

대두를 이용한 친환경 접착제와 목질 복합재

주 효 숙·박 영 준·김 현 중[†]

Soybean for Adhesives and Wood-based Composites

Hyo-Sook Joo, Young-Jun Park, and Hyun-Joong Kim[†]

1. 서 론

대두는 동양의 오곡 중의 하나로 우리나라에서는 1500년경부터 재배되었을 것으로 추정된다. 대두는 쌀, 보리 등을 주식으로 하는 우리나라에서 쌀 다음으로 중요한 부분을 차지해온 곡물이며, 단백질의 공급원으로 중요한 역할을 해왔을 뿐만 아니라 밭의 지력을 유지하게 해줌으로써 지속적인 밭농사를 가능하게 하는데도 큰 역할을 해 왔다.^[1] 대두는 동북아시아를 원산지로 하는 작물로 중국, 브라질, 미국, 남미 등의 넓은 지역에 분포한다. 대두의 생산량은 1950년대에 이르러 759%의 비약적인 생산증대를 이룩하였고, 그 이후로도 인류의 단백질 공급원이나 기름원료 및 가축사료 등으로 이용되면서 소비가 증대하였기 때문에 대두의 생산량은 지속적으로 증대하고 있다.^[2,3]

미국에서 대두의 생산량은 6,776만 톤이며, 옥수수 다음으로 최대 생산량을 가지는 곡물이다. 대두에서는 oil과 protein을 얻을 수 있는데, 대두의 낮은 oil 함량(20% 이하)에도 불구하고, 전세계 oil 생산량의 52%를 차지하고 있다.^[4] 하지만 최근에 미국은 남미 등의 국가와의 경쟁적인 수출로 인해 수출시장을 점차 잃어가게 되었다. 그래서 대두를 화학적 또는 물리적으로 변화시켜 각종 연구에 활용하고 있으며, 대두를 이용한 새로운 제품을 생산하고 있다. 미국의 경우 대두 단백질을 이용한 접착제나, 복합재의 연구가 진행되어왔다. 또한 대두를 이용하면 친환경적인 제

품을 생산할 수 있다는 장점으로 인해 더욱 더 연구가 가속화되고 있다.

대두유(soy oil)는 중국에서 이미 수백 년 전 배에 불이 새어들지 못하도록 뱃밤을 메우는데 이용되었으며 가정이나 사원에서 등(lamp)을 켜는데 사용되어 왔다. 또 금세기 초에 대두 단백질을 얻은 플라스틱은 공업용으로 쓰이기도 했고, 대두 추출물은 비누, 샴푸, 잉크, 시멘트, 가정용 세제, 수지, 접착제 및 점유에 이르기까지 다양한 제품에 사용되고 있다. 이처럼 대두는 지구상에서 가장 다양한 형태로 이용할 수 있는 식물이라고 해도 과언이 아닌데, 이 중 대두를 이용한 접착제는 1923년 처음으로 개발되어, 1920년대 말 목재용 접착제, 종이, 코팅, 페인트 등의 산업적 용도로 사용되기 시작했다. 목재용 접착제에서 대두접착제는 합판용으로 사용되었고 산업적 용도로의 이용을 위해 대두 단백질의 접착강도, 내수성, 내유성, 색, 물에서의 분산력, 점도 등의 특성이 연구되었다. 이와 같이 여러 특성이 연구되어 1930년과 40년대에 대두를 이용한 textile fibers, foams for fire extinguishers, plastics and lubricants 등으로 발전되었다. 현재 상업용으로는 목재 산업용 대두접착제가 미국에서 생산되고 있다.^[5-11]

2. 대두접착제 제조

대두는 일반적으로 단백질 40%, 지방 21%,

• 2004년 10월 4일 접수(received)

• 서울대학교 농업생명과학대학 환경재료과학전공, 바이오복합재료 및 접착과학 연구실 (Laboratory of Adhesion & Bio-Composites, Program in Environmental Materials Science, Seoul National University)

[†]주저자(Corresponding author): e-mail: hjokim@snu.ac.kr (www.adhesion.org)

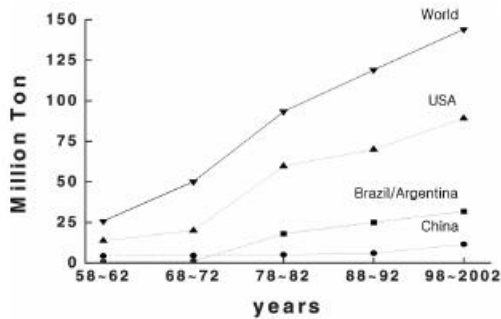


Figure 1. Soy production of major countries and total soy production.



