

# 콩기름 이용을 위한 기존 에폭시 수지-ESB0 혼용 목재접착제의 물성과 VOC 및 포름알데히드 방산에 관한 연구

최진림

## 요 약

본 연구의 목적은 저렴한 콩기름의 이용을 위하여 기존 에폭시수지와 에폭시 콩기름(Epoxidized soybean oil: ESB0)을 혼용한 접착제의 접착성과 VOC 및 포름알데히드 방산량에 대하여 규명하고자 하였다.

상태접착력 시험을 실시한 결과 혼합비율 9 : 1일 때 30.5kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수한 접착력을 보였으며 혼합비율 2:8일 경우 6.2kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보여 2:8과 1:9를 두경우를 제외한 9가지 경우 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 모두 상회하고 있다. 준내수접착력을 실시한 결과 혼합비율이 9:1 일 때 5.8kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수하게 나타났다. 또한 ESB0를 혼용하여 사용할 때 TVOC 방출량이 감소되었으며 포름알데히드 방출량 시험에서 10 : 0과 5 : 5는 KS 포름알데히드 기준인 E<sub>0</sub>형을 만족하고 0 : 10은 E<sub>1</sub> 형을 만족시키는 결과로 포름알데히드가 거의 방출되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

후속 연구를 통하여 ESB0에 성질에 맞는 적정 접착조건등을 개선한다면 천연물자원을 원료로한 접착제로의 가능성이 충분하다고 판단된다.

## 1. 서론

최근 실내공기환경에 대한 국민적 관심으로 ‘2003년 실내공기질관리법’ 제정되었다. 이는 실내 거주시간의 증가와 실내공기의 기밀화로 실내대기오염이 중요한 환경문제로 대두되었기 때문이다.

현대인은 전반적으로 하루 중 80~90%를 실내에서 생활하므로 실내공기질(Indoor Air Quality, IAQ)은 대부분의 국가에서 중요한 환경과 건강문제로서 부각되고 있다(박 등, 2005). 실내오염이란 밀폐된 모든 공간에서의 오염을 칭하는데 이것은 매우 복합적인 원인들에 의해서 야기되며, 실내 거주자들의 건강상태에 많은 영향을 주는 것으로 나타나고 있다. 이들 실내오염의 원인으로는 외부공기의 유입이나 건축자재, 생활용품 등에서 발생된다고 할 수 있다(조, 1999).

그중 목질재료의 사용이 증가되어짐에 따라 목질재료에 사용되어지는 접착제 및 코팅제에서 유발되는 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)과 포름알데히드 등에 의한 실내공기질 문제를 야기 시키게 된다.

목재에 이용되는 접착제 및 코팅제는 대부분이 석유화학 제품으로 앞에서 말한 VOC문제를 근본적으로 해결하기 어렵다. 이러한 독성 VOC문제는 천연물을 원료로 사용함으로써 극복할 수 있는 부분이다. 따라서 천연물 자원의 사용이 많은 관심을 불러일으키고 있으며 전세계적으로 연구되고 있는 추세이다.

식물성 천연 유지이며 공기름인 Triglyceride(트리글리세리드)식물성 오일은 그러한 원료를 대표하는 중요한 종으로 수많은 산업적인 용도로써 사용되고 있다.(Pryde *et al.*, 1990). 부가적으로 무독성이고 생분해성이 있는 즉, 환경친화적인 유익한 특징을 가지고 있다. 이 triglyceride(트리글리세리드)오일의 주요한 성분은 포화·불포화 지방산이다. 이것들은 탄성중합체 조직의 형태로 합성시킬 수 있고 석유화학에

서 파생된 수지를 대신할 궁극적인 자원으로서 전망되고 있고 가격이 저렴하다는 장점을 가진다(Nevin *et al.*, 1853).

콩기름을 변성한 에폭시기름(Epoxidized soybean oil: ESO)은 산업적으로 플라스틱과 수지로 사용되어지며 가소제나 희석제로써도 사용되어지고 있다. 여러 연구 결과 ESO의 사용가능성은 제시되었으나 구조적인 변성을 통한 수지의 발달은 여전히 더 연구되어야 할 과제이다(Jiang *et al.*, 2003).

현재 국내에서도 여러 목적으로 식물성·동물성 기름이 사용되어지고 있다. 그중 대두유(Soybean oil)는 국내 생산 식용유 중 가장 많은 양을 차지하며 저렴하고 대중적인 식물성 기름이다. 이러한 대두유와 같은 식물유는 바이오매스 물질로 현재 우리가 아주 널리 많은 양을 사용하고 있으며 매년 재배에 의해 많은 양이 생산되므로 고갈의 위험이 없이 지속적인 생산이 가능하며 지구 온난화의 주범으로 생각되고 있는 이산화탄소 배출에 대한 기여도가 낮은 점 그리고 벤젠고리 화합물을 포함하고 있지 않기 때문에 자연환경에 유출시 생분해도가 높은 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 인하여 식물유를 대체 에너지원으로 개발하는 등의 연구가 진행되어 왔다.

한편, 접착제로 널리 사용되고 있는 일반 에폭시 수지는 접착력, 기계적 물성, 내화학성이 우수하고 경화시 수축변형이 적으며 부산물이 생성되지 않는 장점으로 인하여 섬유복합재료의 매트릭스, 코팅, 구조용 접착제, 전기·전자부품 재료 등에 널리 사용되고 있다. 특히, 비스페놀계의 에폭시수지는 구조용 접착제로서 항공기, 선박, 자동차에서 전기·전자부품에 이르기까지 다양하게 사용되어 왔다(Bauer., 1979).

장기적으로 볼 때 저렴하고 지속생산가능한 자원인 ESO와 일반 에폭시 수지의 혼용은 유해물질의 방출을 줄일 수 있는 친환경 접착제의 한 방안이라고 생각된다. 따라서 기존에폭시수지와 ESO의 혼합비율을 달리하여 접착력을 알아보고 VOC 및 포름알데히드 방산량에 대하여 연구하게 되었다.

