%), CaSO₄(0.2%)또는 citric acid(0.4%)를 두유에 첨가시키면 떫은맛이 현저히 감소되었다는 보고가 있다⁴¹⁾.

단백질 분산액의 유동성은 혼합, 가열, 냉각, 분무 건조, 펄핑 등의 가공공정에 중요한 영향을 미친다. 또한 유동성은 단백질 분산액의 성분, 분자형태와

크기, 전하 등과 같은 물리적 성질과 온도, pH, 농도, 이온강도 등의 가공공정에 따라서도 달라진다. Lo 등⁴²⁾은 Cornell방법(Fig. 5)으로 제조된 두유는 non-Newtonian 흐름이며 단백질 농도가 증가함에 따라 thixotropic 흐름 즉 전단력에 따라 점도가 감소한다고 보고하였다. 이러한 유동성은 두유의 현탁 안정성과 입안내의 촉감을 좋게 하여 준다는 보고가 있다⁴³⁾. 따라서 두유에 있어 점도의 조절은 품질 향상에 좋은 척도가 될 수 있다.

일반적으로 두유는 우유에 비해 점도가 다소 높은 편이다. 두유의 chalkiness(입안의 끈끄러운 촉감)는 또 다른 품질 결함으로서 침지콩 가열시 수용액의 알칼리도, 두유의 균질화 조건 및 고형성분의 농도가 중요한 영향 인자로 알려져 있다⁴⁴⁾. 균질온도가 높거나 두유의 pH가 비교적 높을 때(pH 7.7)에는 chalkiness가 감소되나, 고형성분 농도가 증가되거나 입자의 크기가 150 mesh 보다 클 때는 현저히 증가된다고 하였다. 이들은 수용액의 알칼리성이 증가될수록 두유의 점도는 증가하였으나 chalkiness는 0.25% NaHCO₃에서 가장 낮았다고 하였다. 콩에 함유된 다당류 중 raffinose와 stachyose를 분해시키는 α -galactosidase 효소가 인체내에 없어 대장에 있는 혐기성 미생물에 의하여 분해되게 된다. 이 때 미생물은 가스를 방출하게 되어 이를 소화할 수 없는 다당류를 flatulence인자라 하며 이 인자의 제거가 필요하다. 제거의 방법으로 일부 다당류가 콩 침지시 용출되어 나오거나 곰팡이의 α -galactosidase를 반응시켜 다당류로 분해하여 단맛을 증가시켜 주는 방법이다⁴⁵⁾.

두유 제조과정 중 영양성분의 변화와 TI제거는 두유의 영양적 품질상 대단히 중요하다. 특히 가열처리 중 갈색화 반응에 의한 lysine의 감소와 PER (protein efficiency ratio)의 변화는 가열온도와 시간선택의 중요성을 말해준다. 두유를 전통적으로 제조하여 93°C에서 360분간 가열하였을 때 유효 lysine에는 영향이 없었으나 PER는 가열 60분까지 0.37에서 1.96으로 증가하다가 그 후 서서히 감소하였다⁴⁶⁾. 이러한 단백질 영양의 향상은 TI의 불활성화에 의한 것이며 60분 이후에서의 감소는 단백질이 소화되기 어려운 상태로 변성되거나 lysine과 같은

필수아미노산의 분해에 의한 것이라 생각된다. RHHC방법에서 steam으로 콩죽에 순간가열(rapid hydration hydrothermal cooking)하면 154℃에서 11초 후 trypsin inhibitor(TI)가 약 88% 정도가 파괴되어 PER이 최상치이었다. 따라서 HTST처리가 단백질 분해효소 저해인자의 제거에 대단히 효과적임을 알 수 있다^{34, 35}.

두유의 추출 후 그리고 응고제 첨가 전에 열처리한다. 두유의 열처리 목적은 첫째 영양적으로 품질을 향상시키고, 둘째로 콩 비린내를 감소시키고 마지막으로 두유 단백질을 변성시켜 응고제 존재 하에 응고되기 쉽게 함이다. Saio 등¹⁹)은 두유의 가열로 대두단백질 특히 11S 확분이 덩어리화(aggregation)와 축합(polymerization)을 유도하는데 이는 SH와 SS 상호교환으로 이뤄진다고 하였다. 11S 확분은 가열하는 동안 SH group이 증가하여 두부의 경도, 응집성, 탄성(springiness)이 현저하게 증가하는 반면 7S 확분은 SH group이 증가하여도 두부 텍스처에 별 영향을 받지 않는다고 한다. 그리고 7S 확분은 가열하든 하지 않든 간에 겔을 형성하나 가열된 11S 확분으로 제조된 두부보다 견고하지 못하다. 7S 확분은 열처리로 인해 subunit로 분해되지 않고 단지 분자 자체가 덩어리로 침강(sediment)되는 것으로 알려져 있다⁴⁷). 일반적으로 두유의 가열은 끓은 후 10분간이 적정한 것으로 생각되어진다.

3) 두부응고 mechanism과 응고제

최근 Kohyama와 그의 동료들에 의해 두부응고 mechanism이 제안되었다^{48~50}). Fig. 10에서 볼 수 있듯이 두부응고 mechanism은 2과정으로 되어 있다. 즉, 열로 인한 단백질의 변성과 응고제 glucono-delta-lactone(GDL)에서 나오는 양성자나 칼슘이온에 의한 소수성 응고(hydrophobic coagulation)이다. 생두유 단백질내에 존재하는 소수성 영역은 열처리로 인해 구조 밖으로 나오면서 변성되고 음전하를 갖게 되는데 양성자나 칼슘이온에 의해 중성화되고, 증가된 중성화 단백질은 임의의 응집화(random aggregation)로 혼탁(turbid)해지면서 단백질 network를 형성한다. 이러한 현상은 단백질의 등전점 부근에서 잘 진척되어진다. 소수성 반응 이외에 수소결합, 전하-전하 상호결합이 작용한다. Obata와 Matsuura²⁷)는 disulfide결합이 gel형성에 중요하다 하였으나 Kohyama와 그의 동료들에 의하면 산성 pH조건하에 disulfide결합은 더디게 일어나 기여도가 낮은 것으로 발표하고 있다.

두유에 응고제를 첨가하면 응고되는데 식품첨가물공전상 사용이 허용되는 응고제는 3종류 4제품이며 특징을 Table 9에 나타내었다. 첫째로 염화염은 주로 Ca과 Mg의 염으로 되어 있다. 일반적으로 염화염 응고제는 황산염 응고제보다 응고속도가 빠른

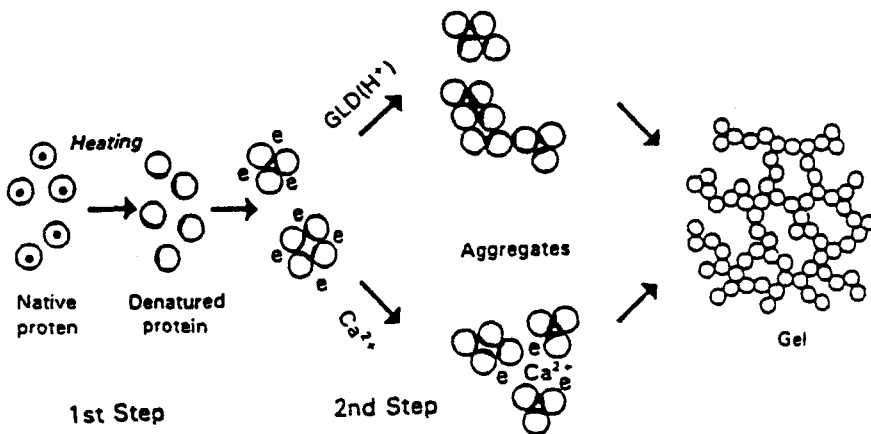


Fig. 10. Gelation mechanism of soybean proteins in the presence of GDL or CaSO₄. Circle = protein molecules; dot = hydrophobic regions.

Table 9. Kind and characteristic of protein coagulants

Kind	Temp.	Solubility	Advantage	Disadvantage
Calcium sulfate (CaSO ₄ · 2H ₂ O)	80~85	I ^{a)}	Good color Soft texture Good yield	Uneasy to handle Less tasty
Calcium chloride (CaCl ₂ · 2H ₂ O)	75~80	S	Fast coagulating Easy to separate whey during pressing	Rough texture Low yield
Magnesium chloride (MgCl ₂ · 6H ₂ O)	75~80	S	Fast coagulating Easy to separate whey during pressing	Rough texture Low yield
Glucono-delta-lactone (C ₆ H ₁₂ O ₆)	85~90	S	Easy to use Excellent coagulation Good yield	Little acidic taste

^{a)} I and S stand for insoluble and soluble, respectively.

