

# 유구 이전 전용 저점도형 에폭시와 박리제에 관한 연구

한원식 | 홍태기 | 박기정 | 임성진\* | 위광철\*<sup>1</sup>

한서대학교 화학과  
\*한서대학교 문화재보존학과

## Study on the Peel off Style Low Viscosity Epoxy and Separation Media for a Moving Historic Sites

Won-Sik Han | Tae-Kee Hong | Gi-Jung Park | Sung-Jin Lim\* | Koang-Chul Wi\*<sup>1</sup>

Department of Chemistry, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

\*Department of Cultural Asset Conservation, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

\*<sup>1</sup>Corresponding author : kcwi@hanseo.ac.kr, +82-41-660-1043

**초 록** 유구 이전의 안정성은 고분자 재료의 물리적 우수성뿐만 아니라 작업성과도 밀접한 관계가 있다. 이들 유구 이전 재료들은 토양에 함유된 수분 함량이나 낮은 온도와 같은 주위 환경의 영향이 없이 작업이 가능해야 하며, Epoxy 최종 생성물로부터 Urethane 1차 생성물을 박리시키는 작업 공정 중의 안정성과 작업성도 요구된다. 그래서 본 논문에서는 우수한 물리적 특성을 갖는 저점도의 Epoxy polymer와 경화제 및 유구 이전을 위한 박리제에 대한 합성에 대하여 보고하고자 한다. 이 유구 이전 전용 저점도 Epoxy는 우수한 접착 강도와 자체 강도, 작업성 등의 물리적 안정성을 유지하고 있으며 특히, 박리제는 우레탄과 저점도의 Epoxy 간의 우수한 박리 안정성을 나타내고 있다.

**중심어** : 유구 이전, 에폭시, 박리제, 작업성, 저점도

**ABSTRACT** Stability of the moving historic sites have something to do with the degree of easiness of work as well as physical property of polymer product. These agents should be able to use without the effect of outer environments like water or low temperature and must have stability during progress of working the peel off Urethane pre-product from Epoxy surface. So, we synthesized low viscosity epoxy resin and hardener with best physical quality and separation media for the moving of historical sites. These products have very good tension strength, adhesion strength, low viscosity and various physical properties that the users want. Particularly, separation media products have good separation of Urethane pre-products surface and Epoxy final product surface.

**Key Word** : Moving historic sites, Epoxy, Separation media, Low viscosity

### 1. 서론

다양한 형태의 유적 발굴은 일반적으로 두 가지의 결과물을 얻게 된다. 발굴의 목적이 되는 유물과 크고 작은 형태의 유구가 바로 그것인데, 유물의 경우, 대부분이 유구를 떠나 박물관이나 전시관 등에 수장되어 일반인을 위

해 전시되고 있으나 유구는 재매장되는 것이 일반적이었다. 하지만, 발굴을 통해서 얻어지는 유물 자료를 보다 효율적으로 이용하기 위한 방법은 유구와 유물을 동시에 위치시키는 것이다. 이와 같이 유구를 유물과 함께 남겨둘 수 없거나, 역사적 가치가 있는 유물과 함께 전시하고자 하는 때에는 유구를 똑 같은 모양으로 만들어 다른 곳

에 옮겨 놓는 작업을 하는데 이것을 유구 이전이라고 한다. 이 유구 이전은 유물을 이해하는 상황을 구체적으로 이끌고, 문화의 우수성을 일반인들에게 접근시키는데 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