## II. 연구사

최근 환경문제가 대두되어지면서 미국, 유럽 등 선진국을 중심으로 천연물 접착제에 관한 연구와 투자가 활발히 진행되고 있다. 호주, 유럽에서는 탄닌을 이용한 접착제를 제조하여 사용하였으나 포름알데히드 방출 문제는 해결하지 못하고 있다. 미국에서는 콩단백질을 변성처리 하여 반응성을 증대시킴으로서 우수한 접착제로의 이용이 가능하였다고 보고하였다.

VOC문제로 인한 저가의 아미노계 접착제에서 방출되는 포름알데히드 문제가 제기된 후, 천연자원을 원료로 한 천연물 접착제는 이소시아네이트 접착제와 함께 사용하는 연구가 이루어진 바 있다(Calve *et al.*, 1988). 특히 Masato(1984)는 크라프트 리그닌-포름알데히드와 이소시아네이트 접착제, 열대성 콩과 식물인 kino와 레조시놀 접착제를 외장용 접착제화 할 수 있는 혼합비를 연구한 바, 크라프트 리그닌-포름알데히드 : MDI는 10 : 2, kino : 레조시놀 접착제는 10 : 7이라고 보고하였다. Dix 등(1989)은 천연고분자인 탄닌류, 단백질류, 전분류를 변성이소시아네이트와 혼용하여 파티클보드를 제조한 결과, 탄닌은 접착력이 증가하고 두께팽창율이 감소한다고 보고하였다. 그리고 글루틴(glutin), 옥수수 전분과 변성이소시아네이트로 접착제를 제조, 파티클보드에 적용한 결과 외장용으로 이용할 수 있다고 보고하였다. 양 등(1999)은 식물성 천연유지인 콩기름을 이용하여 폴리올을 합성하고, 이렇게 합성한 폴리올을 사용해 폴리우레탄 폼을 제작하여 촉매와 계면활성제의 관계를 규명한바 있다. 또한 김(2004)은 아스팔트 봉합재에 식물성폐기름을 연화제로 선택하여 함량에 따른 물성변화를 조사하여 인장 접착 강도와 연화점 및 가소효과 등에 대하여 연구한바 식물성폐기름이 균열 봉합재로 제조가 가능하다고 보고하였다.

박 등(2003)은 폐식용유를 이용한 비포름알데히드 목재 접착제 제조 기

술 개발에 대해 연구한 바 폐식용유의 지방산, 글리세롤, PMDI의 혼합비율이 1 : 1 : 4 일때 접착능이 가장 우수하다고 보고한바 있다.

식물성 천연 유지이며 콩기름인 triglyceride(트리글리세리드)식물성 오일은 그러한 원료를 대표하는 중요한 종으로 수많은 산업적인 용도로써 사용되고 있다.(Pryde *et al.*, 1990). 이 triglyceride(트리글리세리드) 오일의 주요한 성분은 포화·불포화 지방산이다. 이것들은 탄성중합체 조직의 형태로 합성시킬 수 있고 석유화학에서 파생된 수지를 대신할 궁극적인 자원으로써 전망되고 있고 가격이 저렴하다는 장점을 가진다(Nevin *et al.*, 1953). 최근에는 직접 이러한 지방산을 합성하거나 변성하여 나온 응용법들이 사용되고 있으며 인쇄, 코팅, 도료, 화장품 그리고 최근에는 중합(polymer)과 합성물들을 들 수 있다.

콩기름을 변성하여 제조한 ESB0가 산업적으로 가장 많이 사용되는 것은 플라스틱과 수지를 들 수 있다. 현재 ESB0는 PVC와 같은 플라스틱 수지의 특성을 수정하기 위한 가소제 또는 안정제로써 주로 사용되고 있으며 에폭시 수지합성의 반응적인 가소제나 희석제로써도 사용될 수 있다. 또한 큰 입자의 두번째 단계인 고무가 에폭시 응용으로 형성될 때 효과적인 강화제로서의 가능성을 잠재적으로 보여준다. 여러 연구원들은 다양한 접근법으로 연구한 결과 탄성을 가진 견고한 교차결합의 폴리에스테르에서 콩기름의 경화과 변이를 연구해 왔다. 이러한 연구들은 지속가능한 자원인 콩기름으로부터 파생된 새 중합체합성을 위한 가능성을 보여준다. 최근, 연구원들은 ESB0로부터 중합혼합물(polymer composites)을 제조하는데 실현 가능성을 연구를 시작해 왔다(Jiang *et al.*, 2003). Crivello 등(1997)은 에폭시화된 채소 기름으로부터 유리 강도를 강화하고 자외선으로 변성한 합성물의 기계적인 특징과 제조를 보고한바있다. 현재까지 ESB0의 사용은 낮은 교차결합력과 기계적인성능 때문에 제한받아 왔다. 콩기름의 구조적인 변성에 의한 수지의 발달은 여전히 중합체와 합성 산업을 위한 도전과제이다.

국내에서는 접착제 제조시 높은 비용의 수입 원료를 대체할 수 있으며

친환경적인 원재료 개발이 시급한 실정이다. 국내의 접착제 제조 기술 및 이에 대한 연구자료는 매우 부족하다. 이러한 실정에 천연물 접착제 및 천연대체물의 연구는 환경문제에 대한 적극적인 대처방안으로 합성수지에서 천연수지로의 전환을 모색하고자한 시도로서 금후 발전이 기대된다.

이에 본 연구에서는 콩기름을 변성하여 얻을 수 있는 물질, ESB0를 이용하여 석유화학물질을 대체하여 VOC와 포름알데히드를 줄이는 친환경 목재 접착제로의 그 적용 가능성을 알아보고자 하였다.