Figure 2. Soy protein isolate (SPI).

carbohydrate 34%와 ash 4.9%로 이루어져 있다.^[12] 대두를 접착제로 이용하기 위해서는 단백질을 추출하고, 변화시켜 사용해야 한다. 대두단백질의 물에 대한 용해도는 pH에 영향을 받는데, 산성에서 대두단백질의 용해도가 급격하게 떨어져 pH 4.2~4.6에서 용해도가 최소가 된다.^[13] 따라서 대두단백질은 중성이나 알칼리 상태에서 추출하게 되고 아무 처리도 하지 않은 대두단백질 접착제보다 알칼리에서 분산시킨 대두단백질 접착제가 더 높은 접착력을 나타낸다.^[10] 기본적인 추출과정은 대두가루(soy flour) 형태에서 헥산(hexane)을 사용하여 추출하여 탈지대두를 만들고 pH 7~8.5의 따뜻한 물에서 섞어 Soy Protein Isolate (SPI)를 추출한다. 이러한 과정이 Figure 2에 보여졌다.^[14] 이 탈지대두는 대두가루 형태로 이용되거나 SPI의 형태로 대두접착제에 이용된다. 대두가루는 값이 싸지만

Table 1. Grain Production of USA and South America (The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), 2003)
(Unit : ten thousand ton)

	USA	Argentina	Brazil	Chile
Wheat	6,359	1,453	590	180
Rice	903	72	1,020	14
Barley	601	55	30	7
Corn	25,690	1,504	4,781	114
Soybean	6,776	3,482	5,153	0

접착력을 나타내지 못할 뿐 아니라 물에 대한 저항성이 없다. 하지만, SPI는 값이 비싸지만 산업적으로 이용 가능할 정도의 접착력을 나타내고, 물에 대한 저항성을 증가시킬 수 있도록 다른 화합물과의 블렌딩이 가능하다. 그러므로 대두가루를 이용하여 외장용 목질복합재료용 접착제로 사용하는 것은 무리가 있으나 내장용 목질 복합재료의 사용이 가능하고, SPI는 외장용으로 사용되는 접착제의 대체용 개발도 가능하다.

3. 대두접착제 응용

대두는 점도가 낮아서 다루기 쉬우며, 열압과 냉압조건에서 모두 생산이 가능하기 때문에 대두 접착제는 파티클보드와 섬유판 등에 사용하기 위한 접착제로서 연구되었다. 파티클보드와 섬유판은 packing material, containers, tubes 등으로 사용되고 있고 목재와 비교하였을 때, 상대적으로 낮은 internal bond와 looser texture를 가지기 때문에 강한 접착력이 필요하다. 지금까지 접착제로 사용되어온 것은 열가소성 수지와 열경화성 수지이다. 이러한 합성수지의 일부는 환경적으로 유해한 특성을 지니고 있어, 식품의 포장 등의 산업에서 이용될 때 인체에 유해하다. 그래서 전분을 이용하거나 덱스트린(dextrin)을 이용한 접착제가 섬유판 산업에 사용되었으나 이들은 수분에 약하여 사용이 자제되었다.^[15] 또한 산림자원이 점차 고갈됨에 따라 산림자원을 대체하여 파티클보드와 섬유판에 적용되는 것도 연구되었다.^[16] 종래 파티클보드에는 urea-formaldehyde (UF), phenol-formaldehyde (PF), methylene diphenyl diisocyanate (MDI) 등의 접



Figure 3. Plywood bonded by soy protein adhesives.

Table 2. Amino Acid Composition of Soybeans

Amino acid	Composition (g/16 g nitrogen)
Isoleucine	4.54
Leucine	7.78
Lysine	6.38
Methionine	1.26
Cystine	1.66
Phenylalanine	4.94
Tyrosine	3.14
Threonine	3.86
Tryptophan	1.28
Valine	4.80
Arginine	7.23
Histidine	2.53
Alanine	4.26
Aspartic acid	11.70
Glutamic acid	18.70
Glycine	4.18
Proline	5.49
Serine	5.12

착제가 주로 사용되었다.^(17,18) 하지만 이들 접착제에서 방출되는 포름알데히드 때문에 이들 접착제를 대체할 수 있을 뿐 아니라 친환경적인 접착제를 개발해야 할 필요성이 대두되었고 이러한 배경에 의해 대두단백질을 이용한 접착제의 연구가 시작되었다. 대두를 이용한 접착제는 합판에 처음 이용되어 발표되었고, 최근에 증밀도 섬유판이나, 고밀도 섬유판, 파티클보드 등에 대한 적용이 실험되고 있다. 하지만 대두접착제는 수분에 대한 저항성이 약하고, 강도가 낮아 석유계 접착제보다 낮은 접착 물성을 나타낸다. 그리고 균이나 곰팡이 등에 의해 자연적으로 분해되기 쉬

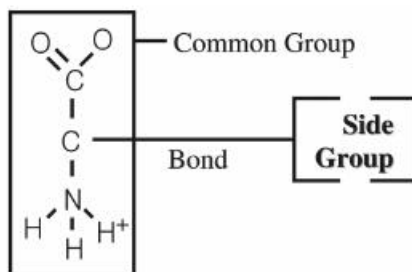


Figure 4. Basic structure of protein.

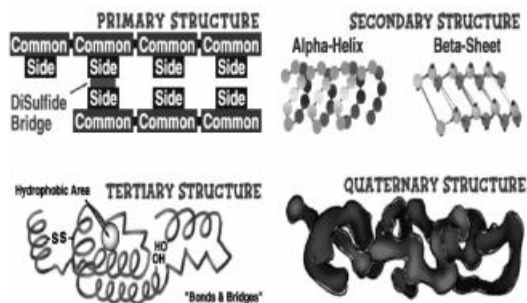


Figure 5. Structure of protein.