우리나라에서 유구 이전은 1980년대에 국립중앙박물관 보존과학연구실과 국립문화재연구소 보존과학연구실에 의해 합성수지를 이용한 이전 복원 시도에서 부터 시작되어, 이후 다양한 형태의 합성수지를 이용한 유구의 이전 복원이 계속적으로 시도되었다.<sup>1,2</sup> 일본의 경우, 유구 이전 작업은 1980년도 초반부터 시작하여 취락·생활유적·고분·분묘·횡혈(横穴), 도성·궁터·관청터·시원·사지, 성터·관아터 등 많은 부분에서 우리나라 보다 대규모로 이전되어졌으며, 현재 연구 개발을 통하여 유구의 재질이나 주변 환경에 영향을 받지 않고 사용할 수 있는 그 이전재질의 성능과 실용성은 높은 평가를 받고 있다.<sup>3</sup> 하지만 이 재료들 역시 우레탄 - 에폭시의 박리성에서 문제를 나타내고 있어, 이에 대한 해결이 우선시 되어야 할 것으로 보인다. 우리와의 차이점은 국가 특성상, 천문학적인 문화재 보존비의 투자와 긴 처리 기간들로 우레탄 1차 전사체와 에폭시 최종생성물 간의 박리 문제를 해결하고 있는데, 이들의 경우, 박리가 되지 않고 남아 있는 Epoxy 최종 생성물 표면의 1차 전사 우레탄 잔유물을 치과용 핀셋으로 하나씩 제거하여 많은 인력과 경비를 투입하고 있다. 이런 관례로 3년에 걸친 이전 작업 중 2년에 가까운 시간을 Urethane의 완전 박리에 보낸 사례도 접한 바 있다. 우리의 경우에는 내외적으로 열악한 경비와 짧은 처리기간 동안 유구의 이전이 이루어져야 하므로, 이러한 방법으로는 유구 이전이 어려울 것으로 보이며, 또한 현재 중요한 다른 문화재 복원 보수에 더 많은 경비가 투자되어지고 있다. 이러한 문제들은 유구 이전에 적합하고 정확한 형태의 유구 이전 전용의 합성 수지를 개발하여서 정확한 유구 이전이 실행되는 것이 아니라 단지 수년간 약속해지거나, 시판된 상품들 중에서 유구 이전에 적용이 가능할 것 같은 합성수지를 선택하는 정도로 유구 이전이 이루어진 결과들로 보이며, 이렇게 적절치 못한 합성수지의 사용은 여러 가지 문제점들을 내포하게 되는데, 이에 대한 지속적이고 확실한 보완이 되지 않는 한, 우리나라 뿐 아니라 일본에서도 계속적인 유구 이전이 불가능할 것으로 보인다.<sup>4</sup>

이러한 이유로 이미 이에 대한 다양한 형태의 이전재를

본 연구 팀에서 기 개발한 바 있으나 이 제품의 보완점들이 절실히 요구되어졌는데, 그 이유는 바로 개발 제품의 자체 문제가 아닌 부수적인 문제들로 인하여 최고 물성을 갖은 재료를 사용하지 못하고 있는 것에 있다. 이는 유구 이전의 단계상, 일차 전사와 이차 최종 생성물의 단계를 거치며 발생하는 문제들로서, 유구 이전 방법론에서는 이미 국내외적으로 공인된 방법의 수행 중에 발생하는 현상들이었다. 이는 Urethane 일차 전사체와 이차 Epoxy 최종 생성물간의 접착도에 관한 문제들로서, 두 층간의 분리를 위해서 그간 개발된 제품 중에 속건성의 고점도의 Epoxy 만을 사용했던 것이 사실이었다.<sup>5</sup>

본 연구에서는 이와 같은 문제점의 해결을 위하여 건조 속도와 점도에 무관한, 최상의 물성으로 개발된 저점도 Epoxy를 사용하기 위해, 일차 전사체와 이차 최종생성물 간의 완벽한 박리를 위한 재료의 연구를 목표로 하고 있다. 이는 그간 기 개발한 고점도의 Epoxy의 작업성 문제를 해결하고 박리제의 사용으로 인하여 완전하고 안전한 박리가 가능한 재질의 연구로 본 연구에서는 저점도의 유구 이전 전용 Epoxy의 제조와 그 박리제의 연구를 그 목표로 하고 있다. 이를 통하여 발굴 유구 손상 원인을 방지하고 원형의 복원 및 영구적인 관리를 위해, 기존의 발굴 유구 이전제 전용 박리제를 합성하고, 이에 대한 검증 을 통하여 한 차원 높은 이전제 개발하여 적용하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료 및 시약

M 40 (풍립)과 NS 10 (三匠商), NR 51 (三匠商 7)은 기존 제품을 구입하여 그대로 이용하였으며, SE 101, HE 101 및 박리제 제조에 이용되는 시약은 sigma 와 Aldrich사의 시약을 사용하여 1 차 실험 후, 추후 제품의 제조를 위하여 공업용 시약들로 교체하여 compounding 하여 물성 검사와 실제 적용하여 실험하였다.