것으로 알려지고 있다. 두 번째는 현재 가장 많이 사용되는 황산염으로 대표적인 것이 CaSO₄ · 2H₂O이다. 마지막으로 산용고제인 Glucono- δ -lactone (GDL; C₆H₁₀O₆)이 연두부 제조에 이용되며, 가정에서 두부를 만들 때는 식초산이나 구연산이 사용되어진다. 단백질 분해효소도 대두 단백질을 응고할 능력을 갖는 것으로 보고되고 있다. Papain 그리고 산성, 중성, 염기성 단백분해효소 등이 단백질 응고에 이용되고 있으나 아직 실험단계이다.

응고제 첨가량은 단백질 응고능력에 따라 다르나 0.02~0.04M 범위가 적당하며 0.1M보다 크거나 0.01M보다 작으면 응고가 일어나지 않는다⁵¹⁾. 응고제는 두부조직에 많은 영향을 주는데 염화염 응고제를 사용한 두부가 황산염을 사용한 두부보다 조직의 경도가 강한 반면에 GDL을 사용하면 조직이 가장 연하게 되며, 전자가 후자의 경우보다 잘 부서진다²⁰⁾. 따라서 두부의 용도별로 응고제의 사용조건을 달리하면 두부의 경도를 임의로 조절할 수 있다⁵²⁾. 응고온도는 응고율과 두부 품질에 영향을 준다. 일반적으로 응고온도가 높으면 응고가 빨리 진척되거나 형성된 단백질 network이 작고 수분 포화능력이 떨어지고 조직이 견고하고 수율이 상당히 떨어지게 된다. 한편 응고온도가 너무 낮으면 응고가 일어나지 않으며 수분을 너무 많이 함유하고 있어 일정한 형태로 유지할 수 없을 정도로 부드럽게 된다. 많은 학자들이 응고 온도에 대해 연구하고 있으나 일반적으로

로 적당한 응고온도는 70~80℃로 알려지고 있다. 70℃보다 낮으면 제조된 두부는 부드럽고 수분을 많이 함유하고 있으며 80℃보다 높으면 두부는 견고하고 단백질 network이 균일하지 않으면 수율이 낮게 된다⁵¹⁾.

응고제를 첨가한 후 일정한 응고시간을 제공해야 하지만 두부의 수율이 향상된다. 일반적으로 silk두부에서는 약 30분, 압착두부는 20~25분, 더 압착시킨 두부에서는 10~15분이 적당한 것으로 알려지고 있다. 두부 수율은 두부의 양과 질을 나타내는 척도로 중요하다. 두유의 수율처럼 두부에서도 수율을 나타내는 여러 가지 표현방법이 있으며 아래와 같다;

$$\text{Coagulation factor} = \frac{\text{Solids in doobu}}{\text{Solids in soymilk}} \times 100(\%)$$

$$\text{Doobu protein recovery} = \frac{\text{Protein in doobu}}{\text{Protein in soybeans}} \times 100(\%)$$

$$= \text{Coagulation factor} \times \text{Soymilk solids recovery}$$

$$\text{Doobu bulk yield (Fresh yield)} = \frac{\text{Total weight of doobu}}{\text{Total weight of whole dry soybeans}} \times 100(\%)$$

$$\text{Doobu solids yield (Dry yield)} = \frac{\text{Total weight of doobu solids}}{\text{Total weight of moisture-free soybeans}} \times 100(\%)$$

일반적으로 두부 가공업자는 높은 두부 단백질 회수율과 두부 고형성분 회수율을 선호한다. 이는 두부 판매 이익이 좋고 영양적으로 품질이 우수하기 때문이다. 전형적인 두부 제조에서 fresh yield는 사용한 콩무게에 3~5배를 얻게 되며 두부 단백질 회수율은 65~80%이다^{25, 27)}.

4) 성형 및 압착

응고과정이 끝나면 형성된 두부 curd를 깨서 직육면체 성형틀에 넣고 압력을 가하여 유청(whey)을 분리하게 된다. 깨어진 curd에 크기에 따라 두부 수율이나 텍스처에 많은 영향을 주게 된다. 일반적으로 curd의 파손율이 크면 견고한 텍스처를 가지며 수율은 적게 된다. 이 과정에서 curd 파손율 외에 중요한 것은 curd 온도, curd에 가하는 압력과 압력시간이다. Curd 온도는 68~70℃가 좋고 65℃보다 낮지 않아야 한다. Curd 온도가 너무 높으면 단백질 gel이 서로 덩어리로 뭉치지 않기 때문에 수분이 curd내에 남게 된다. 한편 curd 온도가 너무 낮으면 응집된 단백질들이 서로 회합(association)되지 않아 탈수가 쉽게 일어난다. 높은 압착력은 응집된 단백질의 회합에 도움을 주어 두부의 텍스처가 견고하게 된다. 그러나 압착력이 너무 크면 두부 network의 파괴가 일어나 두부 표면에 두꺼운 막(thick film)을 형성하게 되어 내부의 수분이 쉽게 밖으로 유출된다. 압착시간은 두부로부터 수분을 유출시키므로 두부가 견고하게 된다. 일반적으로 압착시간은 15~25분이 적당하다.

5) 냉각 및 수침

성형이 끝난 두부는 물에 냉각시켜 절단하고 1~2시간 수침하여 두부조직내 수분에 응고제 성분이 남게 되는데, 두부를 물에 담그는 것은 두부의 냉각뿐만 아니라 잔유 응고제를 용출해 내는데 목적이 있다. 따라서 여분의 응고제를 침출시켜 쓴맛 및 염분이 제거되어 맛이 좋아지게 된다.

6) 전지 대두분 박편이나 분리대두 단백질로부터 두부 제조

최근 미국에서 극동아시아에 수출할 목적으로 전지대두분/박편(full-fat soy flours/flakes)을 가지고 두유나 두부를 제조하고 있다⁵³⁾. 원래의 두부 제조방법과 비교할 때 침지시간이 단지 10분밖에 걸리지 않으며, 사용 물량은 24~48%, 그리고 전기소모도 41%나 감소시킬 수 있었다. 제조된 두부의 품질은 원래의 두부보다 텍스처가 부드러웠으며, 색상은 흰색이었고 단백질과 수분함량이 높았으며, 지방함량은 적었다고 한다. 관능검사 결과 콩 비린내도 원래 두부에 비해 높지 않았다고 한다. 한편 우리나라에서는 김^{54~56)}이 분리 대두 단백질(soy protein isolate : SPI)을 이용하여 두부를 제조하였다. 원료로 SPI를 사용함으로써 침지, 마쇄 및 여과의 과정과 압착, 성형의 공정이 제거되어 두부 제조 공정을 단축시킬 수 있었으며 연속적으로 두부를 제조하는 방법을 제시하였다. SPI를 이용한 두부의 텍스처는 시판되는 일반두부와 비슷하였고 맛에 있어서 비교적 고소한 냄새가 강하였으며, 전반적인 기호도에서 보통두부보다 높게 평가되어 대체품의 가능성을 제시하였다. 또한 두부 제조시 발생하는 유청과 침지수 등이 생기지 않아 두부 생산업자에게 환경오염 방지와 폐수처리 비용을 절감할 수 있다고 한다.

7) 전통적 방법과 다른 새로운 가공처리방법

저장기간이 오래 되어 신선치 못한 콩(aged bean)으로 두유나 두부를 제조하면 품질이나 수율이 저하된다. 오래된 콩은 일반적으로 단백질의 용해성(solubility)이 떨어지기 때문이다. 중국에서는 콩침지시 50~120V에서 2~10시간 동안 전해(electrolysis)시켜 단백질 용해도를 5~10% 증가시켰으며 제조된 두부의 텍스처나 수율도 크게 향상했다고 보고하였다. 한편 가열 방법으로 적외선 열처리(infrared heating, micronization)가 곡류나 유증자에 많이 적용되고 있다. Metussin 등⁵⁷⁾은 대두단백질 응고시 적외선 열처리를 사용하였으나 응고제나 응고온도 등과 같은 응고조건 변화에 많은 개선을 보

지 못하였다. Byun 등⁵⁸⁾은 감마선을 대두에 조사하여 두유 및 두부를 제조하여 품질을 조사하였는데 조사량(dose)에 좌우됨을 알 수 있었다. 즉 저조사량(2.5 또는 5kGy)에서는 두유나 두부의 수율은 증가하였으나 품질의 개선은 없었다. 한편 고조사량(10~20kGy)에서는 두부 수율의 감소와 함께 경도와 파쇄성은 증가하였으나 응집성과 부착성은 감소하였으며 더욱이 두부나 두유의 색상 변화가 있음을 발표하였다.