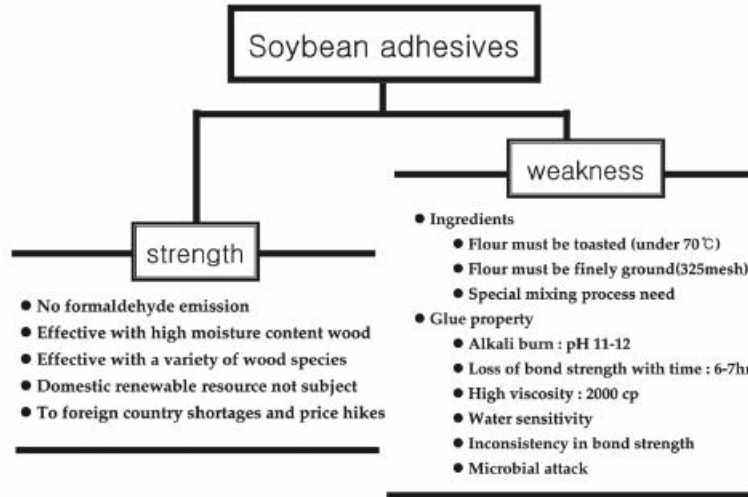
우므로 최근에는 대두 접착제의 이용을 위해 접착력과 물에 대한 저항성을 향상시킨 제품을 개발하고, 가격을 낮추어 생산하기 위한 노력이 계속되고 있다. Figure 3은 대두접착제를 이용해 제조한 합판의 사진을 보여준다.

4. 대두접착제의 특성

4.1. 대두단백질의 특성

대두 단백질은 매우 복잡한 구조를 가진 고분자이며, 18개의 다른 아미노산(amino acid) 형태로 구성되어 있다. Figure 4는 단백질의 기본 구조를 보여주고 대두단백질의 아미노산은 Table 2에서 볼 수 있다. 이들 아미노산(amino acid)은 펩타이드(peptide)로 연결되어 1차 구조를 형성하고 단백질의 성질에 영향을 미친다. 단백질의 1차 구조가 2차 구조, 3차 구조가 되면서 많은 수의 곁사슬(side chain)은 이들 분자와 결합하고 무기질과 유기질, 셀룰로오스(cellulose)와 상호 작용한다. 단백질의 구조들이 Figure 5에 나타나 있다.^(12,19,20) 열을 가하거나 산이나 알칼리에 처리, 유기용매, 세척제, urea 등에 의해

Table 3. Strength and Weakness of Soy Adhesives



단백질의 1차 구조, 2차 구조, 3차 구조나 4차 구조를 변형시키는데 이를 denaturation이라고 한다. Denaturation으로 단백질의 관능기(functional group)를 변화시켰을 때 점도, 용해도 등의 변화에 대한 연구가 수행되었다.^[21-23]

단백질을 각종 산업분야로 이용하기 위한 연구는 1930년대에 Gortner와 Smith 등에 의해 이루어졌다. 이 시기의 연구는 단백질과 포름알데히드와의 반응, electro dialysis에 의한 반응, pH에 따른 반응, sulfuric acid나 phosphoric acid와의 반응 등이 연구되었다.^[24-26] 단백질의 접착제로의 이용은 단백질이 가지는 치환기 때문에 가능하며 여러 물리 화학적 처리를 이용하여 단백질의 구조를 변형(modification)할 수 있다. 단백질의 접착력은 단백질의 분산과 단백질이 접혀있지 않고 얼마나 잘 퍼져있는지에 따라 결정된다. 단백질이 잘 퍼져 있으면 기재와의 접촉 면적이 넓어지고 상호작용이 증가하여 접착력을 높일 수 있다. 또한 물에 대한 저항성을 향상시키기 위해 단백질을 변형시켜 소수성 아미노산을 밖으로 꺼낸다.^[5, 27-32]

4.2. 대두접착제의 특성

대두를 이용한 접착제의 장점과 단점을 Table 3에 설명하였다. 일반적으로 대두접착제는 물에 저항성이 없고 강도가 약하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Table 4에 설명한 것처럼 화학적으로 변화시키거나 효소를 이용하여 구조를 변형시

Table 4. Modification Reactions that Increase Hydrophobicity of Protein

Chemical modifications	- Acetylation - Phosphorylation - Cross linking reactions (formaldehyde, glyoxal, glutaraldehyde)
Enzymatic modifications	- Transglutaminase reaction - Limited hydrolysis

켜 사용하여야 한다. 화학적으로 단백질을 변형시켜 접착제로 사용하는 것은 대량생산을 가능하게 하고, 반응이 비교적 쉬울 뿐 아니라, 화학물의 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 화학적으로 변화시키는 방법으로는 acetylation, phosphorylation, crosslinking reaction 등이 있다. 효소를 이용하는 방법은 화학적 반응을 이용하는 방법보다 특성을 변화시킬 수 있는 범위가 제한적이고 효소도 비싸다. 하지만 반응 조절이 용이하고, 반응의 특이성 때문에 특성조절이 용이하다는 장점을 지닌다.^[33,34]

5. 대두접착제의 물성

대두접착제는 입자크기, 점도, 단백질의 구조 등에 영향을 받는다. Lambuth 등은 접착제를 위한 입자크기는 325 mesh screen을 97% 이

