

## 아크릴계 접착제의 제조와 가교물성에 대한 모노머의 영향

김판수 · 이원기<sup>†</sup>

부경대학교 고분자공학과

(2016년 5월 8일 접수, 2016년 6월 10일 수정, 2016년 6월 10일 채택)

## Effect of Monomer on Crosslinking Properties of Acrylic Pressure-Sensitive Adhesives

Pan Soo Kim and Won-Ki Lee<sup>†</sup>

Department of Polymer Engineering, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

(Received March 8, 2016; Revised June 10, 2016; Accepted June 10, 2016)

**요약:** 본 연구에서는 아크릴 접착제의 물성에 대한 주 모노머의 영향을 비교하기 위하여 2-ethylhexyl acrylate 대신에 butyl acrylate를 사용하여 acrylic acid와 2-hydroxyethyl methacrylate의 공중합체를 합성하고 2종의 경화제를 이용하여 접착 물성을 연구하였다. 선형의 측쇄사슬을 가진 butyl acrylate계 접착제는 가지형태의 측쇄를 가진 2-ethylhexyl acrylate계 접착제에 비해 낮은 접착특성을 보였다. 경화제의 경우 가교점이 많고 가교반응을 통해 유연한 ether나 ester그룹을 생성하는 epoxy형 경화제에서 우수한 물성을 보였고 관능기인 산의 농도가 높을수록 접착특성이 향상되는 것을 관찰하였다.

**Abstract:** This study was to investigate the effect of main monomer, butyl acrylate instead of 2-ethylhexyl acrylate, of acrylic PSAs on adhesive properties. The copolymers of butyl acrylate, acrylic acid and 2-hydroxyethyl acrylate were synthesized and their adhesive properties were investigated after crosslinking with two different agents. Comparing to 2-hydroxyethyl acrylate-based one which has branch-like side groups, butyl acrylate-based PSA with linear side groups show poor adhesive properties. In case of crosslinking agent, epoxy-typed agent than isocyanate-typed one showed better properties than isocyanate-typed one because epoxy-typed agent has more crosslinking sites and produces more flexible bonds, ester and ether, than isocyanate-typed one. Most adhesive properties of PSAs were increased with acid content.

**Keywords:** Pressure sensitive adhesives, butyl acrylate, crosslinking agents, acid content

### 1. 서 론

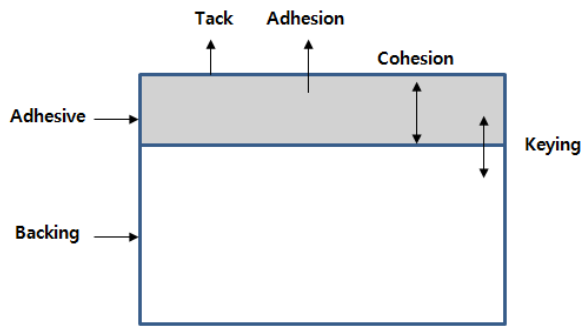
접착제는 넓은 의미의 접착제와 좁은 의미의 접착제로 구분하는데 넓은 의미의 접착제는 용도별로 좁은 의미의 접착제, 점착제, 그리고 실란트 등의 세 분야로 크게 나눌 수 있다. 접착제는 적어도 두 개 이상의 표면을 강하고 영구적으로 접합시키는 물질 또는 물체 사이에 존재하여 물체의 결합을 가능하게 하는 물질로 정의 할 수 있다. 접착제는 감압성 접착제(pressure sensitive adhesive, PSA)라고 불려지고 있으며, 일반적으로 물, 용제, 빛, 그리고 열 등과 같은 외적인 작용을 필요하지 않고 작은 압력으로 다른 물체의 표면에 접착이 가능하고, 이것을 다시 떼어낼 경우에 피착물을 오염시키지 않고 쉽게 떨어지는 접착제, 또한 딱딱

한 경화 면으로부터는 박리가 가능한 접착제로 정의되고 있다. 실란트는 적어도 두 개 이상의 표면을 접합시킬 수 있는 물질로 표면 사이의 공간을 채움으로써 배리어(barrier) 혹은 보호 코팅의 역할을 하는 물질로 정의된다[1].