### III. 연구의 이론적 배경

식물성 천연 유지인 콩기름은 triglyceride 분자들의 혼합물로써 분자 내에 평균 약 4.5개의 이중결합을 갖는 불포화 지방산이다(Brignoli *et al.*, 1976, Gunstone 1993). 콩기름의 지방산 조성(산[탄소수 : 불포화 결합수])은 linoleic acid [18:2] (50.8%), oleic acid [18:1] (22.8%), palmitic acid [16:0] (10.7%), linolenic acid [18:3] (6.76%), stearic acid [18:0] (3.87%), palmitoleic acid [16:1] (0.29%), arachidic acid [20:0] (0.22%), myristic acid [14:0] (0.16%), lauric acid [12:0] (0.10%) 등이다. 콩의 산업적인 응용분야로는 인쇄 잉크를 비롯하여 자동차엔진 연료, 플라스틱제품, 접착제, 섬유제품, 건축용 자재 등으로 응용되고 있으며, 최근 들어 콩의 산업적 이용에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있으며, 현재 우리나라에서는 인쇄잉크 분야에만 도입돼 있는 상태이다.

ESB0는 위와 같이 구성되어 있는 콩기름을 에폭시화하여 얻은 변성오일이다(Liu *et al.*, 2004).

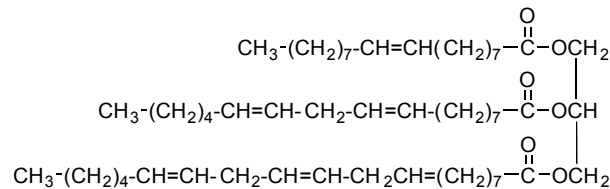


그림 1. Chemical structure of soybean oil.

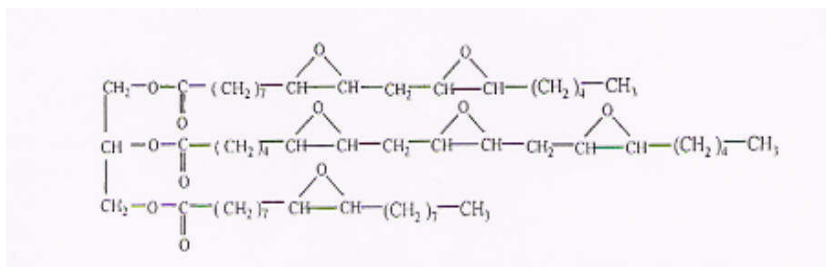


그림 2. Chemical structure of ESB0.

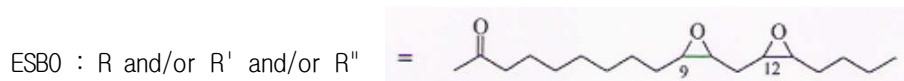
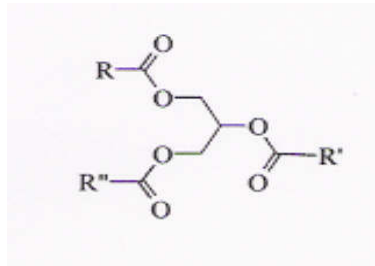


그림 3. General structure of soybean oil and ESBO.

위의 그림과 같이 soybean oil의 CH=CH 이중결합을 반응시켜 에폭시기를 가진 ESBO를 형성한다. 이렇게 변성한 ESBO는 음식포장용 PVC 가소제 용도로 사용되어지고 있으며 기존 에폭시 수지에 소량의 ESBO를 첨가하여 물성을 개선했다는 보고가 있다(Jiang *et. al.*, 2004).

## IV. 재료 및 방법

### 1. 재 료

#### 1.1 접착제용 시약

본 실험의 접착제 제조에 사용된 시약은 Epoxy Resin로 SIGMA-ALDRICH, inc.에서 구입하였으며, 콩기름을 변성한 ESB0는 Scientific polymer products, inc.에서 구입하여 사용하였다.

#### 1.2 단판

접착시험용 합판 제조에 사용한 단판은 멜란티(Dipterocarceae)로 인천의 무늬목제조회사에서 분양 받았으며 두께는 표리판 1.3mm, 심판 2mm였다. 합판 제조시험에 용이하도록 350×350mm<sup>2</sup>로 제단하였고 단판의 함수율은 105℃ 향온건조기에서 24시간 건조한 결과, 평균 4~5%였다.

#### 1.3 소맥분 및 경화제

합판제조에 사용된 경화제는 TETA를 사용하였으며 경화제의 양은 혼합수지 총량의 20phr을 사용하였다.

소맥분의 경우 시중에 판매되는 중력 1등급으로 소맥분의 양은 혼합수지 총량의 10%를 사용하였다.

### 2. 방 법

#### 2.1 접착제 제조

기존 에폭시접착제와 식용유를 변성한 ESB0를 중량비율로 10:0~ 0:10까지 혼합한 후 총 혼합수지의 중량대비 10%의 소맥분을 첨가 혼합하였다.

다음과 같이 각 중량별 혼합비율로 정량하여 접착제를 제조하였다.

표 1. Mixed ratios of Epoxy Resin/ESBO

Epoxy Resin	ESBO
10	0
9	1
8	2
7	3
6	4
5	5
4	6
3	7
2	8
1	9
0	10

## 2.2 접착력시험용 및 VOC 방산측정시험용 합판 제조

접착력시험용 합판은 아래의 표와 같은 조건으로 제조하였다. 접착제 도포량은 133g/m<sup>2</sup>(편면기준 도포)으로 하여 롤러로 도포하였으며 열압조건은 온도 110°C, 압력 10kgf/cm<sup>2</sup>, 시간 3.5mins/mm 로 하여 35cm x85cm 크기의 3매 합판을 제조하였다.

표 2. Conditions of manufacturing plywood

Board Size( W×L: mm)	350×350
Mixing resin (g)	133g/m <sup>2</sup>
Wheat Flour (g)	10% to Resin weight
Hardner ((CH <sub>2</sub> NHCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ) (g)	20phr to Epoxy resin + ESBO
Pressing temp.(°C)	Upper plate : 110°C Lower plate : 110°C
Pressure(kg/cm <sup>2</sup> )	10 kg/cm <sup>2</sup>
Pressing Time (mins)	3.5 mins/mm
Veneer M.C.	Core : 4 ~ 5%(average) Face, back : 4 ~ 5%(average)



그림4. 합판 제조 열압기.