백 등⁵⁹⁾은 대두를 동결시켜 두부를 제조한 후 동결의 가공 적성과 두부의 품질에 관한 연구를 하였는데 동결대두로 제조한 두부는 수율과 지방함량은 낮았으나 경도, 껍질, 씹힘성이 비동결 대두두부보다 3배 정도 높았으며 응집성과 탄성은 동일하였다. 또한 동결 대두두부가 맛과 풍미에 있어서도 좋았다. 따라서 동결은 두부 제조시 대두단백질의 가열 변성을 용이하게 하여 주며 대두단백질간의 응집체 형성과 칼슘이온과의 가교결합도 촉진시키는 것으로 추정하였다.

8) 미생물에 대한 안전성

우리나라 식품공전²⁾에서 두부류는 10℃ 이하에서 냉장하든지 또는 음용에 적당한 물로서 가능한 환수하면서 보존해야 하며 4~10월은 24시간, 11~3월은 48시간, 냉장온도(0~10℃)에서는 3일간의 유통기간을 권장하고 있으며 일본의 경우도 보통 두부는 일반생균수가 g당 100,000이하를 지도기준으로 삼고 있다. 두부가 가게에서 소비자에게 판매될 때 10℃ 이하로 유지하는 것은 쉽지 않다. 두부는 비교적 pH가 높고(5.2~6.2) 수분함량이 높기 때문에(78% 이상) 세균감염이 쉽게 일어날 수 있다. 두부가 세균에 감염이 되면 이취미가 발생되며 포장두부일 경우 바람직하지 않은 가스발생으로 포장이 부풀어 오른다. 1992년 미국의 경우 식중독과 관련 있는 *Listeria monocytogenes*의 발생으로 제품이 시장에서 회수된 적이 있다. 두부의 유통중 변질은 주로 미생물이 관여하는 것으로 추정된다. 미생물의 오염을 저지하고 안전하게 저장키 위해 냉각수의 pH 조정⁶⁰⁾, 소금의 사용⁶¹⁾, 보존료^{62, 63)}를 첨가하는 방법과 포장방법⁶⁴⁾이 발표된 바 있다.

특히 Lim⁶²⁾은 두부 냉각수에 0.5% acetic acid나 0.15% potassium sorbate + 0.5% acetic acid를 첨가하였을 때 저장온도 11~15℃에서 23일간 저장할 수 있었으며 미생물의 성장을 발견할 수 없었다고 한다. 또한 판매되는 두부에서 100종류의 가스생성세균을 분리하였고 그 중 65%는 그람양성세균이었고 15%가 대장균이었다. 저장온도를 4℃로 내렸을 경우 두부에서 세균의 생육은 없었으며 15일 동안 가스생성도 발견되지 않았다고 한다. 또한 살균이나 젖산 및 젖산균을 두부에 첨가하면 가스생성세균이 50%나 감소하였다⁶⁵⁾. 신 등⁶⁶⁾은 시판두부를 20~25℃에 방치하여 부패를 유발시킨 후 이 부패두부로부터 주요 관여 미생물 3균주를 순수분리, 부패성을 확인 후 동정한 결과 *Actinobacter calcoaceticus* var. *anitrat*(97.9%)와 *Klebsilla pneumoniae* subgroup *pneumoniae*(99.0%)로 확인되었으며 나머지 한 균주는 *Actinobacter calcoaceticus* var. *anitrat*와 동일한 특성을 보유하며 점액성을 지닌 균주로 확인되었다. 시판되는 두부에서 발견되는 그람양성세균은 *Streptococcus*균, *Pediococcus*균, *Lactobacillus*균이었으며 음성세균은 *Pseudomonas putida*, *P. aeruginosa*, *Enterobacter agglomerans*와 *E. choacae*이었다⁶⁷⁾.

4. 두부제품 종류

두부의 기나긴 역사에 비하여 두부제품개발의 발전없이 일반 두부의 몇몇 종류만이 유통되고 있다. 식품공전²⁾에서는 두부류라 함은 두류를 원료로 하여 얻은 두유액을 응고시켜 가공한 두부, 가공두부, 전두부 등과 전분질이나 다당류를 주원료로 하여 호화시켜 가공한 묵류 등을 말한다. 따라서 전체적으로 두부는 두부, 가공두부, 전두부의 3종류로 대별되어진다. 두부의 정의는 대두를 원료로 하여 얻은 대두액에 응고제를 가하여 응고시킨 것을 말하므로 제품이 갖는 수분함량이나 텍스처 특성에 따라 분류되어진 것 같다. 그러므로 두부의 종류는 고형성분함량에 따라 일반두부(12% 이상); 연두부, 순두부(6% 이상); 경두부(22% 이상)로 나뉘어진다. 가공두부는 두부나 대두액을 그대로 가공하거나 또는 식품이나 식품첨가물을 가하여 가공

한 것으로 정의된다. 따라서 일반가공두부와 유바로 나뉘어지며 일반가공두부에 튀김두부 또는 유부가 포함되는 것으로 생각된다. 전두부는 미세분말화시킨 대두분을 물에 녹여 가열한 후 응고제를 가하여 그대로 응고시킨 것으로 정의된다. 따라서 전두부는 325 mesh 이상의 입도로 초미분화된 가루로 제조된 것으로 고품분이 12% 이상이다. 이들 두부류의 제조에 있어서 기본제조공정은 같다고 할 수 있으나 응고제 종류 및 첨가순서, 두유의 농도 및 온도, 응고시간 및 방법 등에 따라 제품의 종류가 달라진다.

시중에 판매되는 두부는 일반두부가 전체물량의 90% 이상을 차지하고 있다. 이는 두부를 필요로 하는 모든 음식에 재료로 쓰이고 있기 때문이다. 따라서 다른 종류의 두부 소비량은 극히 적다고 봐야 할 것이다. 그러므로 두부 제품의 발전 및 이용은 그다지 진보되지 못하였고 조상 전래의 일반두부를 비롯한 몇 안되는 종류가 생산·판매되고 있다. 시판되고

있는 두부류의 종류 및 특징은 Table 10과 같다²⁾. 두부제조 과정 중이나 제조 후 준비처리나 가공방법에 따라 일반두부, 동결두부, 냉동건조두부, 튀김두부(생양), 군두부 등으로 나뉘질 수 있다. 동결두부는 우리나라에서 생산되지 않으나 1000~1500년전 중국 북부 산악지역에서 처음 제조되었다. 그 당시 두부를 오래 저장할 수 있는 좋은 저장법이었기 때문이다. 동결두부와 이를 건조한 냉장건조두부는 단백질과 에너지가 농축되어 있고, 수분이 적어 저장하기에 편리하고 저장기간이 12개월 이상이다. 중국을 비롯한 일본과 일부 서방 국가에서 인기 있는 두부류이다.

유탕처리한 튀김두부류는 육류와 유사한 텍스처, 맛, 풍미, 색 등의 품질이 일반두부와 다르다. 또한 적은 수분을 갖고 있어 미생물에 의한 변질이 없어 저장성이 좋다. 이 제품은 씹히는 텍스처와 콩 비린내가 거의 없어 서양인 입맛에 가장 적합한 두부제품이며 서양조리법에도 육류 대체 식품으로도 손색

Table 10. 두부류의 종류 및 특징

분 류	종 류	특 징
두 부 류	일반두부	대두고형분이 6~8%인 두유를 응고시켜 수분이 85% 내외인 것
	연두부	대두고형분이 11% 내외인 두유를 가열냉각 후 가열 응고시킨 것
	순두부	대두고형분이 7% 내외인 두유를 가열냉각 후 가열 응고시킨 것
	경두부	일반두부를 압착시에 수분이 78% 이하로 압착한 것
	압착연두부	연두부 조직과 같이 한 압착두부
가 공 두 부 류	유	3~5%의 두유를 단시간 가열하여 응고시킨 후 2단계에 걸쳐 튀김
	생양	두부의 표피만 튀긴 것 (유탕처리)
	군두부	프라이팬에 표피를 튀긴 것
	냉동건조두부	두부를 급속동결하여 건조시킨 것
	계란연두부	계란을 생란으로 10% 이상 첨가하여 응고시킨 것
	분말두부	두유를 분무건조 후 응고제를 첨가한 것으로 물을 붓고 가열시 두부가 되는 것
	두부국수	두유에 젤화 물질을 첨가하여 가열시 응고시킨 것
	강화두부	비타민, 미네랄 등을 두유에 첨가한 것
	어육두부	어육(수리미)의 열응고성을 이용하여 두부와 혼합 응고시킨 것
	발효두부	두유를 발효시켜 응고함으로써 얻은 것
	수프	두부를 발효시켜 보존성을 늘린 것
	간모	두부를 으깨어 다른 첨가물을 넣고 유탕처리한 것
	우유두부	우유를 산처리 혹은 응고제로 응고시켜 압착한 것
	혼합두부	두유에 야채·해조류 등을 넣어 가열·응고시킨 것
	분리대두단백두부	분리대두 단백을 이용하여 단백질 함량을 조정한 두부
조미두부	두부를 조미하여 인스턴트화한 것	

이 없다.