점착테이프가 피착체에 점착하여, 점착제를 상대 피착체에 남기지 않고 깨끗하게 떨어지기 위하여 다음과 같은 특성을 요구한다 : Tack > 점착력(Adhesion) > 응집력(Cohesion) > 투묘력(Keying strength). 여기서 투묘력은 지지체와 점착제의 결합력이므로 배제하고 Tack, 점착력, 응집력의 평형을 이루게 하여 원하는 목적에 맞는 물성을 맞추는 것이 가장 중요하다. 이 3가지 물성에 대하여 간단히 설명하면 응집력은 점착제 자체가 응집하는 힘이며 분자간의 힘, 가교, 분자의 연결 상태, 분자량 등에 관계한다.

점착력은 박리될 때의 힘이며 피착체와 계면에서의

<sup>†</sup>Corresponding author: Won-Ki Lee (wonki@pknu.ac.kr)



**Figure 1.** Schematic representation of pressure sensitive adhesives.

결합력과 접착력의 점탄성적 변형 에너지의 크기와 관련되며 실용적으로는 붙어있는 테이프류가 떨어지는 기준이 된다. Tack은 피착제에 잘 젖어주는 성질, 표면 접착, 초기 접착이라고 불리며 테이프를 상대 물체에 부착시킬 때의 용이성으로 볼 수 있다[2-5].

아크릴계 고분자는 내후성 및 내유성이 뛰어나며 동시에 아크릴계 모노머는 다른 비닐 모노머와의 공중합성이 우수하므로 피착 물질의 극성을 고려하여 임의로 고분자 분자 중에 극성기를 도입할 수도 있고 목적에 적합한 접착제를 비교적 쉽게 만들 수가 있어서 원료로서 큰 특징이 있다. 또한 고분자의 분자구조, 말단기 등이 접착제로서도 영향을 주는 것은 일반적인 형상이다. 아크릴계 접착제에서 접착 성분으로는 알킬기의 탄소수가 C4~C10의 아크릴산 알킬 에스테르류이며 폴리머의 Tg는 -20~70°C 정도이다. 이것은 접착성은 좋지만 응집성이 떨어지므로 응집 성분이 필요하다. 응집 성분에는 아크릴산(acrylic acid), 메타크릴산(methacrylic acid), 초산비닐(vinyl acetate), 스티렌(styrene) 등이 있으며 Tg를 높여 주는 역할을 한다. 응집 성분은 응집성을 높여줄 뿐만 아니라 때로는 접착성 향상, 내수성의 향상, 투명성의 향상 등의 성능 향상에도 도움이 되기도 한다.

모노머의 관능성기 함유는 접착제의 물성을 개선할 수 있는 좋은 방법 중 하나이다. 관능기가 있는 것으로 아크릴산의 카르복실기(-COOH), 수산기(-OH)를 함유하는 모노머, 산 아마이드 등이 있다. 이것은 가교를 행하는 것은 물론이며 응집성을 높이거나 접착성을 향상시키기도 한다. 어떠한 경우라도 접착제의 기본적 성능인 접착성, 응집성, 접착성의 균형을 이루도록 배합하는 기술이 필요하며 3가지 물성은 서로 상반되는 경향이 있기 때문에 공중합 조성이 중요하며 중합도(Degree of polymerization)와 수 평균 분자량 등이 접착 물성을 결정하는 경우도 있다.