### 2.3 접착성 조사

제조된 합판은 KS F 3101에 의거하여 상태시험, 준내수시험으로 구분하여 측정하였다. 상태시험은 상온상태에서 접착력을 측정하였고, 준내수시험은 시험편을  $60 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 의 온수에 3시간 담근 후 상온의 물 속에서 식히고 젖은 채로 접착력을 조사하였다. 접착력 시험은 만능재료시험기(영국 HOUNSFIELD H50KS-0064)를 이용하였으며 인장 속도는  $2\text{mm}/\text{min}$ 로 측정하였다. 접착력은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{Tensile - shear strength}(\text{kgf}/\text{cm}^2) = \frac{P_s}{L \cdot W}$$

$P_s$  : 최대 하중( kgf ),

$L$  : 접착 단면의 길이(cm),

$W$  : 시험편의 폭(cm)

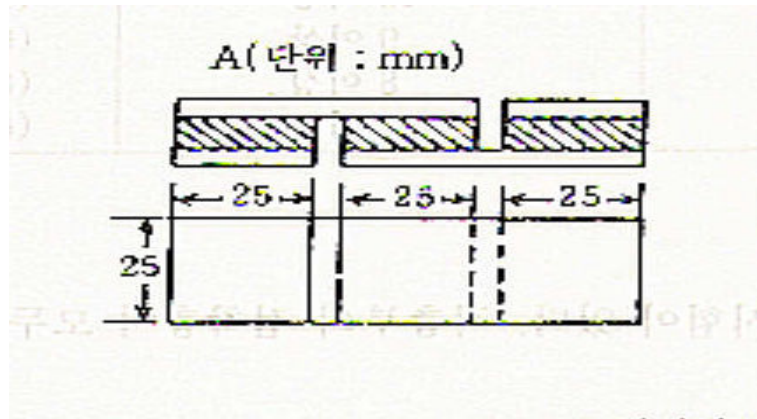


그림 5. 합판의 접착시험용 시편.



그림 6. Universal Testing Machine.

#### 2.4 포름알데히드 및 TVOC 측정

제조된 합판중 에폭시/ESBO 혼합율 10:0, 5:5, 0:10 3종류에서 150mm ×50mm의 시편을 채취하여 KS F 3101에 따라 데시케이터법으로 20±0.5℃에서 24시간동안 포름알데히드를 포집한 후 아세틸아세톤-초산암모늄 용액으로

처리한 후 65℃ 온수로 10분간 가온한 후 UV로 측정하였다.  
이때 보정한 결과, Concentration은 아래 공식과 같았다.

$$\text{concentration} = 7.65640 \times \text{absorption}$$



그림7. 포집중인 데시케이터.

위와 동일한 방법으로 시편을 채취하여 데시케이터법으로 포집한 후 TVOC/VH Sniffer II Indoor Air Monitor Ver 05.04((주)한국산업기기)로 TVOC를 측정하였다.



그림 8. TVOC/VH Sniffer II  
Indoor Air Monitor.

## V. 결과 및 고찰

### 1. 접착제의 물성

#### 1.1. 에폭시 수지와 ESB0의 물성

사용된 에폭시수지는 20℃에서 밀도 1.14g/mL이었다. 사용한 ESB0수지는 Melting point -4℃, CAS Number : CAS 8013-17-8 이었다.

### 2. 접착력

#### 2.1.1. 에폭시수지(10)/ESB0(0) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 10:0으로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 3.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 40kgf/cm<sup>2</sup>으로 가장 낮은 값은 15.8kgf/cm<sup>2</sup>으로, 평균 28.3kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 전체 값이 15.8kgf/cm<sup>2</sup>이상으로 나타나 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>을 모두 두배 이상 상회하고 있었다.

가장 낮은 값인 10번째 시험값은 시험편의 결함으로 다른 시험편들의 값보다 낮게 나타났으며 그 원인으로는 접착제 도포시 도포막의 불균일성과 단판의 표면상태에 따른 결함으로 판단되나, 그 값은 KS 합판 접착성 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있다.

표 3. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(10):ESB0(0)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	24.4	24.4	24.6	24.7	25.3	24.6	24.6	24.8	24.7	24.7	24.6	0.2
<b>Width (mm)</b>	25.3	25.1	25.4	25.2	25.2	25.2	25.3	25.3	25.4	25.1	25.2	0.1
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	30.9	28.2	24.5	19.1	22	35.2	38.2	40	26.3	18.6	28.3	8.1

2.1.2. 에폭시수지(9)/ESB0(1) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 9:1로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 4.에 나타내었다. 실험의 결과 가장 높은 값은 36kgf/cm<sup>2</sup>으로 가장 낮은 값은 23.4kgf/cm<sup>2</sup>으로, 평균 30.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 전체 값이 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었다. 각 반복별 편차는 4.7로 전체적으로 유사한 결과를 나타냈으며 혼합비율 10:0의 평균 27.1kgf/cm<sup>2</sup>보다 높은 평균값을 보였다.

표 4. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(9):ESB0(1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	25.2	25.2	25	25.1	25	25.8	25.3	25.2	25	24.9	25.1	0.2
<b>Width (mm)</b>	25.1	25.1	25.2	25.5	25.2	25.2	25.3	25.3	25.3	25.1	25.2	0.1
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	34.7	29	35	34.8	27.3	33.4	36	23.4	24.7	27.2	30.5	4.7

2.1.3. 에폭시수지(8)/ESB0(2) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 8:2로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 5.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 22.7kgf/cm<sup>2</sup>이며 평균 17.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 1번 시편을 제외한 전체값이 KS 합판 접착성

(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었으나 혼합비율 9:1에 비해 비교적 낮은 결과를 나타냈다. 1번 시편의 경우는 epoxy수지(10)/ ESB0(0)의 경우과 같이 접착제 도포의 불균일성과 단판의 표면성 때문에 나타난 결과로 판단된다.