발효두부는 경두부를 *Actinomucor elegans*나 *Mucor hiemalis* 미생물로 발효시킨 후 여러 가지 식품 첨가물이 첨가된 염용액에 침적시키면서 2차 발효시킨 제품으로 *sufu* 또는 Chinese cheese로 알려지고 있으며 종류도 다양하나 주로 애피타이저(appetizer)로 이용된다.

5. 두부제조 개선

1) 대 두

대두는 기적의 작물로 알려지고 있으나 개량해야 할 점이 있다. 특히 콩 비린내, 장내가스 발생능력, 산화로 인한 불쾌취, 함황아미노산의 부족, 비영양 인자의 내재와 병충해에 약한 점을 갖고 있다. 따라서 이러한 약점은 작물로서의 가치와 콩을 이용한 가공식품의 저해요소로 개선되어야만 한다. 두부의 품질이 좋으려면 주원료인 대두의 품질이 좋아야 한다. 축산업의 발전으로 인한 사료의 부족, 단보당 수익율이 적은 대두농사 기피로 인해 매년 대두수입물량이 증가하고 있으며 전적으로 수입대두에 의존하고 있다고 해도 과언이 아니다. 1996년에 두부제조에 13만 9천 ton의 대두가 사용되고 있는데 수입대두가 98.4%인 13만 7천 ton이었다. 이는 식용으로 수입된 전체 콩물량 30만 4천 ton에 45.7%를 차지하는 양이다. 언젠가는 국산 대두로 만든 두부가 사라지고 수입대두 전량으로 전통식품인 두부를 제조하게 될 것이다. 두부용 식용대두는 모두가 미국으로부터 수입되고 있다. 수입되는 대두는 미국의 콩 등급기준에 분류되는 U.S. No. 1 등급이다. 등급의 기준은 콩이 갖는 화학성분의 차이로 구분한 등급은 아니고 수확 후 물리적 성질로 등급을 정한 것이다. 이 등급의 콩으로 제조한 두유나 두부의 품질은 적합한지, 미생물오염이 없는지, 알도 굵고 단백질함량도 높으며 표피의 색깔도 맑은 대두품종을 선별 수입하거나, 일본처럼 가공적성에 맞는 대두를 선택하여 계약재배의 가능성이 없는지를 연구할 필요가 있다. 적어도 두부 제조업자들의 원료에 대한 불만을 어느 정도 해결해야 할 것이다. 이처럼 등급이 정해진 콩은 일반적인 콩이며 두유나 두부 제조용

콩으로는 그다지 적합치 않다고 보아야 할 것이다. 동양과 서양에서의 대두의 사용용도는 현저하게 다르다. 전통적으로 극동아시아에서는 대두를 이용한 식품은 인간 소비 위주이고 두부, 두유, 콩나물, 간장, 된장, tempeh, natto 등으로 나타난다. 한편 서양에서는 대두로부터 기름을 짜고 부산물로 대두박(meal)을 얻는다. 콩기름은 거의 모두 인간이 이용하나 대두박은 가축을 위한 사료로 이용된다. 그리고 아주 적은 양의 대두가 대두분, 분리분, 농축분, 조식분과 같은 대두단백질로 활용된다. 이 대두단백질은 제과류, 유류, 육류, 영아식, 그리고 소위 차세대 대두식품(second generation soy foods)에 영양분을 공급하거나 기능을 부여하기 위해 이용된다.

이러한 대두의 사용용도의 차이로 인해 두 가지 형태의 대두가 있으니 식용콩(food beans)과 유지용콩(oil beans)이다^{68, 69}. 특히 미국 대두시장에 있어서 두 종류의 대두가 있음은 명백하다. 왜냐하면 미국은 연간 대두 생산량의 10~15%, 물량으로 6~7백만 metric ton이 일본, 한국, 대만으로 수출하는데 이들 국가는 대두를 통째로 이용하는 경우가 대부분이기 때문이다. Fig. 11은 식용 콩과 유지용 콩이 어떻게 대두 가공식품에 적용되는지를 보여주고 있다.

유지용 콩은 일반적으로 생산하고 있는 보통 콩이다. 그러나 식용 콩은 직접 식품에 소비하기 위해 수십년간 선택적으로 생산되어 왔다. 따라서 식용 콩은 근본적으로 유지용 콩과 다르지 않다. 차이가 있다면 식용 콩은 유지용 콩에 비해 외관상 표피(seed coat)의 색이 밝으며, 투명한 씨눈(hilum)을 갖고 있다. 또한 식용 콩은 높은 단백질 함량을 갖고 있으나, 생산량은 그리 많지 않으며 지방함량도 적다. 품질 등급도 U.S. No. 1 등급 이상을 요구한다. 그리고 이용되는 대두식품에 따라 품질등급이 달라진다. 즉, 두유나 두부용 콩은 단백질 함량이 높고(40% 이상) 비교적 알이 큰 품종(18g/100seeds)이 좋다. Natto용 콩은 부드러운 텍스처를 갖는 비교적 둥글고 알이 작으며 단백질 함량의 적고 많음은 고려의 대상이 아니다. 풋콩용 콩은 알이 크고 구형형태로 sugar와 유리아미노산의 함량이 높으

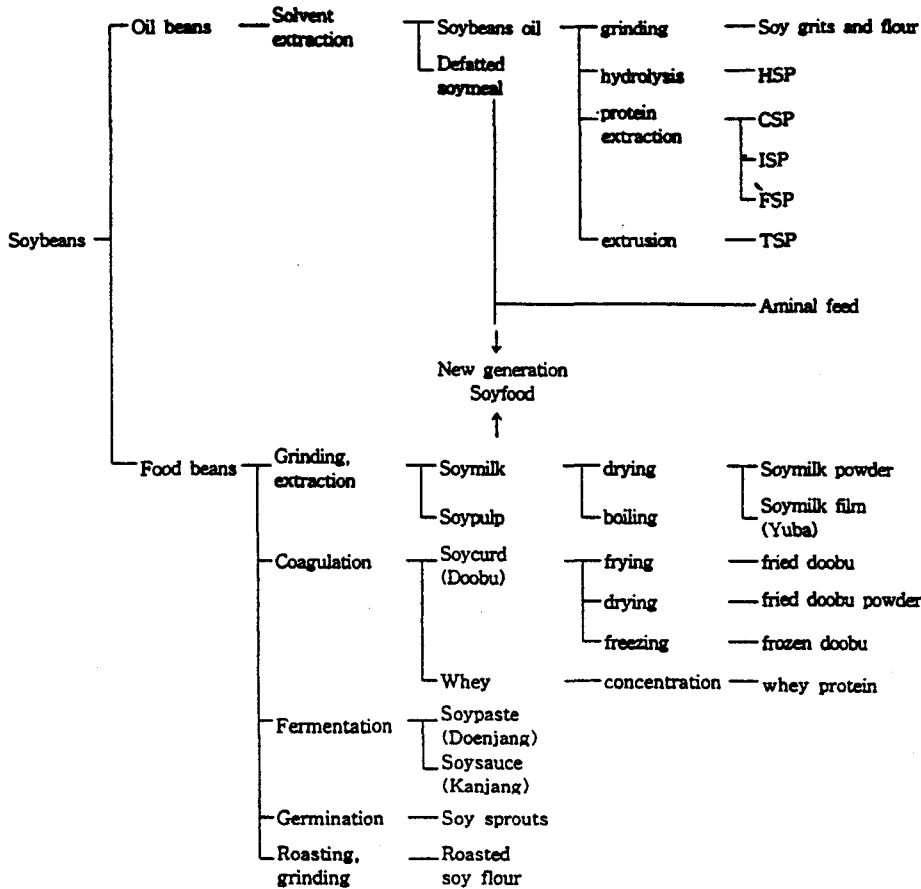


Fig. 11. Soybean food use based on soybean classification and processing method.