본 연구에서는 주 모노머로 많이 사용되는 2-ethylhexyl acrylate (EHA) 대신에 butyl acrylate (BA)를 주

모노머로 하여, acrylic acid (AA), 2-hydroxyethyl methacrylate (2-HEMA)와 아크릴 공중합체를 합성하고, 관능기 모노머인 AA의 함량을 달리하여 관능성기의 영향을 고찰하였다[6]. 관능기 함량(-COOH)과 경화제(crosslinking agent) 종류에 따라 합성된 접착제를 기본 물성인 고형분, 점도, 분자량 및 구조분석을 하고 접착특성에 대하여 고찰하였다. 합성한 접착제에 대해 PET 필름과 PVC 필름을 지지체로 한 접착시트를 만들었고, 접착제의 성능을 판단할 수 있는 상온 접착력, 내열 접착력, Ball Tack, 응집력 및 수축성을 고찰하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 합성

접착제 합성에 대한 모노머의 영향을 고찰하기 위하여 butyl acrylate (BA, LG화학)를 주 모노머로 하였고 관능기 모노머로는 공업용의 acrylic acid (AA, LG화학)와 2-hydroxyethyl methacrylate (2-HEMA, Mitubishi Co.)를 정제 없이 사용하였다. 라디칼 개시제로는 benzoyl peroxide (BPO, Osaka Fine Chemical Co.)를 사용하였고 용매로 사용된 ethyl acetate (EAc), toluene 및 methanol은 BASF사의 공업용 제품을 정제 없이 그대로 사용하였다. Epoxy형 가교제로는 N,N,N',N'-tetraglycidyl-m-xylene diamine (Tetrad-X, Mitubishi Co.)를 사용하였고 isocyanate형 가교제는 TDI type의 CORONATE L (Nippon Polyurethane Co.)을 사용하였다.

### 2.2. 아크릴 공중합체의 합성

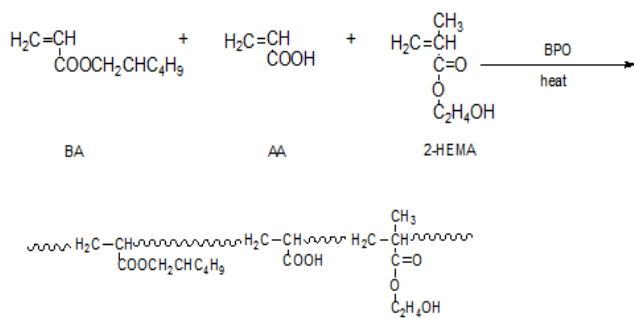
냉각기가 부착된 4구 플라스크를 온도 조절이 가능한 water bath에 넣고 플라스크에 모노머(BA, AA, 2-HEMA)와 혼합 유기용제(toluene/EAc/MeOH = 80/14/6) 및 개시제(BPO)를 Table 1의 비율로 투입하였다. 이론상 고형분을 40%로 조절하여 70°C에서 7 h 동안 100 rpm의 일정한 속도로 교반하면서 반응을 진행하였다. 아크릴 중합은 모노머가 라디칼에 의해 부가중합으로 진행되며 성분비를 조절하여 물성조절이 가능하다 (Figure 2).

### 2.3. 기기분석

고형분의 측정은 합성된 접착제를 105°C의 건조기에서 1 h 동안 건조시킨 후 무게변화를 측정하여 계산하였다. 점도측정은 샘플 200 mL를 취하여 25°C의 항온조에서 LVDV-1 (BROOKFIELD Co., USA)의 spindle No. 4를 이용하여 60 rpm으로 측정하였다. 합성된 샘플의 구조분석은 Perkin-Elmer사의 FT-IR Spectrum 100에 ATR (45°)을 장착하여 분석하였다. 측정 범위는

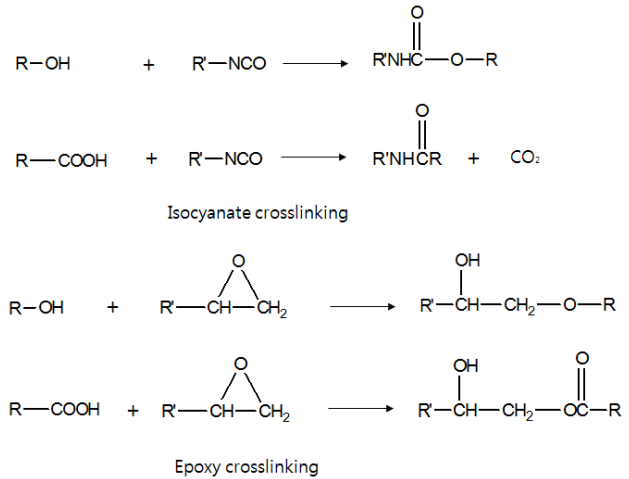
**Table 1.** Synthetic Conditions and Molecular Weights of PSAs