표 5. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(8):ESB0(2)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	25.5	25.8	25.7	25.2	25.5	25.7	25.4	25.4	25.2	25.3	25.4	0.2
<b>Width (mm)</b>	25.2	25.3	25.4	25.3	25.1	25.2	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	0.08
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	4.33	21.4	22.8	21.7	18.9	20.4	17.4	17.5	12.8	18	17.5	5.4

2.1.4. 에폭시수지(7)/ESB0(3) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 7:3으로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 6.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 29.7kgf/cm<sup>2</sup>이며 평균 18kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 7번 시편의 7.1kgf/cm<sup>2</sup>를 제외한 전체 값이 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었다. 평균치는 혼합비율 8:2와 비교하였을때 0.5kgf/cm<sup>2</sup>높으며 최고값 또한 8:2보다 높게 나타났다.

표 6. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(7):ESB0(3)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	26.1	26.2	26.6	26.8	26.7	24	24.6	24.7	25	24.7	25.5	1
<b>Width (mm)</b>	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.3	25.4	25.3	25.3	25.2	0.08
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	22.8	29.7	24.2	18.8	25.2	13.6	7.1	12.6	13.1	13.3	18	7.1

2.1.5. 에폭시수지(6)/ESB0(4) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 6:4로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 7.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 20.8kgf/cm<sup>2</sup>이며 최저값은 9.4kgf/cm<sup>2</sup>, 평균 14.6kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 전체값이 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었다.

표 7. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(6):ESB0(4)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
Thickness (mm)	24.9	24.9	25.9	25.9	25.7	23.8	24.2	24.7	24.8	25	24.9	0.6
Width (mm)	25.2	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.3	25.3	25.5	25.2	0.08
Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	20.8	15.1	13.6	14.4	11.8	15.8	14.2	17.5	12.6	9.7	14.6	3

2.1.6. 에폭시수지(5)/ESB0(5) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 5:5로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 8.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 15.9kgf/cm<sup>2</sup>이며 최저값은 9.6kgf/cm<sup>2</sup>, 평균 12.4kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나 전체값이 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었으며 편차는 2.2로 전체적으로 유사한 값을 보였다.

표 8. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(5):ESB0(5)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
Thickness (mm)	25.3	25.5	25.6	25.3	24.9	24.4	24.3	24.2	24.3	24.1	24.7	0.5
Width (mm)	25.3	25.2	25.2	25.1	25.2	25.3	25.1	25.2	25.3	25.1	25.2	0.08
Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	11.4	15.9	9.6	14.6	11.8	10.9	12.9	10.8	15.9	10.6	12.4	2.2

2.1.7. 에폭시수지(4)/ESB0(6) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 4:6로 9반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 9.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 10.8kgf/cm<sup>2</sup>이며 평균 7.8kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며 4,5,9번 시편외의 값은 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있었다.

표 9. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(4):ESB0(6)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	25.7	25.6	25	24.8	25.1	25.4	25.3	25.4	25.6	25.3	25.2
<b>Width (mm)</b>	25.2	25.1	25.3	25.3	25.2	25.3	25.2	25.3	25.4	25.2	0.08
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	10.8	8.5	9	5.6	7.2	7.8	8.1	7.6	5.9	7.8	1.5

2.1.8. 에폭시수지(3)/ESB0(7) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 3:7로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 10.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 15.6kgf/cm<sup>2</sup>으로 평균 9.4kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며 5번 시편외의 전체값은 모두 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하고 있어 혼합비율 4:6보다 높게 혼합비율 5:5보다 낮게 나타났다.

표 10. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(3):ESB0(7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
<b>Thickness (mm)</b>	25.5	25.4	25.5	25.2	25.1	24.1	24.3	24.4	24.6	25.1	24.9	0.5
<b>Width (mm)</b>	25.2	25.4	25.5	25.3	25.3	25	25.1	25.4	25.4	25.3	25.2	0.1
<b>Max (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	11	10.5	8.1	8.2	5.5	15.6	8.7	8	9.9	8.1	9.4	2.6

2.1.9. 에폭시수지(2)/ESB0(8) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 2:8로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 11.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 14.5kgf/cm<sup>2</sup>으로 평균 6.2kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며 4, 5, 6번 값은 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>을 상회하였다. 3개의 시편을 제외한 나머지 경우 값이 일정치 못하게 나타났으며 그 원인으로는 접착제의 도포량, 도포의 균질성, 단판의 표면성 및 증량제등의 접착인자로 추측되어지며 공기름의 성질을 띤 ESB0의 양이 증가함에 따른 현상으로 판단되어지며 후속 연구를 통하여 적정접착조건을 규명해 내어 접착성능을 개선할 수 있을 것이라 생각된다.

표 11. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(2):ESB0(8)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
Thickness (mm)	25.2	24.9	24.7	25.3	24.9	25.3	25	25.7	26	25.7	25.2	0.4
Width (mm)	25.4	25.3	25.4	25.4	25.2	25.2	25.2	25.3	25.5	25.2	25.3	0.1
Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	4.7	1.8	2.6	14.4	14.5	11.4	4.3	1.7	4.7	1.4	6.2	5.2

2.1.10. 에폭시수지(1)/ESB0(9) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 1:9로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 12.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 12.2kgf/cm<sup>2</sup>으로 평균 6.7kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며 1, 2, 6, 7, 8번 값은 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회하였다. 그러나 50%이상이 KS 접착성 규격에 상회하는 것을 보아 1.1.9에서 언급한 접착제의 도포량, 도포의 균질성, 단판의 표면성, 증량제의 종류 및 양을 조정하면 접착력을 개선할 수 있을 것이라 판단된다.