Table 5. Roles of Side Chain Interactions in Protein Functionality

Interactions	Origin	Role
van der Waals	Induced dipole	Packing density, stabilization, protein interior
Hydrogen bond	Attraction	Protein complex, protein structure
Electrostatic	Attraction or repulsion	Structure stability
Hydrophobic bond	Non polar side chain	Cohesion, adhesion, surfactant
Disulfide bonds	-S-S-	Structure, mechanical property

상 통과하는 정도여야 한다고 밝히고 있다. 또한 접착제를 위한 점도가 500~75000 cP 범위에 있어야 하며, 종이나 목재 등에는 500~5000 cP 범위, 목재의 laminating을 위한 용도로는 5000~25000 cP 범위가 적당하다고 보고하였다.^(5,35) 높은 점도의 대두 단백질은 단백질의 접힌 구조로 정전기와 이황화물 공유결합(covalent disulphide bonding) 등으로 인해 분자간 상호작용을 증가시킨다. 그러므로 단백질의 점도는 산으로 처리하거나, 접착력이나 내수성에 영향을 미치지 않는 물질을 이용하여 조절할 수 있고, 효소처리나 알칼리 가수분해를 이용해 점도를 낮출 수 있다. 단, 알칼리 가수분해를 이용하면 가수분해가 빠르게 일어나고, 더 좋은 접착력과 내수성을 나타내지만, 저장시간이 짧아지는 단점이 있다. 아무 처리도 하지 않은 단백질은 반데르발스 힘(van der Waals force), 소수성 상호작용, 수소결합 등으로 일어나는 내부결합들 때문에 좋지 않은 접착력을 나타내고, 그래서 화학적인 변화 등을 통해 내부결합들을 끊어야 한다. 단백질에서 나타나는 각종 내부결합들과 그 결합이 하는 역할을 Table 5에서 나타내었다. 단백질은 pH 11 이상이 되어야 분산이 용이하고 가수분해가 진행된다. 수산화나트륨(NaOH)으로 처리하면 접혀있는 단백질이 퍼지면서 극성과 비극성 그룹이 밖으로 나와 목재와의 접착력을 향상시키고 내수성을 증가시켜주지만, 사용가능한 시간이 짧아진다.⁽⁵⁾

5.1. 대두접착제의 접착력 향상

대두접착제는 초기에 목재용 접착제와 종이용 접착제로 사용되었다. 알칼리 처리를 하면 접착강도가 증가하는데, Cone과 Brown은 1934년 이를 특허화시켰고, 이를 바탕으로 Roderick, Hughes, Smith가 안료와 접착제를 같이 이용

해 종이에 적용시킨 결과를 발표하였다.^(5,22,38) 그리고 대두단백질을 물리적, 화학적 또는 효소로 변화시킬 수 있고 이에 대한 연구가 Feeney에 의해 1970에 연구되었다.^(36,37) 이후 대두를 이용한 접착제는 합성접착제의 접착력보다 우수하지 못하여 밀려났다가 1990년대에 이르러 포름알데히드 방산문제와 친환경적인 접착제의 개발을 위해 다시 연구되기 시작했다.

Trysin-modified soy protein (TMSP)과 alkali-modified soy protein (AMSP)은 접착력이 우수한 것으로 알려지어서 여러 사람들에게 실험이 되었는데, Kalapathy는 TMSP로 soft wood와 hard wood에 대한 접착력을 실험하여 maple과 같은 hard wood에서 soft wood보다 더 높은 접착력이 나온다고 보고하였다. 그리고 단백질 함량이 2 mg/cm²까지 증가할수록 접착력도 증가한다는 것을 보고하였는데, 이는 단백질 함량이 2 mg/cm² 이상이 되면 점도가 증가하여 목재 표면에 젖기(wetting)가 어렵기 때문이라고 하였다.⁽³⁹⁾ Hettiarachchy 등은 AMSP도 단백질 고형분 14% 이상을 지니는 접착제는 점도가 높아져 사용할 수 없다고 보고하였다.⁽⁴⁰⁾ 이러한 고점도는 변형된 단백질의 분자간 상호작용이 증가하여 일어나는 결과이기 때문에 단백질의 분자간 상호작용을 변화시켜 단백질의 점도를 낮추기 위한 방법으로 sulfites, ionic salts, 탄수화물(polysaccharides), disulfide-reducing agent, 지질(lipids) 등의 물질을 이용한 연구가 진행되었다.⁽⁴¹⁻⁴⁶⁾ 하지만 점도가 급격히 떨어지면 접착력도 같이 떨어지므로 작업에 용이한 점도로 조절하면서 일정한 접착력을 유지할 수 있도록 하는 연구가 행해졌는데, Kalapathy는 14%의 고형분을 지니 30000 cP 이상의 점도와 1200 N의 접착력을 지닌 대두접착제에 0.2 M 이상의 NaCl과 Na₂SO₄를 넣어 점도를 측정하면 1500 cP 이하로 점도가 떨어지고 접착력은 800 N 인

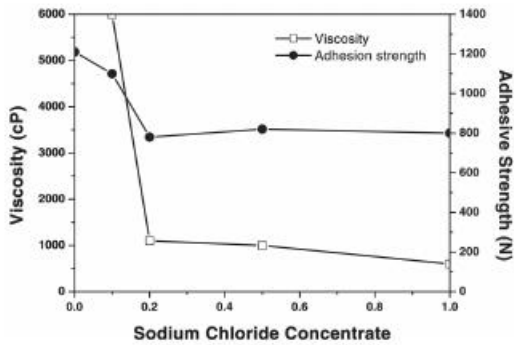


Figure 6. Effect of various concentrations of NaCl on adhesive strength and viscosity of modified soy proteins.