Sample code	Monomers (g)			Reaction conditions	Mn (PDI)
	BA	AA	2-HEMA		
BAH-1	94	3	3	70°C/ 7 h	147,630 (1.3)
BAH-2	91	6	3		147,737 (1.3)
BAH-3	88	9	3		132,272 (1.3)

**Figure 2.** Polymerization process.

4000-650  $\text{cm}^{-1}$ 로 4회 스캔하여 측정하였다.

분자량 및 분자량분포는 RI detector (Waters R401)와 Shodex GPC Column (AT805/s)이 장착된 Water사의 GPC 2695를 이용하여 THF를 eluent로 하여 측정하였다. 점착력은 KS A 1107 (점착테이프 및 점착시트의 시험방법)에 의거하여 행하였다[7]. 스텐레스 시험판에 합성한 점착제를 도포하고 2 kg의 롤러를 약 5 mm/min의 속도로 1회 왕복시켜 압착하고 소형인장기 (EZ-S, Shimadzu Co., LTD, Japan)를 사용하여 300 mm/min의 속도로 3번 측정하여 평균값을 구하였다. 상온(25°C) 점착력은 시간경과에 따른 변화를 측정하였고 내열 점착력은 점착시트를 70°C의 건조기에서 7일 경과 후, 상온에서 하루 동안 방치한 후 측정하였다. Ball Tack 측정은 30°의 경사판 위에 점착테이프를 고정하여 10 cm 상단에서 다양한 크기의 Ball을 굴려서 5 s 이상 멈추는 Ball의 크기를 나타낸다. 점착특성용 지지체로는 두께 25  $\mu\text{m}$ 의 PET 필름과 65  $\mu\text{m}$ 의 PVC 필름을 사용하였다. 경화제를 배합한 점착제를 어플리케이션으로 이형지에 코팅하고 100°C의 오븐에서 충분히 건조시킨 후, PVC 및 PET 필름과 합지하여 점착시트를 제조하였다(건조 두께 : 25  $\mu\text{m}$ ). 시트의 가교를 촉진하기 위해 50°C의 오븐에서 12 h 동안 숙성하였다. 응집력 측정은 시편(25 mm × 25 mm)을 스텐레스 강판에 부착시키고 2 kg의 고무 롤러로 1회 왕복시킨 후, 20 min간 방치한 후, 70°C 오븐 내에 수직으로 장착하고 시트하부에 1 kg의 하중을 걸어 2 h 동안 방치한 후 늘어난 길이를 측정하였다[7].

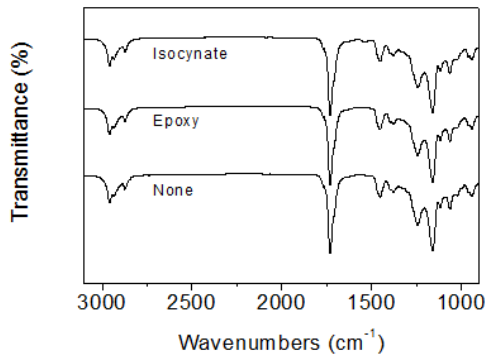
**Figure 3.** Cross-linking mechanisms.