표 12. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(1):ESB0(9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
Thickness (mm)	24.9	25.7	25.9	25.8	25.7	25.6	25.3	26.2	25.7	25.3	25.6	0.3
Width (mm)	25.1	25.3	25.3	25.4	25.3	25.5	25.4	25.2	25.4	25.5	25.3	0.1
Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	9.2	7.6	6.5	3.4	3.9	12.2	7.9	7.9	2.6	6.2	6.7	2.9

2.1.11. 에폭시수지(0)/ESB0(10) 혼합비율에서 합판의 상태접착력

에폭시수지와 ESB0의 혼합비율을 0:10로 10반복을 실시하여 조사한 강도와 평균 및 편차를 표 13.에 나타내었다. 실험의 결과 최고값은 10.4kgf/cm<sup>2</sup>, 평균 7.7kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타났으며 5~10번 시편의 값은 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 상회 하고 있었으며 평균치는 혼합비율 2:8, 1:9 보다 높게 나타났다. 이 결과는 기존 에폭시수지를 전혀 사용하지 않고 ESB0만으로도 최고값 10.4kgf/cm<sup>2</sup>, 평균 7.7kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 보여 위의 1.1.9.에서 언급한 바와 같이 적정 조건을 연구하여 찾아낸다면 산업용 순수 친환경접착제로서 사용이 가능할 것으로 판단된다.

표 13. Bond strength at mixed ratios of epoxy resin(0):ESB0(10)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	Std. Dev.
Thickness (mm)	25.6	26	26	25.7	24.7	26	25.8	25.5	25.3	26.2	25.6	0.4
Width (mm)	25	25.2	25.2	25	25.1	25.2	25.2	25.4	25.1	25	25.1	0.1
Max (kgf/cm <sup>2</sup> )	3.2	4	5.6	3.5	8.7	10.4	9.7	7.9	13.6	9.9	7.7	3.4

### 2.1.12. 각 혼합비별 합판의 평균상태접착력

10:0~0:10까지의 반복에 따른 강도와 평균 및 편차를 종합하여 비교하였을 때 위와 같이, 에폭시수지와 ESB0의 혼합비율은 9 : 1일 때 30.5kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수한 접착력을 보였으며 혼합비율 2:8일 경우 6.2kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보였다. 위의 두 경우를 제외한 혼합비율의 강도는 7:3, 8:2, 6:4, 5:5, 3:7, 4:6, 10:0, 1:9순으로 나타났다. 이러한 결과는 에폭시수지와 ESB0의 혼합에서 혼합율 9:1을 제외하고는 ESB0의 양이 증가할수록 접착력이 감소하는 경향을 알 수 있으며 2:8이상에서 약간의 증가세를 보여주고 있다. 2:8과 1:9를 두경우를 제외한 9가지 경우 모두 강도 7.7kgf/cm<sup>2</sup>이상을 보여주고 있어 KS 합판 접착성(비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 모두 상회하고 있다.

3 : 7~0 : 10의 반복에 따른 강도를 살펴보면 혼합비율 1 : 9의 경우 가장 높은 값은 12.2kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났으며 나머지 값들은 6~7kgf/cm<sup>2</sup>정도로 나타남을 알 수 있다. 또한 2 : 8의 경우 가장 높은 값이 14.5kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났으며 나머지 강도값은 1~4kgf/cm<sup>2</sup>으로 나타나는 등 3 : 7~0 : 10은 반복 경우별 강도의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 10 : 0~4 : 6은 반복수에 있어서 강도값의 차이는 크게 두드러지지 않았다.

이러한 결과가 나타난 원인으로는 합판 제조 시의 조건들에 의한 것으로 추정된다. 단판의 표면성, 접착제 도포의 균일성, ESB0에 맞는 증량제와 접착제의 도포량, 단판의 함수율 또는 pH등에 의한 변이가 있을 것으로 판단되며 후속 연구를 통하여 규명해 낼 수 있을 것으로 판단된다.

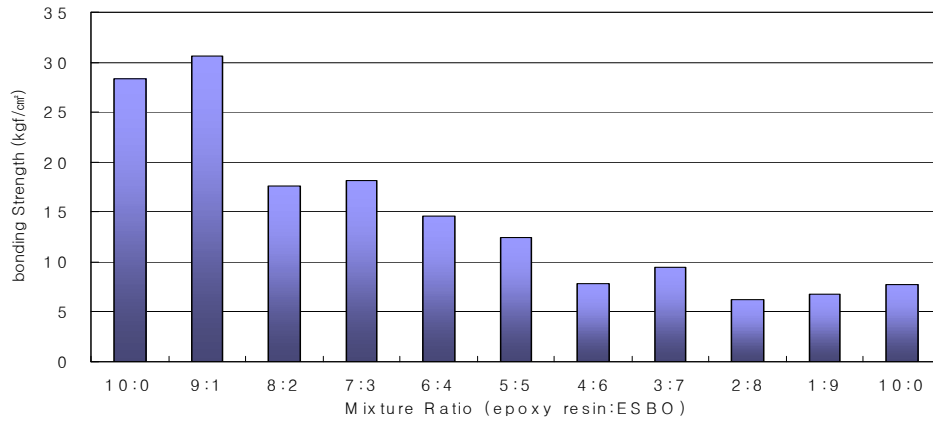


그림 9. Comparison of means of bond strength of mixed ratios.

## 2.2 각 몰비별 합판의 준내수접착력

준내수접착력을 측정한 결과는 그림 6.와 같았다. 에폭시수지-ESBO 접착제는 혼합비율이 9:1 일 때 5.8kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수하게 나타났으며 5:5 일때 0.05kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 강도를 보였다. 나머지 경우의 강도는 7:3, 8:2, 6:4 순으로 나타났다.

준내수시험의 경우도 상대접착력시험과 같이 에폭시수지와 ESBO 혼합비율에서 ESBO의 양이 증가 될수록 강도가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 상대접착력시험과 강도를 비교하였을 때 현저히 낮아진 것을 알 수 있다. 이것은 에폭시 접착제의 경화도와 물성은 수지 및 경화제의 종류와 경화조건(반응시간 및 온도)에 의해 결정되며, 환경중 수분의 영향도 크게 받기 때문이며 고분자가 조습한 환경에 노출될 경우 물 분자는 쉽게 고분자 매트릭스에 침투하여 접착제의 유리전이온도를 저하시키고, 기계적 물성을 감소시킬 수 있기 때문이다(Maggana *et al.*, 1999: Xiao *et al.*, 1997).