것을 Figure 6에서 확인할 수 있다.^[18]

5.2. 대두접착제의 내수성

5.2.1. 내수성 측정 방법

대두접착제의 내수성 측정방법은 water-soaking-and-drying (WSAD)과 boiling-water test (BWT), incubation aging (ASTM D-1183) 방법이 있다.

WSAD는 내장재로 사용되는 목질복합재료의 물에 대한 저항성을 측정하기 위한 방법이다. 이 방법은 상온에서 24시간 동안 침지하기 전과 후의 전단강도를 측정하여 비교하는 방법이다. BWT는 Construction and Industrial Plywood에서 제시한 U.S. Voluntary Product Standard PS 1-95 방법으로 행해지는 것인데, 시료를 4시간 동안 물에서 끓인 후, 63±3°C에서 24시간 건조되고 다시 4시간 동안 물에서 끓인 후, 수돗물로 차갑게 냉각한다. 이 과정을 거친 후 젖은 상태로 전단강도를 측정하는 것을 BWT/wet strength라고 하고, fume hood에서 공기로 24시간 건조한 후 측정하는 것을 BWT/dry strength라고 한다. 대부분의 목질복합재료는 이처럼 가혹한 조건에서 사용되지 않기 때문에 목질복합재료에 대해 BWT를 사용하는 것은 아직 논란의 여지가 있다. 하지만, 목재 접착제가 외장재로 사용되는 목질복합재료에 사용되었을 때, 이 방법을 사용하여 강도를 측정하는 것은 의미가 있을 것이다. Incubation aging은 시편을 상대습도 90%, 온도 23°C chamber에서 60시간 동안 보관한 후, 상대습도 25%, 온도 48°C에서 24시간

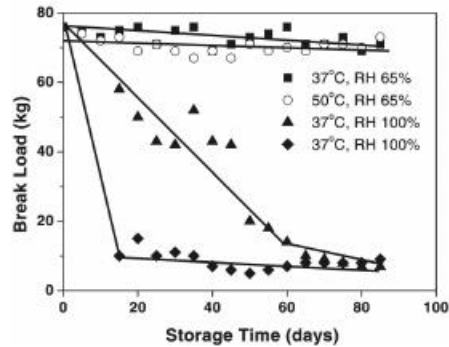


Figure 7. Effects of storage temperature and humidity on break load values of soy adhesive.

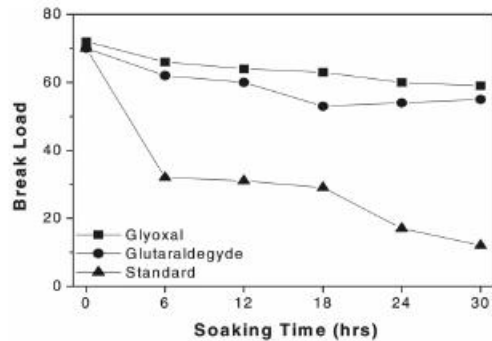


Figure 8. Effects of cross linking with glyoxal and glutaraldehyde on break load values when the bonded wood samples are immersed in water at room temperature.

동안 노출시킨다. 다시 상대습도 90%, 온도 23°C에서 70시간 동안 보관한 후 다시 상대습도 25%, 온도 48°C에서 24시간 동안 보관한 후 시편을 제작하여 강도를 측정한다.

5.2.2. 내수성 향상 방법 및 연구 동향

대두접착제는 수분에 약하므로 습도가 높은 곳에서 보관하면 접착력이 급속히 감소한다. 하지만 온도에 대해서는 영향이 거의 없는 것을 Figure 7을 통해 알 수 있다.^[34] 내수성을 증가시키기 위한 화학적 처리방법으로 널리 이용되는 것이 수산화나트륨을 이용한 알칼리 처리이다. 알칼리 처리는 대두접착제의 접착력을 향상시키고 물에 대한 저항성을 증가시킨다. Lambuth는 대두 접착제의 내수성을 향상시키기 위해 칼슘염

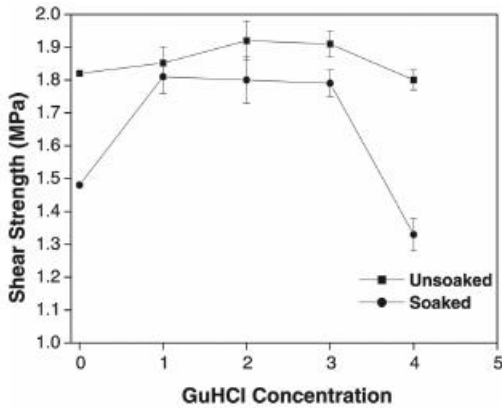


Figure 9. Effect of GuHCl concentration on shear strength of fiberboard bonded with modified SPI adhesive: Specimens were pressed at 100 °C and 2 MPa for 5 min with an assembly time of 10 min and an SPI concentration of 10/100 (SPI/GuHCl solution).