분산제로는 Mop-1050, Mop-1019, 미원 (micol-in), 화인켄 (파인켄텍), Adeka Nol-61, Adeka Nol-71 (adeka), Tween 40, Tween 80, Laurylsulfate

(samchun), Triton x-100 (Yakury)를 양이온계와 음이온계 및 중성계의 분산제를 구조별, 내부 chain의 길이별로 분리하여 구매하여 계면활성화제로 이용하였고, Diglycidyl Ether of Bisphenol F (Aldrich), Diglycidyl Ether of Bisphenol-A (Fluka), Diethylene triamine (Fluka), Butyl Glycidyl Ether (Fluka), Acrylo Nitrile (Fluka)를 이용하여 합성하였다.

## 2.2. 기기 및 기구

SE 101과 HE 101은 에폭시 compouder를 이용하여 제조하였으며 바리제는 poongrim사의 rab stirrer (MS-300)를 이용하여 계면활성화제와 함께 분산시켜 제조하였다. 온도 조절은 Misung Co. mentle (mon-asbestos)과 Orion cooler (T 200)를 이용하여 조절하였으며 접착도 및 인장도는 흥인 Universal machine (KS M3722 method and modified KS method)을 이용하여 측정하였다. 표면 경도는 Showa A형과 Showa B형을 이용하였으며, 점도는 Fungilab 사의 Visco Star plus를 이용하여 측정하였다.

## 2.3. Epoxy 제조와 바리제의 합성

Epoxy resin은 diglycidyl ether of bisphenol A 보다 저점도이며 친환경적인 소재인 diglycidyl ether of bisphenol F를 주재료로 이용하여 저점도화하였으며 신율과 자체 인장성의 증가를 위하여 acrylonitrile-butadiene rubber계와 diglycidyl ether of bisphenol A, polypropylene glycol diglycidyl ether계를 점도 조절 및 안정성 증가를 위하여 첨가하여 조절하였다.<sup>8</sup> 연질형과 경질형의 두 가지로 제조하였으며, 바리가 용이하고 안정성이 유지되는 범위까지 저점도로 제조하였다.<sup>9</sup>

바리제의 Resin의 경우,<sup>10,11</sup> Epoxy resin poly(phenyl glycidyl ether)-co-formaldehyde (CAS 28064-14-4, Mn~570)과 DER 330 Epoxy resin (CAS 25068-38-6, Mn~2700), 그리고 다양한 종류의 Surfactant를 H<sub>2</sub>O와 함께 70 °C로 가열하면서 impeller를 이용하여 4000 rpm 상태로 교반하며 합성하였다. 바리제 Hardener는,<sup>12</sup> Diethylene triamine과 Butyl Glycidyl Ether, Acrylo Nitrile, Diglycidyl Ether of Bisphenol-

A, EDTA를 다양한 종류의 Surfactant와<sup>13</sup> 함께 impeller를 이용하여 3000 rpm 상태로 냉각하며 합성하였으며 경우에 따라 conc. Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 용액을 이용하여 pH를 조정하면서 합성하였다. 이때 Resin과 Hardener의 비율은 당량비에<sup>14</sup> 따라 100 : 10 ~ 100 : 100으로 조정하였으며 이 합성체 30g을 70g의 H<sub>2</sub>O에 분산시켜 이용하였다.

## 2.4. Epoxy와 바리제의 물성 검사

Epoxy는 조성별 함량별로 compounding하였으며, 자체 인장, 접착 인장, 경도, 점도 측정 등을 수행한 후, 이중 우수한 군들을 선별하여 바리제와의 적용성을 검사하여 제조하였다.(Table 1, 2) 바리제는 다양한 surfactant를 이용하여 주제와 경화제를 각각, H<sub>2</sub>O 내에서의 분산 안정성부터 1차 검사하였으며, 이들 중 선별하여 다시 경화 후의 분산 안정성을 검사하였다. 경화 후까지 분산에 문제가 없는 군들은 Filter paper 표면에서의 경화성을 검사하였으며, 이들 중 다시 경화에 문제가 없는 군들을 이용하여 NR-51, M-40, 제조된 SE-101, HE-101 등의 Epoxy를 이용하여 NS-10 Urethane 1차 전사제와의 바리성을 검사한 후 최종 조성을 결정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 저점도형 Epoxy 최종 생성물의 Compounding

Epoxy 최종 생성물 층은 기존의 고점도형 Epoxy의 물성을 기준으로 유지하면서 바리제의 사용 시, 최대의 작업성과 물성 향상을 목표로 제조하였다. 저점도 형으로 제조하였으며 연질과 경질의 두 가지 형태로 제조하여 이의 바리 및 이전 시 문제가 발생하지 않는 물성을 갖도록 하는데 주력하였다. 제조된 연질 (SE-101) 및 경질 (HE-101)의 Epoxy의 조성은 Table 1과 같으며 이들이 나타내는 최종 물성은 Table 2에 나타난 것과 같다. 이외에도 겨울형으로 경질과 연질의 Epoxy 최종생성물은 5% 내외의 물성 차이를 보이고 있으며, 가사 및 경화 시간을 기존의 Epoxy 최종 생성물보다 40% 향상시킨 제품들도 제조되어, 평균 온도 10°C 이하에서도 작업시 문제가 발

Table 1. The composition of SE-101 &amp; HE-101.