며 텍스처는 연해야(tender)한다. 따라서 사용용도에 알맞는 식용 콩의 품질을 개선하기 위해서 많은 연구가 필요하며, 현재 Vinton 81 대두품종은 두부 제조용 표준콩으로 알려져 있고, Monsanto 회사에서 개발한 Hartz 품종은 수출용 식용 콩으로 개발되어지고 있다. 식용 콩은 적어도 1백만 metric ton 이 일본 대두식품가공회사와 미국의 대두종자회사나 농부 사이에서만 거래되고 있으며⁷⁰⁾, 프리미엄 (premium)상품으로 교역되고 있다. 지금까지 식용 콩은 사용목적에 부합한 외관에만 품질이 한정되어 있지만 콩 비린내가 없고, LOX활성이 적은, 필수아미노산을 많이 함유한, 11S /7S 저장단백질 비율이 높은, TI가 제거된, 그리고 다당류의 함량이 적은 식품용 콩의 개발을 서두르고 있다. 따라서 우리나라

에서도 앞에 서술한 식용 콩을 수입하여 두유나 두부를 제조한다면 사용상 여러 문제점이 발생하겠지만 두유나 두부의 텍스처 특성과 품질을 높일 수 있으며 또한 고부가가치의 콩가공식품의 제조도 활발해질 것으로 사료된다. 더욱이 두부 가공업자들이 갖고 있는 원료콩에 대한 불만을 다소나마 해소할 수 있을 것이다. 두부 제조에 사용되는 원료콩이 국내산이든 수입산이든지 가공 전까지 적합한 저장이 필요하다. 수분이 14% 이하로 이종피해립, 피해립이 없고 이물질이 없어야 저장 중에 콩 품질의 저하가 일어나지 않는다. 저장 중 품질 저하는 열발생 소실(heat damage)로 생육이나 발아율 저하, 변색, 수화율 감소, 화학성분의 변화, 그리고 궁극적으로 단백질과 지방의 질이 떨어지게 된다. 따라서 이러

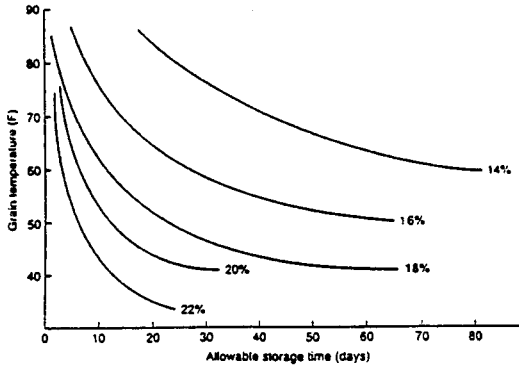


Fig. 12. Allowable storage time for soybeans as function of bean temperature(°F) and moisture content(%).

한 품질 저하 원인을 막기 위해서 저장온도와 습도의 조절이 원료콩의 수분함량과 함께 중요하다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 콩의 수분함량에 따라 그리고 저장온도에 따라 저장기간이 짧아짐을 볼 수 있다. 일반적으로 일정한 저장온도에서 원료콩의 수분함량이 13.5%이하이면 비교적 오랜 기간동안 저장 안정성을 갖게 된다⁷¹⁾.

2) 제조공정

두부제조에 있어 중요한 첫 번째의 과정은 대두의 수침이다. 대두가 수분을 흡수하여 조직이 부드러워지고 마쇄가 용이하여 수용성 단백질 및 기타 고형성분의 용출이 용이하게 된다. 그러나 올바른 수침시간의 결정은 대두의 종류, 용수의 종류 및 온도 등에 따라 정해지므로 주의를 요한다. 또한 대두가 수분을 흡수하기 시작하면 lipase나 lipoxigenase가 활성화되므로²⁶⁾ off-flavor(beaney, painty, bitter and rancid)가 없는 두부를 제조하기 위해 수침시간의 결정은 중요하다.

수침이 끝난 대두는 깨끗한 물로 씻고 마쇄를 하는데 사용 전 마쇄기에 마모가 없는지를 점검해서 금속 파편의 삽입을 막고 비마모성 마쇄기를 쓰도록 해야 할 것이다. 마쇄기 가수량은 두부제품의 종류, 그리고 대두가 흡수한 수분량에 따라 정해서 제품에 합당한 고형성분 농도를 갖도록 정한다.

대두 그 자체를 장시간 수침하는 것보다는 대두의 수분함량을 조절하여 표피와 배축을 제거한 cotyledon만으로 2~8등분하여 작은 알갱이(grits)난 박편(flakes)을 사용하여 수침시간의 단축을 유도하며 또한 두부 제조시 부산물인 비지의 처리는 심각한 환경오염 문제를 야기시키므로 분리대두단백(isolated soy protein)을 원료로 이용하거나⁵³⁾ 300mesh 이상의 미세한 전지 대두분의 사용도 고려해야 할 것이다. 또한 물리적·기능학적 관점에서 효소처리된 두유를 이용한 두부의 제조⁴⁵⁾도 생각해야 할 것이다.

두유 제조방법도 마쇄 후 가열처리하는 전통적인 방법³¹⁾과 이를 개선한 Cornell방법³²⁾, Illinois방법³³⁾ 그리고 RHHC방법^{34, 35)} 등이 있으며 두유 수율의 증가와 off-flavor제거 등의 이점이 있으므로³⁰⁾ 두부 제조에 있어 사용 가능성 여부를 타진할 필요가 있다.

응고제는 단백질의 응고상태 및 성상, 조직, 맛 등에 상당한 영향을 준다. 현재 가장 많이 사용하는 응고제는 황산칼슘인데 함수율이 높아 두부 수율이 좋고 조직 및 색택도 좋으나 맛은 상당히 떨어진다. 또한 불용성으로 사용하기 불편하고 균일하게 확산되지 못함이 단점으로 지적되고 있다(Table 9). 단순 응고제의 사용보다는 비율을 달리하여 섞은 복합응고제를 사용하여 수율, 조직, 맛 등에 있어서 최대의 효과를 낼 수 있는 응고제의 개발이 시급하며 두부 침지시 두부 내부에서 잘 분리될 수 있는 응고제의 선택 및 개발도 필요하다. 포장순두부 및 연두부 등에 사용되는 glucono- δ -lactone(GDL)은 연두부 및 포장순두부 생산의 증가로 사용량이 증가될 것으로 전망되나 현재 이탈리아, 독일, 아일랜드, 일본, 중국 등에서 전량 수입하여 사용하고 있다. 현재 응고제를 생산하는 업체로는 국내에 두 곳이 있으며 최근에는 중국산 및 미국산도 수입, 판매되고 있다²¹⁾.

성형을 마친 두부는 수침시키는데, 이는 두부의 냉각 그리고 잔류 응고제의 용출에 목적이 있다. 현재 침지탱크에 많은 양의 두부를 침지 중 1~2회 물을 교환하여 침지시간도 약 1시간 정도가 좋은 것으로 보고되고 있다. 이 때 사용되는 용수는 미생물의 오염이 전혀 없는 신선한 물의 사용³⁰⁾이 중요하다.

3) 용기 및 포장방법

현재 유통되는 두부의 대부분은 규격이 동일한 운반상자에 넣어 유통되므로 운반상자가 식품위생법 시행규칙의 용기로 대신하고 있다. 운반상자에 제조업소명, 소재지, 영업허가 번호 및 중량이 표기되는데, 소비자의 무관심, 그리고 그냥 두부로 유통으로 다른 식품이나 공산품에 비해 소비자 기호에 맞는 선택이나 제조업소에 따른 선호선택이 전혀 불가능하다. 포장되지 않은 상태로 제품이 운반상자에 담겨져 유통되어지기 때문에 신선도 저하 및 미생물과 이물질 오염의 위험성이 존재할 수 있다. 또한 중간상인 판매 확장으로 화물차에 실어 장거리 운송이 포장없이 행해지므로 위에서 지적한 위험성이 항상 내포하고 있다. 장거리는 물론 단거리 운송시 소비자가 안심하고 선호할 수 있는 위생적 포장과 함께 cold chain system으로 판매, 유통되어야 할 것이다.