(calaium salts), 탄소이황화물(carbon disulfide) 등의 가교제를 사용할 수 있다고 보고하였다.^[5] Hettiarachchy 등은 수산화나트륨과 trypsin으로 처리한 대두 단백질로 접착제를 준비하면 처리하지 않은 것과 비교하여 강한 접착력과 수분에 대한 저항성이 큰 것을 확인하였다.^[40] 또한 수분에 의한 접착력의 감소를 막기 위해 glyoxal과 glutaldehyde을 이용하여 가교(crosslinking)를 시켰을때, Figure 8과 같이 접착력이 조금 감소하지만, 물에 넣어둔 채 시간이 지나도 강도를 유지하고 있음을 확인할 수 있다.^[33,34]

내수성을 증가시키기 위한 다른 방법으로 GuHCl에 SPI를 녹여 대두접착제를 만들면, 접착력이 증가한다. Figure 9에서 GuHCl을 첨가하지 않았을 때, 물에 침지하지 않은 접착강도보다 물에 침지하였을 때의 접착강도가 현저히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하지만 GuHCl의 농도가 2 M까지 물에 담그지 않았을 때 접착강도도 증가할 뿐 아니라 GuHCl을 첨가하지 않았을 때보다 물에 대한 저항성이 증가하여 물에 침지하여도 크게 강도가 증가하지 않은 것을 볼 수 있다. 하지만 4 M에서는 물에 침지하였을 때 접착강도가 크게 감소함을 볼 수 있는데 이는 4 M일 때의 점도(41.97 mPa · s)가 2 M 이하의 점도(13.43 mPa · s)보다 약 3배가량 증가하였기 때문이다. 하지만 점도보다 더 큰 이유는 GuHCl은

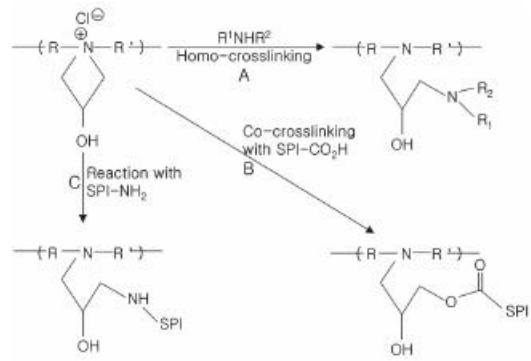


Figure 10. Reaction and crosslinking of SPI.

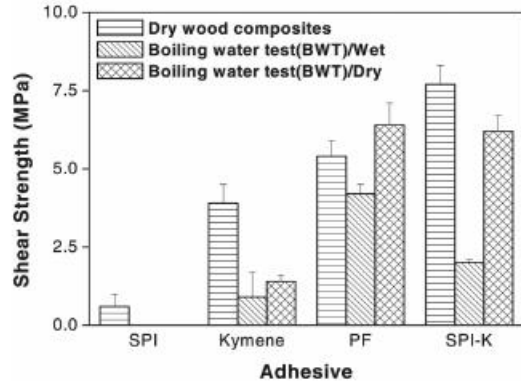


Figure 11. Water resistance of wood composites bonded with various SPI-Kymene adhesive preparations.

※ SPI: alkaline SPI only. Kymene: Kymene only. PF: phenol formaldehyde.

섬유판에서 전혀 접착력을 나타내지 않는데, 4 M에서는 SPI의 양보다 GuHCl의 양이 더 많아지기 때문이다. SPI와 1 M의 GuHCl의 비율에 따라 접착력이 달라지는데, 0.06에서 0.12의 비율까지 접착강도가 증가한다. 하지만 0.16의 비율 이후 접착강도가 약간 감소하는데 이는 점도가 높아져서 젖음성이 좋지 않기 때문으로 보고되고 있다.^[45] 알칼리 처리를 통해 얻어지는 접착력보다 우레아(urea)와 GuHCl, SDS로 얻어지는 접착력이 더 좋고, 내수성이 더 좋다.^[46] 하지만 이들 모두 phenol formaldehyde (PF)에 대해 경쟁력을 가지지 못한다.

Kymene 557H (이하 Kymene)는 현재 젖은 종이의 강도를 증가시키기 위해 사용되는 제품으로 cationic polyamidoanime-epichlorohydrin (PAE) 레진 용액이다. Kymene의 반응은 다음

Table 6. Percentage Increase of Mechanical Strength of Medium-density Wheat Straw Particleboard after Bleaching Treatment of Straw

Mechanical strength	Strength increase after bleaching in adhesives (%)			
	MDI	UF	SPI	SF
TS	42.5	44.6	42.5	15.3
MOR	46.8	47.2	76.8	58.3
MOE	33.8	3.0	20.1	21.9
IB	35.4	63.5	186.9	120.4