SE-101 (Soft Type) Resin	
acrylonitrile-butadiene rubber	14 ~ 16%
epichlorohydrin	≪ 1 ppm
diglycidyl ether of bisphenol A	23 ~ 27%
polypropylene glycol diglycidyl ether	20 ~ 22%
diglycidyl ether of bisphenol F	35 ~ 39%
3-glycidyloxypropyl trimethoxy silane	1 ~ 2%
non-silicon system polymer	1 ~ 2%
SE-101 (Soft Type) Hardener	
1,3 benzene dimethylamine	10 ~ 14%
2,4,6-tri(dimethylamino) methyl phenol	1 ~ 2%
modified aliphatic amine	84 ~ 89%
HE-101 (Hard Type) Resin	
polypropylene glycol diglycidyl ether	8 ~ 14%
diglycidyl ether of bisphenol F	70 ~ 80%
epichlorohydrin	≪ 1 ppm
trimethylol propane polyglycidyl ether	2 ~ 4%
3-glycidyloxypropyl trimethoxy silane	1 ~ 2%
non-silicon system polymer	1 ~ 2%
HE-101 (Hard Type) Hardener	
polyamide resin	25 ~ 32%
2,4,6-tri(dimethylamino) methyl phenol	1 ~ 2%
polypropylene glycol diglycidyl ether	2 ~ 3%
modified aliphatic amine	65 ~ 71%

Table 2. The physical properties of SE-101 &amp; HE-101.

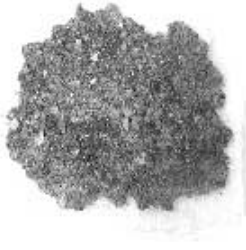



Physical property	at 25°C (SE-101)	at 25°C (HE-101)
Working possibility time	26 ~ 27 mins	18 ~ 21 mins
Surface hardening time (3 mm Thickness)	120 ~ 125 mins	101 ~ 117 mins
Surface hardening time (5 mm Thickness)	65 ~ 70 mins	85 ~ 110 mins
Surface hardening time (10 mm Thickness)	40 ~ 55 mins	32 ~ 44 mins
Full hardening time (3 mm Thickness)	140 ~ 160 mins	140 ~ 200 mins
Full hardening time (5 mm Thickness)	100 ~ 120 mins	110 ~ 180 mins
Full hardening time (10 mm Thickness)	50 ~ 70 mins	50 ~ 160 mins
adhesion tension strength (kg/cm <sup>2</sup> )	281 (SD 14.0)	296 (SD 4.69)
	178(3mm)	159(3mm)
tension strength (kg/cm <sup>2</sup> )	163(5mm)	364(5mm)
	123(10mm)	452(10mm)
Viscosity of resin (cPs)	9,600	9,900
Viscosity of hardener (cPs)	5,200	5,200
Surface hardness (Shoiva A type)	91.0 (SD 1.80)	84.0 (SD 3.89)
Surface hardness (Shoiva D type)	43.0 (SD 1.15)	74.8 (SD 0.97)

생하지 않도록 하였다. 이들의 조성 역시 같은 형태로, 주제와 경화제의 양 조절만으로도 경화 시간의 조절이 가능하도록 합성 시작 단계에서부터 설계하여 resin과 hardener를 작업자가 기존의 상태에 익숙해지면 바로 직접 조정할 수 있도록 제조하였다.