### 3. 결과 및 고찰

점착제용 모노머는 상온에서 유동성이 요구되기 때문에 Tg를 낮게 하지 않으면 안 된다. 따라서 주로 알킬기의 탄소 수가 C2~C10 정도의 아크릴산 알킬 에스테르의 공중합체가 주로 사용되고 있다. 아크릴계 고분자는 내후성 및 내유성이 우수하며 다른 비닐계 모노머와의 공중합성이 용이하다. 또한, 사슬 내에 극성기를 도입할 수도 있어 점착제 분야에서 널리 사용되고 있다. 점착제의 Tack과 점착력을 높이기 위해서 점착 부여수지를 첨가하는 경우도 있다. 아크릴 점착제는 점착성을 부여하는 주 모노머, 응집성을 부여하는 부 모노머, 그리고 점착성을 부여하고 가교점을 형성하는 관능기 함유 모노머로 구성되어 있다. 주 모노머의 Tg는 -50°C 이하의 아크릴 산, 알킬 에스테르가 통상 사용된다. 사용되는 모노머에는 저급의 알킬기의 아크릴산, 메타크릴산, 초산비닐, 스티렌 등의 주 모노머와 공중합이 가능하며 공중합조성비에 따라 Tg를 조절할 수 있다. 이들 모노머는 응집성을 높일 뿐만 아니라, 점착성, 내수성, 투명성, 가공성 등 점착제의 성능 향상에 도움이 되고 특수성을 발현할 수 있다. 관능기 함유 모노머는 점착제의 가교점 형성과 점착성을 향상시키기 위하여 사용된다. 아크릴산, 메타크

**Table 2.** Contents of Crosslinking Agents (wt%)

Crosslinking agent	BAH-1	BAH-2	BAH-3
Epoxy	0.26	0.43	0.6
Isocyanate	0.82	1.35	1.88

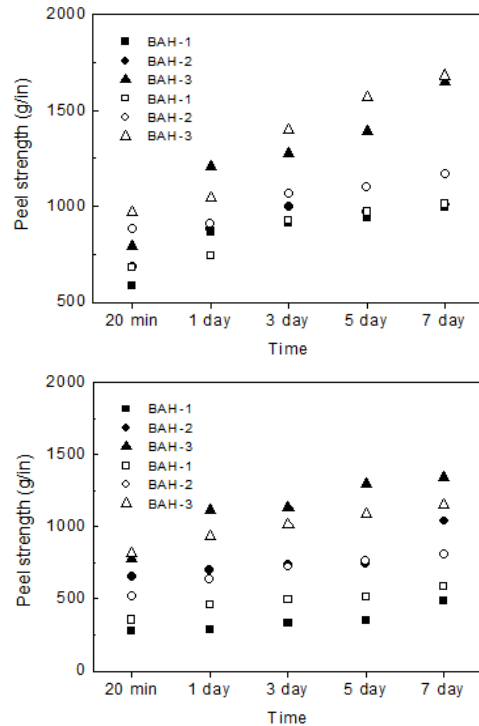


**Figure 4.** FT-IR ATR spectra of PSAs with different crosslinking agents.

릴산 등의 카르복실기 함유 모노머와 수산기, 에폭시, 아미노기 등이 대표적인 예이다. Figure 3에 관능성 고분자와 가교제에 의한 가교 메커니즘을 나타내었다[8].

합성된 접착제의 구조분석을 위하여 FT-IR의 ATR 모드로 4000 cm<sup>-1</sup>-650 cm<sup>-1</sup>의 범위로 측정하였다. Figure 4에 나타난 것과 같이 얻어진 아크릴중합체는 아크릴의 특성 피크인 2960 cm<sup>-1</sup> 부근의 aliphatic C-H 신축 진동, 1775 cm<sup>-1</sup>에 C=O 및 1448 cm<sup>-1</sup> 부근의 CH<sub>2</sub> 진동을 나타내고 있어 아크릴 접착제가 합성이 되었음을 알 수 있다. 일반적으로 접착제 제조에 있어서 물성을 향상시키기 위해서 경화제를 통한 3차원 가교(경화)반응을 진행한다. 고분자의 가교(crosslinking)는 빛이나 열 등에 의해 사슬 간 3차원 결합을 의미하며 경화라고 한다. 따라서 작용기를 가지고 있는 고분자는 화학 반응에 의해 가교반응이 일어날 수 있다. 고분자가 사슬말단이나 측쇄에 관능성기를 가지고 있으면 이들과 열이나 빛에 의해 반응할 수 있는 작용기를 가진 경화제에 의해 가교반응을 진행할 수 있다 [9,10]. 본 연구에서 사용된 아크릴 공중합체는 각각 AA의 -COOH와 2-HEMA의 -OH를 함유하고 있어 경화제를 이용한 반응이 가능하다.