Figure 10과 같이 일어난다. 반응이 일어난 후, 물에 녹지 않는 3차원 망상 구조가 생성된다. 이렇게 제조한 접착제(SPI-K)로 물에 대한 저항성을 측정해보면 물에 침지된 후에도 거의 변화가 없거나 오히려 증가하는 경향을 보인다. Figure 11은 PF와 접착강도를 비교해 본 것인데, 물에 젖기 전의 강도는 SPI-K가 가장 높고, 물에 젖은 후 급격히 감소하지만 다시 말리면 강도가 증가하여 PF 접착제와 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 물에 침지한 후 강도가 급격히 감소하는 것은 대두 단백질이 만들어내는 많은 아마이드 결합(amide linkages)이 친수성을 지녔기 때문이다. 목재용 접착제로 SPI-K가 유리한 이유는 대두가 재생 가능한 자원이라는 점, 포름알데히드가 방산되지 않는다는 점, PF 접착제가 어두운 색을 가지는 접착제임에 비하여 SPI-K는 밝은 색을 지니기 때문이다. SPI-K는 접착강도와 물에 대한 저항성이 있어 외장재로의 이용이 가능하다. 하지만 SPI는 가격이 비싸기 때문에 PF 접착제에 비해 높은 가격에 생산되어 경쟁력이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 하지만 대두가루를 이용한 접착제는 가격이 낮지만, 물에 대한 저항성이 없고 강도가 약해서 내장재로의 사용만 가능한 실정이다. 그러므로 대두가루/Kymene 접착제는 UF 접착제를 대체한 내장재로 사용이 가능하다. Kymene은 냄새가 없고 밝은 호박색을 지니 사용하기에 편리하고, SPI-K 접착제는 만드는 조건이 까다롭지 않기 때문에 목재를 위한 접착제로 사용할 수 있어 앞으로 목가구 산업에 쉽게 적용할 수 있을 것이다.^[47]

5.3. 표백처리한 목재에 대한 접착력 향상

Urea-formaldehyde (UF)나 대두접착제 등의 수용성 접착제는 straw 표면이 소수성인 왁스와

실리카에 잘 젖지 못하여 접착력을 나타내지 못한다.^[48] 하지만 straw에 표백처리를 한 후 접착력을 측정해 보면 대두 단백질에서 추출한 접착제가 가장 좋은 접착력을 나타내게 된다. 이는 sodium hypochlorite를 이용한 표백처리가 straw 표면의 왁스와 실리카를 제거하여 straw의 표면을 친수성으로 바꾸어주어 대두 단백질을 이용한 접착제가 좋은 성능을 나타내게 되는 것이다. 이러한 높은 접착력은 대두 단백질의 극성과 straw의 수산기가 화학적 결합을 이루어 나타나는 것이다.^[49]

표백처리(bleaching treatment)한 증밀도 벗질 파티클보드(medium-density wheat straw particleboard)는 처리하지 않았을 때 보다 높은 전단강도를 나타낸다. 접착력의 증가를 보면 Table 6과 같다. Table 6에서 나타난 각 강도는 아래의 식으로 계산되는데,

$$\text{강도} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

여기서 A는 미표백 처리한 증밀도 벗질 파티클보드의 접착강도이고, B는 표백처리를 한 증밀도 벗질 파티클보드의 접착강도이다. Table에서 표백처리를 한 후 접착강도가 증가한 것은 straw의 표면에 있는 왁스와 실리카가 수용성 접착제와의 접착을 막는데 표백처리를 하고 난 후에 왁스와 실리카가 없어졌기 때문이다. 또한 표백처리는 표면을 거칠게하고, 친수성의 표면을 만들어준다.^[50,51]