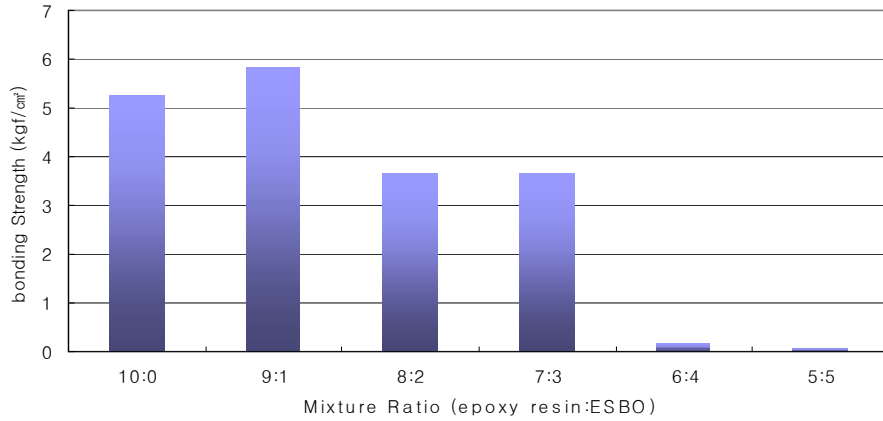


그림 10. Comparison of means of wet bond strength of mixed ratios.

### 3. 포름알데히드 및 TVOC 측정

#### 3.1. 포름알데히드 측정

에폭시수지-ESBO 접착제는 비포름알데히드계 접착제로서 포름알데히드 방출량은 아래의 표 7.과 같이 10 : 0에서 0.029057mg/L 5 : 5에서 0.037393mg/L, 0 : 10에서 0.07255mg/L으로 나타나 KS기준치(KS F 3101, 5~7mg/L이하)를 상회하는 결과를 보였다.

이러한 결과 중 10 : 0과 5 : 5는 KS 포름알데히드 기준인 E<sub>0</sub>형(포름알데히드 방산량이 평균 0.5mg/L 이하일 것)을 만족하고 0 : 10은 E<sub>1</sub>형(포름알데히드 방산량이 평균 1.5mg/L 이하일 것)을 만족시키는 결과로 이것은 포름알데히드가 거의 방출되지 않는 것을 확인할 수 있다. 그러나 ESBO의 양이 증가 할수록 포름알데히드의 방출량이 증가하는 경향을 나타냈다.

포름알데히드는 우리가 즐겨먹는 사과 등의 과일이나 생선에도 극소량

들어있고 번데기통조림에선 자연 발생되며 담배연기에는 상당량 들어있다고 알려진바 있다. 그러나 일본의 후생성은 “자연에 함유된 포름알데히드는 사람의 건강을 훼손할 염려는 없으며, 또한 최근의 환경오염 등에서 유래하는 것이 아니므로 식품위생법에 근거하여 획기적으로 규제하는 것은 반드시 적당한 것은 아니다” 라고 발표하고 있다(박 등, 2005). 그러므로 ESBO를 첨가에 따라 증가하는 것은 천연물질인 ESBO에서 방출되는 것으로 판단되며 화학물질에서 방출되는 것과 달리 인체에 무해할 것이라 판단된다.

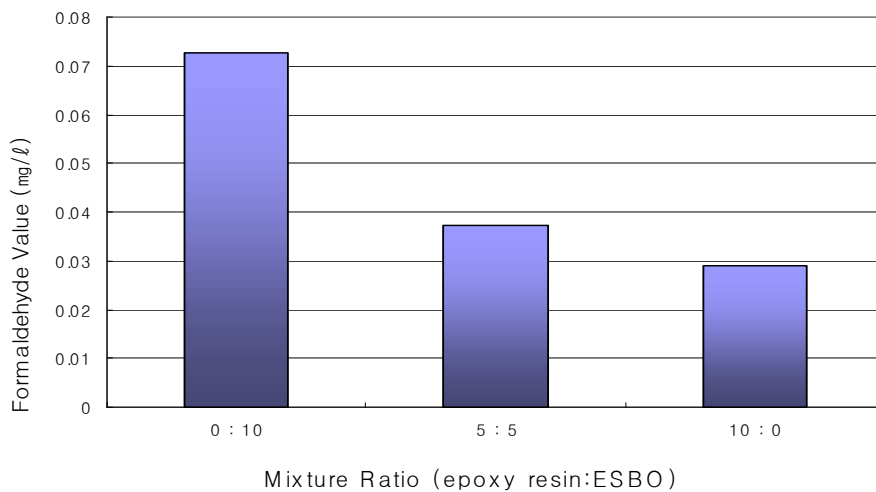


그림 11. Relationships between mixed ratios and formaldehyde.

### 3.2. TVOC 측정

에폭시수지-ESBO 혼용 접착제의 TVOC 방출량은 아래의 표 7.과 같이 10 : 0에서 5.95mg/L, 5 : 5에서 4.22mg/L 그리고 0 : 10에서 4.37mg/L으로 나타났다. 이러한 결과는 에폭시 접착제만 사용한 10 : 0의 경우보다 혼합비율에서 ESBO의 양을 증가시킨 5 : 5, 10 : 0의 경우가 더 높게 나타나 기존 에폭시접착제에서 방산되는 TVOC의 양보다 감소되는 것을 확인할 수 있다.

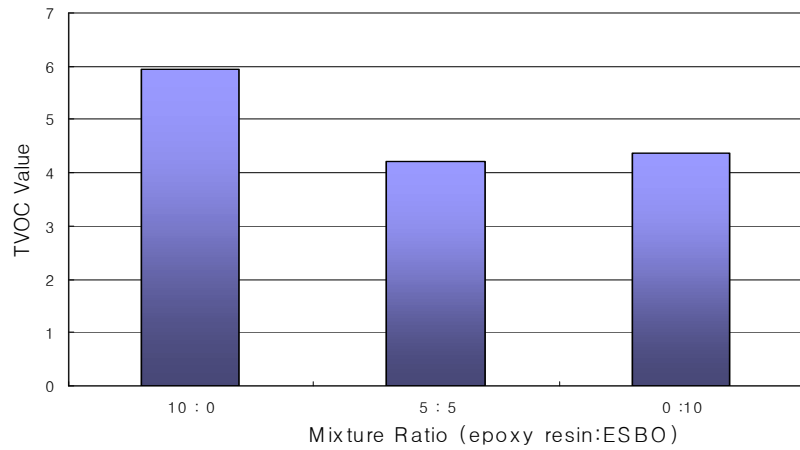


그림 12. Relationships between mixed ratios and TVOC.