AA함량이 다른 접착제에 -OH 또는 -COOH대비 1% 당량비로 경화제를 첨가하여 가교를 진행하고 물성변화를 고찰하였다(Table 2). 가교반응은 Figure 3과 같이 진행되며, FT-IR 측정으로 얻어진 결과로부터 isocyanate형 경화제는 HEMA의 -OH기와 반응하여 생성된 1530 cm<sup>-1</sup>에 우레탄 결합의 특성피크를 확인할 수

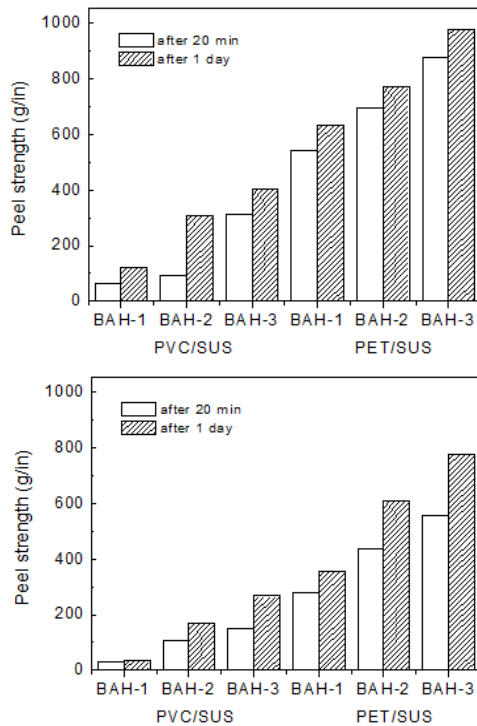


**Figure 5.** Peel strengths of epoxy (Top) and isocyanate (Bottom) -typed crosslinked PSAs between PVC and SUS sheets (closed symbol) and PET and SUS sheets (opened symbol) at room temperature as a function of times.

있다. 반면에 epoxy형 경화제의 경우, 가교 반응 후 생성되는 C-O기는 전체적으로 낮은 비율이고 유사한 위치에 존재하는 강한 아크릴 특성기로 인해 확인이 불가능하였다.

Figure 5에 상온 접착력의 측정결과를 나타내었는데 가교제의 종류와 관계없이 AA의 함량이 증가할수록, 시간이 증가할수록 접착력은 증가하는 경향을 보인다. 시간경과에 따라 접착력이 증가하는 것은 계면 흐름성의 증가와 가교도의 증가로 판단된다. 이러한 해석은 다음의 내열 접착력의 결과에서도 확인할 수 있었다. 한편, EHA를 주 모노머로 한 접착제에 비해 상대적으로 접착력이 낮은 것으로 나타났다[6]. 이러한 낮은 상온 접착력은 선형의 butyl 측쇄그룹보다 가지형태의 긴 측쇄 그룹이 보다 효과적임을 나타낸다. 한편, 가교제에 따른 초기접착력은 AA함량의 증가에 따라 isocyanate형 가교제보다 epoxy형 가교제에서 초기 접착력이 우수한 특성을 나타내며 epoxy형 가교제의 초기 가교특성이 우수한 것으로 나타났다. 한편 지지체에 대한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

내열 접착력을 측정하기 위하여 샘플을 70°C에서 일주일간 노출시킨 후 상온에서 방치하여 측정된 결과를 Figure 6에 나타내었다. AA 함량이 증가할수록



**Figure 6.** Peel strengths of epoxy- (Top) and isocyanate- (Bottom) typed crosslinked PSAs between PVC and SUS sheets and PET and SUS sheets. The samples were pre-treated at 70°C for 7 days.