따라서 원료콩의 선택에서 두부의 유통까지 품질 좋고 위생적으로 안전한 두부를 소비자가 안심하고 먹기 위해 식품위해요소중점 관리기준(Hazard Analysis Critical Control Point; HACCP)제도의 도입이 필요하다⁷³⁾. HACCP제도란 식품의 안정성을 확보하기 위하여 특정위해요소를 알아내고, 이를 위해요소의 방지 및 관리기법을 마련하기 위한 제도이다. 즉 위해요소를 평가하고 위험요소를 분석하여 구체적인 관리방법을 설정하기 위한 하나의 도구이다. 구체적인 관리방법은 최종제품의 검사나 지금까지 수행하여 왔던 검사방법에 의존하기보다는 사전방지와 관리에 중점을 두는 것이다. HACCP의 적용은 식품안전성을 향상시킬 뿐만 아니라, 건강위해요인이 높은 부분을 집중적으로 감시할 수 있도록 도와주며 더 나아가서 식품안전성에 대한 신뢰를 향상시켜 국내 및 국제간 교역을 증진시킨다. 그리고 HACCP는 원료의 공급자로부터 최종소비자까지의 전 식품공급단계에 적용할 수 있다.

4) 미생물에 대한 보존 안전성

두부의 품질 및 보존성은 세균오염을 제외하고는

생각할 수 없기 때문에 미생물학적 변질과 세균오염을 어떻게 막을까하는 관점에서 생각할 필요가 있다. 두부는 원래 85% 정도의 수분을 함유하고 미생물에게 좋은 영양소를 많이 갖고 있기 때문에 변질되기 쉬우며, 제조 후 가능한 한 빠른 시간 내에 소비하고 보관할 경우는 동결하지 않을 정도로 낮은 온도에 두어야 한다. 판두부는 사용하는 물에 기인하는 *Pseudomonas*속, 물 또는 사람으로부터의 장내 세균군, 장구균군에 주의할 요한다. 또 포장두부의 주요 부패세균은 고초균(*Bacillus* 속)으로, 원재료에서 유래하는 열에 강한 아포세균에 주의할 필요가 있다. 포장두부에서는 90℃, 40분간 가열 또는 이것과 동등 이상의 효력으로 살균하지만 원료에서 두유 제조 단계까지의 내열성 균을 감소시키는 효력을 갖고 있도록 살균방법을 고려해야 한다.

물에 담긴 두부는 보통 수조 안에서 저온보관되어 판매되기 때문에 두부 제조과정 중의 위생적 취급 여부도 중요하지만, 이 물의 위생관리의 여부가 제품보존에 크게 영향을 준다. 물의 양을 충분히 하고 환수 가능한 수조를 사용하고 수온은 10℃이하의 저온으로 유지해야 한다.

장기 보존 가능한 충전두부에서는 초고온 단시간(120℃, 2초)으로 두유를 무균으로 한후 무균적으로 응고제를 첨가하고 무균충전한 것으로, 두부를 무균적으로 제조하면 보존성이 아주 좋아지고 미생물학적 변질은 없게 된다.

5) 조리방법의 개발 및 홍보

현재 유통되는 두부의 93%가 일반두부인데, 이 두부를 이용한 다양한 조리방법의 개발이 절실히 요구된다. 식사시간에 맞춰, 동네의 가까운 가게에서 사다가 국거리나 지짐 정도로 이용하기보다는 좀 더 영양적이고 다양한 조리방법⁷²⁾을 개발하고 알려져 두부만이 갖는 고유의 전통 맛을 즐길 수 있도록 조리방법의 개발 및 홍보가 필요하다. 특히 최근 식생활의 서양화로 인해 어린이와 젊은 층의 두부에 대한 선호도가 감소하고 있으므로, 두부가 기성세대에게만 적합한 식품이라는 개념에서 벗어나 이들에게도 인기가 있어 전통적인 우리의 맛을 전해 줄 필요가 있을 것이다. 그러기 위해서 두부업소뿐 아니

라 관련기관 및 학교를 비롯한 조리를 전문으로 하는 연구기관과도 공동연구를 추진하여 지속적인 조리방법의 발전과 홍보가 절실히 요구된다. 또한 새로운 조리 방법에 따라 요구되는 다양한 두부로 제조되어야 할 것이다. 새로 개발된 두부 요리는 관련 학회뿐 아니라 시식소를 군데군데 설치하여 홍보할은 물론 소비자의 두부 이용도를 넓혀 가야 할 것이다.

6) 2차 가공품의 개발

중국은 물론 일본의 경우 두부류를 포함하여 이의 2차 가공품까지 약 40여종의 다양한 제품이 유통되고 직육면체의 형태에서 벗어나 여러 가지 모양으로 시각적 효과를 높이고 있다. 우리 나라는 몇 종류의 두부만이 유통되어 너무나 단조로운 경향이 있다. 따라서 소비자에게 호감을 줄 수 있는 두부류나 가공두부류의 신제품 개발이 시대적으로 요구된다. 최근 미국에서 행해진 조사에 의하면 우유 및 두부를 이용한 2차 가공품, 예를 들어 hamburger, sausage, pizza, steak, ice cream, yogurt, jerky, meatballs, mayonnaise 등 550여종의 두부가공품이 있는 것으로 알려지고 있다⁷²⁾. 두부를 이용한 2차 가공품은 주원료를 두부로 사용해야 하며, 두부 이용 가공품의 특이한 맛, 냄새, 텍스처, 외관 등은 소비자에게 선호되어야 하며, 특수한 가공과 포장 방법으로 두부보다는 비교적 유통기간이 길어야 하며, 현재까지 개발된 부엌에서의 조리 recipe가 대규모 상품화될 수 있도록 재료뿐만 아니라 가공공정이 적합해야 한다.

두부를 이용한 2차 가공품 중 아이스크림이 가장 먼저 개발된 것으로 생각된다. 두부뿐만 아니라 우유, 그리고 분리대두분이 주원료로 사용되고 있으며 주원료에 따라 명칭이 달라지나 일반적으로 soy ice cream으로 불려진다. Soy ice cream은 미국에서 1930년경에 제조되었으나 1980년까지 소비자에게 호응이 없었다. 그러나 1982년에 Tofutti로 출시된 두부 ice cream은 시장에서 성공하여 콩식품의 붐을 형성하기 시작하였고 그 결과로 1985년에는 26종의 soy ice cream이 시판되었으며 미래의 식품으로 인식되었다. 이 제품의 성공은 콩이 갖는 건강이

미지 때문이다. 즉, 콜레스테롤과 유당이 없고, 식품 에너지가 적으며 포화지방산이 적게 함유되어 있는 것으로 인식되었기 때문이다⁷⁴⁾. 이 soy ice cream의 제조방법과 동일하게 제조한 후 젖산균으로 발효시켜 동결시킨 frozen soy yogurt가 있으나 soft ice cream과 비슷하다. 이 제품은 아직 상품화되지 않고 있다.

두부가 갖는 텍스처를 종종 치즈와 비교할 뿐만 아니라, 이미 중국에서는 발효두부인 sufu 또는 Chinese cheese가 있다. 그러나 경두부를 이용해서 soy cheese를 제조하고 있으나 발효 및 숙성에 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 1979년에 두부를 함유한 cheese analog(일명 engineered soy cheese로 불려진다)도 개발되었다⁷⁵⁾.

1970년 후반부터 1980년 초기에 미국 Colorado주에 있는 White Wave Co.에서 두부를 이용한 제품 Missing Egg Salad, Tofu Mayo(tofu mayonnaise), Tofu Cheesecake, Marinated Tofu Cutlet 이 상품화되었다⁷⁴⁾. 한편 New Mexico주의 VPS사는 두부를 사용하여 Befine이라는 상품명을 갖는 meat analog를 개발하였는데 육류가 갖는 텍스처와 씹힘성(chewiness)를 갖고 있으며 소비자가 원하는 맛을 첨가할 수 있으며 burger용으로 대치될 수 있다고 한다. 또한 Befine은 chili, pasta sauces, sausage 등에 사용될 수 있다⁷⁴⁾.

LaBell⁷⁶⁾은 두부를 이용해서 계란 대체용이나 우유 대체용으로 사용될 수 있는 제품을 만들었으며 계란이 첨가되는 제품 즉, sponge cake, chocolate chip cookies, brownies 등 과자에 사용할 수 있었고 우유 대체용으로 cheesecake, spread, sour cream, coffee creamer, dip에 사용할 수 있었다. Jeng 등⁷⁷⁾은 bologna 제조시 두부를 지방 대체제로 사용하였는데 콩 비린내나 질김(toughness)이 육류 bologna와 유의적 차이가 없어서 두부를 meat additive로 이용하는데 잠재력이 있음을 보고하였다.