## VI. 결 론

본 연구의 목적은 저렴한 콩기름의 이용을 위하여 기존 에폭시수지와 에폭시 콩기름(Epoxidized soybean oil: ESBO)을 혼용한 접착제의 접착성과 VOC 및 포름알데히드 방산량에 대하여 규명하는 것이다.

1. 상대접착력 시험을 실시한 결과 혼합비율 9 : 1일 때 30.5kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수한 접착력을 보였으며 혼합비율 2:8일 경우 6.2kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 값을 보여 2:8과 1:9를 두경우를 제외한 9가지 경우 모두 KS 합판 접착성 (비내수) 규격인 7.5kgf/cm<sup>2</sup>를 모두 상회하고 있다.
2. 준내수접착력을 실시한 결과 혼합비율이 9:1 일 때 5.8kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 우수하게 나타났으며 5:5일때 0.05kgf/cm<sup>2</sup>로 가장 낮은 강도를 보였다. 나머지 경우의 강도는 7:3, 8:2, 6:4 순으로 나타났다.
3. 포름알데히드 방출량은 10 : 0에서 0.029057mg/L 5 : 5에서 0.037393 mg/L, 0 : 10에서 0.07255mg/L으로 나타나 KS기준치를 상회하는 결과를 보였다. 10 : 0과 5 : 5는 KS 포름알데히드 기준인 E<sub>0</sub>형을 만족시켰다. 0 : 10은 E<sub>1</sub> 형을 만족시키는 결과로 나타났으나, 이는 천연상태에 발생하는 포름알데히드로 인체에는 해가 되지 않는 것으로 판단된다.
4. TVOC 방출량은 10 : 0에서 5.95mg/L, 5 : 5에서 4.22mg/L 그리고 0 : 10에서 4.37mg/L으로 나타났다. ESBO를 혼용하여 사용할 때 TVOC의 양이 감소되는 것을 확인 할 수 있었다.

위의 결과들을 종합하여 볼 때 기존 에폭시 접착제/ESBO 혼용접착제는 개선을 통해 친환경접착제로서 가능성을 확인할 수 있었으며 TVOC의 방산량을 감소시키며 포름알데히드는 거의 방출되지 않는 것을 알 수 있었다.

## VIII. 참고 문헌

1. 김석준. 2004. 폐식용유를 이용한 아스팔트 실란트. *Elastomer*. 39(1): 61~70.
2. 박종영, 박상범, 박병대, 문성필. 2005. 실내공기환경과 목질제품. 임업연구원. pp: 44~50.
3. 박헌, 김환기. 2003. 폐식용유를 이용한 비포름알데히드 목재 접착제 제조 기술 개발. 농림부 최종 연구보고서.
4. 양도형, 이광용, 신재섭. 1999. 콩기름을 이용한 폴리우레탄 포옴의 합성. *공업화학*. 10(5): 731~736.
5. 조정식. 1999. 실내 공기질 향상 및 오염 대책 연구. 한국건설기술연구원 연구보고서.
6. 한국표준협회. 1997. 보통합판. 한국산업규격. KS F 3101.
7. Bauer, R. S. 1979. "Epoxy Resin Chemistry", *Advanced in Chemistry Series. American Chemical Society* 114: 1.
8. Calve, L. D., Shields, J. A., Blanchette, L. and Frechet. 1988. A practical Lignin-based adhesive for waferboard/OSB. *Forest Products Journal* 38(5): 15~20.
9. Crivello, J. V., Narayan, R. and Sternstein, S. 1997. Fabrication and mechanical characterization of glass fiber reinforced UV-cured composites from epoxidized vegetable oils. *Journal of Applied Polymer Science* 64(11): 2073~2087.
10. Dix, B. and Raineer, M. 1989. Modification of diisocyanate-based particleboard and plywood glues with natural polymer: polyphenol, carbohydrates and proteins. *Adhesives from renewable resources, ACS symposium series* 385: 229~241.
11. Jiang, Z. K., Chandrashekhara., Virgil, F. and Shubhender, K. 2004. Curing Mechanical Characterization of a Soy-Based Epoxy Resin System. *Journal of Applied Polymer Science* 91: 3513~3518.
12. Liu Z. S., Erhan, S. Z., and Calvert, P. D. 2004. Solid freeform

- fabrication of epoxidized soybean oil/epoxy composites with Di-, Tri-, and polyethylene amine curing agents. *Journal of applied polymer science* 93: 356~363.
13. Maggana, C. and Pissis, P. 1999. Water Sorption and Diffusion Studies in an Epoxy System. *Journal of Polymer Science part B: polymer physics* 37: 1165.
  14. Masato, G. 1984. Wood adhesives from natural raw materials. *Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium* 40: 101~126.
  15. Nevin, C and Moser, B. 1963. Vinyl oil monomers. I. Vicinal methacryloxy-hydroxy soy oils. *Journal of Applied Polymer Science* 7: 1853~1866.
  16. Pryde, E. H. 1990. Handbook of Soy Oil Processing and Utilization. *American Oil Chemists' Society: Champaign, IL.*
  17. Warth, H., Mulhaup, R., Hoffman, B. and Lawson, S. 1997. Polyester networks based upon epoxidized and maleinated natural oils. 1997. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 249: 79~92.
  18. Xiao, G. Z. and Shanahan, M. E. R. 1997. Water Absorption and Desorption in an Epoxy Resin with Degradation. *Journal of Polymer Science part B: polymer physics* 35(16): 2659~2670.