### 3.2. 유구 이전용 Epoxy 바리제의 합성

유구 이전용 Epoxy 바리제는 수용성 및 지용성 등 두 가지의 바리제를 이용하여 실험하였다. 지용성의 경우 1차 실험 중, 우레탄의 특성상 바리제의 사용량에 따라서 우레탄 표면의 용해 현상이 나타나 이에 대한 구체적인 실험을 진행하지 않았으며, 수용성 Epoxy를 합성하고 이에 대한 바리도를 측정하고자 하였다. 본 연구 중에 중점을 둔 사항은 수용성 Epoxy의 제조 시의 분산성과 바리성, 경화성이었으며, 수용성 Epoxy 바리제는 합성 중에 Resin과 Hardener에 다양한 종류의 계면활성제와 pH 조절제 등을 첨가하여 제조하였다. 유구 이전 전용 수용성 Epoxy의 Resin은 Diglycidyl ether of bisphenol F 60g 과 Diglycidyl ether of bisphenol-A 15g, 화인퀵 Surfactant 5g을 25g의 H<sub>2</sub>O와 함께 4000rpm의 속력으로 분산시키면서 70°C에서 2시간 동안 합성하여 얻을 수 있었다. Hardener는 Diethylene triamine 9g, Butyl glycidyl ether 1.1g, Acrylo nitrile 1.1g, Diglycidyl

Table 3. Surface of peel off final epoxy product.

Urethane pre-polymer	Epoxy	peel off final epoxy surface state	Epoxy	peel off final epoxy surface state
NS10	NR51		SE101	
	M40		HE101	

ether of bisphenol-A 8.8g, EDTA 2g, Adeka nol-71 Surfactant 2g를 70g의 H<sub>2</sub>O와 같이 냉각하면서 3000rpm으로 격렬히 교반시켜 제조하였으며, 주제와 경화제의 비율은 100 : 15에서 가장 안정한 박리제를 얻을 수 있었다. 이 박리제는 H<sub>2</sub>O를 이용하여 30%로 묽힌 후, 이를 우레탄 1차 전사체의 면에 분사한 후, 2시간 (25℃ 기준) 동안 건조하여 사용하였을 때, 우수한 박리 효과를 얻을 수 있었다. 이 유구 이전 전용 Epoxy 박리제의 최종 물성은 도포 후, 완전 경화 시간까지 24시간 이내가 소요되었으며, 도포 후 박리 가능 시간은 2시간 이내였다. 박리도는 최저점도의 NR-51을 99% 이상 박리할 수 있었으며, 이외에 NR-51보다 고점도인 SE-101 & HE-101, M-40는 100% 박리가 가능하였다. 박리압은 NR-51의 경우 40~50 kg/cm<sup>2</sup>이었으며 이외에 NR-51보다 고점도인 SE-101 & HE-101, M-40은 15~25 kg/cm<sup>2</sup>의 결과를 보이고 있다. 이 Resin과 Hardener의 H<sub>2</sub>O에서의 완전 침강 시간은 24시간 이내였으며 혼합 후 H<sub>2</sub>O 내에서의 완전 침강 시간 6시간 이상이였다. 최저 및 최고 가능 작업 시간은 2~6시간이었으며 박리제로 인한 변색도도 5% 이내로 나타났다.

### 3.3. 박리성 및 박리 후 안정성

박리 후의 상태는 기존의 NS-10 Urethane을 이용하여 실험하였으며 이들과 기존 사용하고 있었던 국내 국외의 제품 및 박리형으로 조정된 합성 Epoxy들을 비교하였다. (Table 3) 사진에 나타난 바와 같이 NR-51도 후면의 안정된 보장이 이루어지면 완전한 박리가 이루어지고 있으며 시간이 지나가도 이들의 박리도에는 큰 변화가 없는 것으로 보인다.

## 4. 결론

박리제를 사용하여 유구 이전이 가능한, 저점도의 Epoxy의 조성은 최고의 물성을 갖는 범위에서 연질과 경질의 두 가지로 제조되었으며 조성은 다음과 같다.

연질형 SE-101 resin은 acrylonitrilebutadiene bubber 14~16% / epichlorohydrin 1ppm 미만 / diglycidyl ether of bisphenol A 23~27% / polypropylene glycol diglycidyl ether 20~22% / diglycidyl ether of bisphenol F 35~39% / 3-glyci-

doxy propyl trimethoxy silane 1~2% / nonsilicon system polymer 1~2% 이었으며, 연질형 SE-101 hardener는 1,3 benzene dimethamine 10~14% / 2,4,6-tri(dimethylamino) methyl phenol 1~2% / modified aliphatic amine 84~89%로 구성되었다.