두부를 비롯한 2차 가공품은 성인병이 만연한 현대사회에서, 콜레스테롤도 없으며 또한 암을 예방할 수 있는 많은 성분 등을 포함하고 있으며 동물성 단백질식품에 식상한 현대인에게 시기적으로 크나 큰

인기가 있을 것으로 기대되므로 두부를 이용한 가공품 개발에 노력해야 한다.

7) 두부시장 개발에 따른 인식 재고

1970년대 해외건설 붐으로 근로자의 해외진출이 증가함에 따라 일반두부도 우리 고유의 식품과 함께 수출되었지만, 수송의 어려움과 현지공장 설치확장 등으로 현재 수출이 전무한 상태이며 유부만이 적은 양이지만 수출의 명목을 유지하고 있다. 그러나 국제정세에 따라 세계화로 인한 외국식품의 국내 반입이 증가 추세에 있고 두부류도 수입개방이 될 것이다. 그러나 다행히 현재까지 수입된 제품은 없으므로 알려지고 있다. 일본이 지역적으로 우리와 인접해 있고 아직까지 유럽이나 미국으로 수출하고 있어 일본 두부가 수입될 가능성이 있고 제품의 다양성도 고려될 것으로 생각된다. 수입될 두부는 아마도 무균적 포장된 것으로 보존기간이 길 것이다. 현재 우리 나라의 3~4개소의 포장두부업체는 냉장차로 직접 수송하는 유통구조와 백화점이나 슈퍼마켓으로 유통시켜 소비자의 위생적인 제품 선호에 어느 정도 발 맞추고 있어 매해 매출액이 신장되고 있다. 수입포장두부는 일단 이 소수의 업체가 생산하는 포장두부와는 심한 경쟁이 예상된다. 차후 점진적으로는 일반두부업체와도 경쟁이 예상된다. 또한 수분함량이 적고 보존성이 뛰어난 건조두부, 유부, 동결건조두부, 유바, 두건 등의 두부류나 가공두부류도 수입 가능한 품목이기 때문에 이에 대한 전략은 늦은감이 있지만 지금부터 대비해야 할 것이다.

III. 결 론

두부가 원료콩으로부터 소비자의 식탁에 오르기까지 전 제조공정과 각 공정에서 중요한 사항과 야기되는 문제점을 논하였다.

원료콩의 수급에 있어서 전적으로 수입에 의존하므로 수입콩의 품질과 이용방법에 대한 연구가 더욱더 활성화되어야 함은 물론이거니와 두유와 두부제조에 적합한 콩품종 및 식용콩(food beans) 수입도 고려되어야 할 것이다. 그러나 농지의 비농업화 및 파종기피현상으로 인한 국내 대두 농업의 침체를 타

파할 방안을 정부나 학계, 업체나 농민이 참여하여 확보해야 한다.

두부 생산에 있어서는 전통적으로만 제조되고 있어 유통기간이 짧으며 미생물에 의한 오염·변질될 가능성도 높은 것으로 나타나고 있다. 두부제조에 관한 연구 및 개발에 힘써 일반두부 이외의 제품의 다양화 및 가공두부류 뿐만 아니라 일본, 대만, 미국에서 활발한 2차 가공품(second generation soy foods)의 개발이 절실히 요구되며 제품에 대한 품질관리를 철저히 실천하여 품질의 고급화를 유도해야 할 것이다.

포장용기 및 포장기술의 보급, 유통의 근대화, 제품 및 조리방법의 다양화 및 이에 따른 홍보가 있어야 한다. 안전하고 위생적인 대두가공식품을 요구하는 소비자의 식생활패턴 변화에 맞추어 편의 지향, 고급맛 지향, 건강 지향적인 제품을 제조하여야 두부 가공산업의 앞날은 밝은 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 장지현: 한국전래 대두이용음식의 조리·가공사적연구, 수확사, 1993.
2. 한국식품공업협회: 식품공전(I). 243-252, 1997.
3. 보건복지부 식품의약품안전본부: 한국식품성분표. pp72, 1996.
4. 김우정: 콩단백질의 영양과 이용. ASA학술총서(15). pp22-38, 미국대두협회, 1987.
5. Schaefer, M.J. and Love, J.: Relationships between soybean components and tofu texture. *J. Food Quality*, 15, 53-66, 1992.
6. Liener, I.E.: Factors affecting the nutritional quality of soya products. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58, 406-415, 1981.
7. Esen, A.: Genetic mechanisms and protein properties with special reference to plant proteins. *Food protein deterioration: Mechanisms and functionality*, Cherry, J.P.(ed). ACS Symposium Series 206. Am. Chem. Soc., Washington, D.C. pp1-15. 1982.

8. Wang, H.L., Swain, E.W., Kwolek, W.F. and Fehr, W.R.: Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. *Cereal Chem.*, 60:245-248, 1983
9. Wang, C.C. and Chang, K.C.: Physico-chemical properties and tofu quality of soybean cultivar Proto. *J. Agric. Food Chem.*, 43, 3029-3034, 1995.
10. Johnson, L.A., Myers, D.J. and Burden, D.J.: Early uses of soy protein in Far East, *INFORM*, 3(3), 282-290, 1992.
11. Tombs, M.P.: Protein bodies of soybeans. *Plant Physiol.*, 42, 797-813, 1967.
12. Thanh, V.H. and Shibasaki, K.: Major proteins of soybean seeds. A Straight forward fraction and their characterization. *J. Agric. Food Chem.*, 24, 1117-1121, 1976.
13. Thanh, V.H. and Shibasaki, K.: Heterogeneity of β -conglycinin. *Biochem. Biophys. Acta*, 439, 236, 1976.
14. Moreira, M.A., Hermodson, M.A., Larkins, B.A., and Nielsen, N.C.: Partial characterization of the acidic and basic polypeptides of glycinin. *J. Biol. Chem.*, 254, 9921-9926, 1979.
15. Kitamura, K.: Genetic improvement of nutritional and food processing quality in soybean. *Jap. Agric. Res. Quart.*, 29, 1-8, 1995.
16. Yamaguchi, F., Yamagishi, T., and Iwabuchi, S.: Molecular understanding of soybean protein. *Food Rev. Int.*, 7, 283-322, 1991.
17. Murasawa, H., Sakamoto, A., Sasaki, H., and Harada, K.: The effect of glycinin subunit on tofu-making. In *Japan Part Proceedings of the International Conference on Soybean Processing and Utilization*, Okubo, K.(ed.). pp.53-57, 1991.
18. Utsumi, S., and Kinsella, J.E.: Forces involved in soy protein gelation: Effects of various reagents on the formation, hardness, and solubility of heat induced gels made from 7S, 11S and soy isolate. *J. Food Sci.*, 50, 1278-1282, 1985.
19. Saio, K., Kamiya, M., and Watanabe, T.: Food processing characteristics of soybean 11S and 7S proteins. Part I. Effect of difference of protein component among soybean varieties on formation of tofu-gel. *Agric. Biol. Chem.*, 33, 1301-1308, 1969.
20. Saio, K.: Tofu-relationships between texture and fine structure. *Cereal Foods World*, 28, 343, 1979.
21. 농수축신문사: 한국식품년감. 제 18장 연식품. pp.652-673, 1977.
22. 장천일, 이정근, 김우정: 콩품종별 두부의 물리적 특성의 비교. *한국농화학회지*, 33, 203-208, 1990.
23. 장천일, 이정근, 구경형, 김우정: 콩품종에 따른 두부의 수율 및 화학적, 관능적 특성비교. *한국식품과학회지*, 22, 439-444, 1990.
24. Tasi, S.-J., Lan, C.Y., Kao, C.S. and Chen, C.C.: Studies on the yield and quality characteristics of tofu. *J. Food Sci.*, 46, 1734, 1981.
25. Wang, H.L., Swain, E.W., and Kwolek, W. F.: Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. *Cereal Chem.*, 60, 245, 1983.
26. Nelson, A.I., Wel, L.S. and Steinberg, M.P.: Food products from whole soybeans. *Soybean Dig.*, 3(3), 32, 1971.
27. Obata, A. and Matsuura, M.: Decrease in the gel strength of tofu caused by an enzyme reaction during soybean grinding and its control. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 57, 542-543, 1993.
28. Obata, A., Matsuura, M., and Kitamura, K.: Degradation of sulfhydryl groups in soymilk by lipoxygenase during soybean grinding.