6. 결 론

대두접착제는 눈이나 목을 따갑게 하는 등 인

체에 유해한 포름알데히드를 방출하는 UF 접착제나 MF 접착제 등을 대체할 수 있다는 장점을 지닌다. 그리고 앞으로 친환경적인 제품을 생산할 수 있는 토대가 될 뿐만 아니라 앞으로 더욱 강화될 환경규제에도 대응할 수 있다. 또한 미래에 석유자원이 고갈되었을 때 기존 석유계 접착제를 대신하여 사용할 수도 있을 뿐 아니라 대두를 이용하기 때문에 지속적인 생산이 가능하다. 이러한 장점에도 불구하고 아직까지 대두접착제의 생산비용이 고가이고 생산과정이 복잡하기 때문에 이를 개선할 수 있는 연구가 계속되어야 할 것이다. 그러므로 앞으로 대두접착제의 단점을 보완해 고부가가치의 대두접착제를 생산할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 정도효, 콩의 과학, 대광서림 (1999).
2. 이홍석, 콩, 서울대학교출판부 (1994).
3. R. A. Goldberg, *The Soybean Industry*, The university of minnesota press (1952).
4. Z. Berk, *FAO Agric. Serv. Bull.*, **97**, 1-10 Chapter (1992).
5. A. L. Lambuth, *Handbook of Adhesive Technology*, Marcel Dekker Inc, New York, 259 (1994).
6. O. Johnson, Adhesive formula and the product produced, US Patent.
7. R. S. Burnett and W. R. Eichenberger, *Paper Trade J.*, **126**, 51 (1948).
8. K. Bain and X. Sun, *Am. Chem. Soc., Div. Poly. Chem.*, **39**, 72 (1998).
9. D. J. Myers, *Cereal Foods World*, **38**, 355 (1993).
10. A. K. Smith and H. J. Max, *IND. ENG. CHEM.*, **34**, 817 (1942).
11. H. F. Roderick and A. E. Hughes, *Paper Trade J.*, **110**, 104 (1940).
12. W. J. Wolf, *J. Agr. Food Chem.*, **18**, 969 (1970).
13. J. E. Kinsella, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **56**, 242 (1979).
14. R. Kumer, V. Choudhary, S. Mishra, I. K. Varma and Bo Mattiason, *Ind. Crops Prod.*, **16**, 155 (2002).
15. A. Gruner and O. Piringer, *Packing Tech Sci*, **12(1)**, 19 (1999).
16. A. Sampathrajan, N. C. Vijayaraghavan, and K. R. Swaminathan, *Bioresour. Technol.*, **40**, 249 (1992).
17. J. T. Hendersom, *Tappi J.*, **62**, 9396 (1979).
18. U. Kalapathy, N. S. Hettiarachchy, D. Myers, and K. C. Rhee, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73**, 1063 (1996).
19. V. Daggett, F. M. Richards, and S. D. Eisenberg, *Advances in Protein Chemistry*, Academic Press Inc, New York (1968).
20. J. E. Kinsella, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **56**, 242 (1979).
21. I. Y. Nir, *J. Food Sci.*, **59**, 606 (1994).
22. L. P. Voutsinas, E. Cheung, and S. Nakai, *J. Food Sci.*, **48**, 26 (1983).
23. H. Zhu and S. Damodaran, *J. Agric. Food Chem.*, **42**, 846 (1994).
24. R. A. Gortner, *Sutermeister's Casein and Its Industrial Applications*, The Chemical Catalog Co., Inc., New York (1927).
25. A. K. Smith, S. J. Circle, and G. H. Brothier, *J. Am. Chem. Soc.*, **60**, 1316 (1938).
26. A. K. Smith and S. J. Circle, *IND. ENG. CHEM.*, **31**, 1284 (1939).
27. X. Q. Mo, J. Hu, X. Z. Snu, and Jo. A. Ratto, *Ind. Crops Prod.*, **14**, 1 (2001).
28. Z. K. Zhong, X. Z. Snu, X. H. Fang, and Jo. A. Ratto, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **78**, 37 (2001).
29. M. Kuo, D. Adams, D. J. Myers, and D. Curry, *Forest Prod.*, **48**, 71 (1998).
30. J. D. Clay, N. C. Vijayaraghavan, and J. Moon, *Annu. Tech. Conf.-Soc. Plat. Eng.*, **57**, 1298 (1999).
31. W. J. Wolf, *J. Agric. Food Chem.*, **18**, 969 (1970).
32. Y. V. Wu and G. E. Igent, *J. Food Sci.*, **39**, 218 (1974).
33. K. S. Kim, O. H. Lie, and S. Y. Lee, *Korea Soybean Digest*, **16(1)**, 14 (1999).
34. K. S. Kim, S. T. Kang, K. Kough, and M. K. Han, *Korea Soybean Digest*, **15(1)**, 37 (1998).
35. A. L. Lambuth and D. Satas, *Coating Technology Handbook*, Marcel Dekker Inc, New York (2001).
36. R. E. Feeney and J. R. Whitaker, *Food Protein: Improvement Through Chemical and Enzymatic Modification*, Adv. Chem. Ser. 160, American

- Chemical Society, Washington DC (1977).
37. R. E. Feeney and J. R. Whitaker, *Chemical and Enzymatic Modification of Plant Protein in New Protein Foods*, edited by A. M. Altschul and H. L. Wilcke, Academic Press, New York (1985).
 38. C. N. Cone and E. D. Brown, U.S. Patent 1,955,375 (1934).
 39. U. Kalapathy, N. S. Hettiarachchy, D. Myers, and M. A. Han, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **72**, 507 (1995).
 40. N. S. Hettiarachchy, U. Kalapathy, and D. J. Myers, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **72**, 1461 (1995).
 41. N. K. D. Kella, S. T. Yang, and J. E. Kinsella, *J. Agric. Food Chem.*, **37**, 1203 (1989).
 42. J. B. German, T. E. O'Neil, and J. E. Kinsella, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 1358 (1985).
 43. J. L. Klemazewski and J. E. Kinsella, *J. Agric. Food Chem.*, **39**, 1033 (1991).
 44. N. K. D. Kella, S. T. Yang, and J. E. Kinsella, *J. Protein Chem.*, **7**, 535 (1988).
 45. S. H. Kim and J. E. Kinsella, *J. Agric. Food Chem.*, **34**, 623 (1986).
 46. Y. Kawamura, Y. Matsumura, T. Matoba, D. Yonezawa, and M. Kito, *Cereal Chem.*, **62**, 279 (1985).
 47. U. Kalapathy, N. S. Hettiarachchy, D. J. Myers, and K. C. Rhee, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73**, 1063 (1996).
 48. J. Hague, A. McLauchlin, and R. Quinney, *Proceeding of the 32nd International Symposium of Washington State University on Particleboard/Composite Materials* (1998).
 49. L. Zong, *Composites: Part A*, In Press, Corrected Proof, Available online 16 September 2004.
 50. X. Q. Mo, E. Cheng, D. Wang, and X. Sun, *Ind. Crops Prod.*, **18**, 47 (2003).
 51. E. Cheng and X. Sun, *Composites: Part A*, **35**, 297 (2004).