경질형의 HE101 Resin은 Polypropylene Glycol Diglycidyl Ether 8~14% / Diglycidyl Ether of Bisphenol F 70~80% / Epichlorohydrin 1ppm 미만 / Trimethylol Propane Polyglycidyl Ether 2~4% / 3-glycidoxy Propyl Trimethoxy Silane 1~2% / Nonsilicon System Polymer 1~2%로 구성되었으며 경질형의 HE101 hardener는 Polyamide Resin 25~32% / 2,4,6-tri(dimethylamino) Methyl Phenol 1~2% / Polypropylene Glycol Diglycidyl Ether 2~3% / Modified Aliphatic Amine 65~71%로 구성되었다.

박리제의 최종 조성은 Resin의 경우, Diglycidyl Ether of Bisphenol F 60g / Diglycidyl Ether of Bisphenol-A 15g / 화인켄 Surfactant 5g으로 구성되어 있으며, Hardener는 Diethylene triamine 9g / Butyl Glycidyl Ether 1.1g / Acylo Nitrite 1.1g / Diglycidyl Ether of Bisphenol-A 8.8g / EDTA 2g / Adcka nol-61 Surfactant 2g으로 구성되어 있다.

이들을 이용해서 박리한 결과들은 NS-10과 박리형 Urethane를 1차 전사체로 이용한 경우 M-40, NR-51, SE101, HE101은 모든 실험에서 완벽한 박리 효과를 나타내고 있었다.

최종 조성된 박리제의 물성은 도포 후 완전 경화 시간: 24시간 이내, 도포 후 박리 가능 시간: 2시간 이내, 박리도: 최저점도 NR-51 99%, SE-101, HE-101, M-40은 모두 100% 박리, 박리압: NR-51 40~50 kg/cm<sup>2</sup>, SE-101, HE-101, M-40은 15~25 kg/cm<sup>2</sup>, Resin 완전 침강 시간 (in H<sub>2</sub>O): 24시간 이내, Hardener 완전 침강 시간 (in H<sub>2</sub>O): 24시간 이내, 혼합 후 최고 완전 침강 시간 (in H<sub>2</sub>O): 6시간 이상 안정, 최저 및 최고 가능 작업 시간: 2~6시간, 박리제로 인한 변색도: 5% 이내를 나타내고 있다.

## 참고문헌

1. 김병호, "合成樹脂의 文化財 適用(Ⅲ) -Epoxy樹脂의 物理的 性能試驗." 보존과학연구, 4, 국립문화재연구소, P127 (1983).
2. 김병호, "合成樹脂를 利用한 遺構의 保存處理", 文化財, 23, 국립문화재연구소, p164 (1990).
3. 寸田六郎太, "東山田3號窯跡의 立體 移築り 完了", 研究所報, 104, 財團法人 講司市埋藏文化財研究所, P1 (2003).
4. 이오희, "문화재 보존과학", 주류성출판사, p84 (2008).
5. 한원식, 홍태기, 임성진, 위광철, "유구 이전본원을 위한 표면 박리형 Epoxy polymer의 개발", 보존과학회지, 22, p77 (2008).
6. Edward Petrie, *Epoxy Adhesive Formulations*, McGraw-Hill, P30 (2005).
7. 肥後隆夫, "層立・遺跡断面等の剥き取り轉寫法", 埋藏文化財二コース, 28, 奈良國立文化財研究所・埋藏文化財センター, (1980).
8. 이양래, *고탄성에폭시수지 가공 방법*, 출원번호 10-1978-0003119 (1978).
9. 황대익, *국도화학공업주식회사, 변성 에폭시수지의 제조방법*, 10-1986-0004990 (1986).
10. 김용호, 이광원, 김영재, "표면코팅을 위한 고성능 수용성 에폭시 수지에 관한 연구" *한국고무학회*, 35(2), P89 (2000).
11. 임정열, *수용성 에폭시 수지계 접착제 조성물*, 출원번호 10-2002-0039102 (2002).
12. 김용호, 이광원, 광영재, "수용성 경화제에 의한 에폭시 수지의 물성에 관한 연구" *한국고무학회*, 35(1), P12 (2000).
13. 송삼홍, 김철웅, 박수진, 김택진, 이창진, 김용호, 이광원, 김영재, 박수진, 서민강, 이재락, "열압제성 촉매를 사용한 에폭시 수지의 특성에 관한 연구-벤젠치환기 영향-", *한국섬유공학회*, 37(3), P97 (2000).
14. 강창희, 김대웅, "핵자기공명 분광법에 의한 isphenol A형 에폭시 수지의 에폭시 당량 측정에 관한 연구, *한국분석과학회*, 1(2), P189 (1988).