- Biosci. Biotech. Biochem., 60, 1229-1292, 1996.
29. Beddows, C. G. and Wong, J.: Optimization of yield and properties of silken tofu from soybeans. I. The water: bean ratio. *Int'l. J. Food Sci. Technol.*, 22, 15-21, 1987.
 30. Chen, S.: Preparation of soymilk, In *Proceedings of the World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs*. Applewhite, T.H. (ed.), American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, pp.341-351, 1989.
 31. Shrutleff, W. and Aoyagi, A.: *Soy milk Industry and Market*. The Soyfood Center, Lafayette, CA, 1984.
 32. Wilkens, W.F., Mattick, L.R. and Hand, B.: Effect of processing method on oxidative off-flavors of soymilk. *Food Technol.*, 21, 86, 1967.
 33. Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and Wei, L.S.: Illinois process for preparation of soymilk. *J. Food Sci.*, 41, 57, 1976.
 34. Johnson, L.A., Deyoe, C.W. and Hoover, J.: Yield and quality of soymilk processed by steam infusion cooking. *J. Food Sci.*, 46, 293, 1981.
 35. Kim, C.J.: Physico-chemical, nutritional, and flavor properties of soybean extracts processed by rapid-hydration hydrothermal cooking. Ph.D. Thesis. Iowa State University. Ames, IA, pp.156, 1988.
 36. Johnson, K.W. and Snyder, H.E.: Soymilk: A comparison of processing methods on yield and composition. *J. Food Sci.*, 43, 349, 1978.
 37. Eriksen, S.: Application of enzyme in soymilk production to improve yield. *J. Food Sci.*, 48, 445, 1983.
 38. Rackis, J.J., Sessa, D.J. and Honing, D.H.: Flavor problems of vegetable food proteins, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 56, 262, 1979.
 39. Enhop, A.F. and Facker, L.R.: Effect of soaking soybeans in NaOH solution as pretreatment for soymilk production. *Cereal Sci. Today*, 15, 84, 1970.
 40. Bourne, M.C., Escueta, E.E. and Banzon, J.: Effect of sodium alkalis and salts on pH and flavors of soymilk. *J. Food Sci.*, 41, 62, 1976.
 41. Chien, J.T. and Snyder, H.E.: Defection and control of soymilk astringency. *J. Food Sci.*, 48, 438, 1983.
 42. Lo, W.L., Steinkraus, K.H. and Hand, D.B.: Concentration of soymilk. *Food Technol.*, 22, 1028, 1968.
 43. Forster, L.L. and Ferrier, L.K.: Viscometric characteristics of whole soybean milk. *J. Food Sci.*, 48, 445, 1979.
 44. Kuntz, D.A., Nelson, A.I., Steinberg, M.P. and Wei, L.S.: Control of chalkiness in soymilk, *J. Food Sci.*, 43, 1279, 1978.
 45. Cruz, R. and Park, Y.K.: Production of fungal α -galactosidase and its application to the hydrolysis of galactooligosaccharides in soybean milk. *J. Food Sci.*, 47, 1973, 1973.
 46. Hackler, L.R., Van Buren, J.P., Steinkraus, K.H., El-Rawi, I. and Hand, D.B.: Effect of heat treatment on nutritive value of soymilk protein fed to weanling rat. *J. Food Sci.*, 30, 723, 1965.
 47. Hashizume, K., Nakamura, N. and Watanabe, T.: Influence of ionic strength on conformation changes of soybean proteins caused by heating, and relationship of its conformation changes to gel formation. *Agric. Biol. Chem.*, 39, 1339-1347, 1975.
 48. Kohyama, K. and Nishimari, K.: Rheological studies on the gelation process of soybean 7S and 11S protein in the presence of glucono-delta-lactone. *J. Agric. Food Ch-*

- em., 41, 8, 1993.
49. Kohyama, K., Murata, M., Tani, F., Sans, Y. and Doi, E.: Effect of protein composition on gelation of mixtures containing 7S and 11S globulins. *Biocci. Biotech. Biochem.*, 59, 240-245, 1995.
 50. Kohyama, K., Sano, Y. and Doi, E.: Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu(soybean curd). *J. Agric. Biol. Chem.*, 43, 1808-1812, 1995.
 51. Wang, H. L. and Hesseltine, C.W.: Coagulation conditions in tofu processing. *Process Biochem.*, 17, 7-12, 1982.
 52. 이현주, 황인경: 응고제를 달리하여 제조한 두부의 질감과 구조특성. *한국식품과학회지*, 10, 284-290, 1994.
 53. Wilson, L.A., Fenton, A.M. and Wilson, R.: Comparison of whole soybeans to their MicroSoy flakes for tofu production: Steam kettle-hydraulic press system. Iowa State University, Ames, Iowa, 1991.
 54. 고순남, 김우정: 분리대두단백두부의 물리적 특성에 미치는 응고온도 및 응고제의 영향. *한국식품과학회지*, 24, 154-159, 1992.
 55. 구경형, 김우정: 분리대두단백 두부의 제조를 위한 가열시간 및 혼합응고제의 영향. *한국식품과학회지*, 26, 26-30, 1994.
 56. 구경형, 김동원, 김우정: 비압착 분리대두단백 두부의 물리적 특성에 미치는 가수량과 가열조건의 영향. *한국식품과학회지*, 26, 31-36, 1994.
 57. Metussin, R., Alli, I. and Kermasha, S. Micronization effects on composition and properties of tofu. *J. Food Sci.*, 57, 418, 1992.
 58. Byun, M.W., Kang, I.J., and Mori, T.: Properties of soymilk and tofu prepared with gamma-irradiated Soyabeans. *J. Sci. Food Agric.*, 67, 477-483, 1995.
 59. 백상호, 김명근, 윤세억, 주현규: 대두의 동결처리에 의한 두부의 텍스처 특성의 증진. *한국식품과학회지*, 28, 267-272, 1996.
 60. Potecorvo, A.J. and Bourne, M.: Simple methods for extending the shelf life of soy curd in tropical areas. *J. Food Sci.*, 43, 969, 1978.
 61. 이혜원: 두부의 보존성 및 물성에 관한 연구. 서울여자대학교 대학원 석사학위 논문, 1984.
 62. Lim, S.C.: Effect of using chemical preservatives to extend shelf life of soybean curd. M.S. Thesis, Kansas State Univ., Mangattan, KS, 1984.
 63. Miskovsky, A. and Stone, M.B.: Effect of chemical preservatives on storage and nutrient composition of soybean curd. *J. Food Sci.*, 52, 1535, 1987.
 64. 김동한, 이갑상: 충전두부의 저장성에 미치는 응고제의 효과. *한국식품과학회지*, 24, 92-96, 1992.
 65. Champagne, C.P., Aurouze, B., and Goulet, G: Inhibition of undesirable gas production in tofu. *J. Food Sci.*, 56, 1600, 1991.
 66. 신동화, 김문숙, 배경숙, 고영희: 두부부패에 관여하는 주요 미생물 동정. *한국식품과학회지*, 24, 29-30, 1992.
 67. Tuitewong, K. and Fung, D.Y.C.: Microbiological study of tofu. *J. Food Prot.*, 54, 212-216, 1991.
 68. Liu, K.S., Orhoefer, F., and Thompson, K.: The case for food-grade soybean varieties. *INFORM*, 6, 593-599, 1995.
 69. Wilson, L.A.: Soyfoods, Chapter 22 in *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilizaion*. Erickson, D.R.(ed.). AOCS Press, Champaign, IL. pp.428-459, 1995.
 70. Motoki, M. and Seguro, K.: Trends in Japanese soy protein research. *INFORM*, 5, 308-313, 1994.
 71. Spencer, M.R.: Effect of shipping on quality of seeds, meals, fats and oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 53-238, 1976.

72. Shurtleff, W., and Aoyagi, A.: The book of tofu, Vol. I. Ten Speed Press, Lafayette, CA. U.S.A., 1983.
73. 한국 HACCP연구회: HACCP. 세계각국의 HACCP제도와 규정. 제1집, 1997.
74. Marshall, R.T. and Arbuckle, W.S.: Ice cream, 5th ed., Chapman & Hall, NewYork, New York, 1996.
75. Shurtleff, W. and Aoyagei, A.: Tofu and soymilk production. The soyfoods Center, Lafayette, CA., 1984.
76. LaBell, F.: Tofu technology yields whole egg substitute, dairy replacers. Food Processing, April, p.68, 1988.
77. Jeng, C.-Y., Ockerman, H.W., Cahill, V.R., and Pend, C.A.: Influence of substituting two levels of tofu for fat in a cooked comminuted meat-type product. J. Food Sci., 53, 97-101, 1988.