점착력의 세기는 증가하는 것으로 나타났다. 점착제 내에 관능기 모노머인 AA의 증가는 -COOH기의 증가를 의미하며 관능성기의 반응성을 높여 응집력이 증가되며 미 반응 -COOH는 피착제와의 극성결합을 이끌어 부착력을 증가시킨다[6]. EHA를 주 모노머로 한 결과와 유사하게 epoxy형 가교제가 isocyanate형 가교제 보다 우수한 내열 점착력을 보였다[6]. 지지체에 따른 결과를 보면 상온 점착력은 지지체의 영향을 크게 받지 않았으나 열처리 후에는 가교제와 관계없이 전체적으로 점착력이 큰 폭으로 저하하는 결과를 나타내었다. 특히 AA농도가 낮을수록 점착력의 감소폭이 증가하는데 앞서 설명한 바와 같이 낮은 -COOH 농도에서는 극성결합력 등이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 지지체의 영향을 보면 PVC 지지체가 PET 지지체에 비해 상대적으로 큰 점착력 저하를 가져 왔다. 이러한 결과는 PVC 필름 내에 존재하는 가소제가 온도가 상승함으로 사슬의 활성에너지가 높아지면서 표면이행이 활발해져 점착력 저하를 가져오는 것으로 보여진다.

Ball tack 측정은 초기 점착력에 대한 정보를 제공하는데 경사면에서 5 s 이상 정지하는 가장 큰 Ball의 번호로서 표시된다. Table 3에 Ball tack 측정결과를

**Table 3.** Ball Tack Results of PSAs

Crosslinking agents	Ball number	
	Epoxy	Isocyanate
PVC (PET) film sheet	BAH-1	8 (10)
	BAH-2	7 (6)
	BAH-3	6 (4)

**Table 4.** Shear Holding Power Tests of PSAs (unit : mm)

Crosslinking agents	Epoxy	Isocyanate	
	BAH-1	0.18 (0.2)	25 (25)
PVC (PET) film sheet	BAH-2	0.04 (0.07)	25 (25)
	BAH-3	0.03 (0.05)	1.1 (1.0)

나타내었는데 경화제와 관계없이 AA함량이 증가할수록 Ball Tack은 감소하였고 epoxy에 비해 isocyanate에서 낮은 특성을 나타내었다. 이러한 경향은 경화제에 의해 생성되는 그룹의 특성에 따른 결과로 보여진다. Epoxy형 경화제는 유연한 ether 또는 ester 그룹을 생성하는데 반해 isocyanate형 경화제는 보다 단단한 urethane 그룹과 amide 그룹을 생성하기 때문에 초기 tack이 감소하는 것으로 판단된다.

응집력은 하중 아래서 늘어난 길이를 측정하여 나타내는데 분자 간 내부 결합이 중요한 요인이다. Table 4에 응집력 측정결과를 나타내었는데 AA의 함량이 늘어날수록 응집력은 더 좋아졌다. Epoxy형 경화제에서는 함량에 관계없이 양호한 응집력을 보이는 반면, isocyanate형 경화제에서는 BAH-3에서만 응집특성을 나타내었다. 즉 isocyanate 경화제는 높은 농도의 -COOH에서 양호한 분자 간 결합력이 보였는데 Figure 3에 나타난 바와 같이 경화제의 경화특성을 살펴보면 isocyanate형 경화제는 2개의 가교점을 가지는 반면 epoxy형은 4개의 가교점을 가지기 때문에 보다 치밀한 분자구조를 이루는 것으로 보여진다. 따라서 epoxy형 가교제에서 우수한 응집력을 보인다.

이상과 같이 BA를 주 모노머로 하여 얻어진 점착제의 특성은 EHA기반으로 합성된 점착제에 비해 전반적인 물성이 떨어지는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 BA의 단일고분자의 Tg가 -50°C 부근으로 EHA 단일고분자와 유사하나 길고 가지형태의 측쇄 그룹을 가진 EHA 단일고분자의 entanglement molecular weight도 39,000 g/mol로 BA 단일고분자의 18000 g/mol보다 높아 공중합체 내에서 유동성이 상대적으로 양호해 우수한 점착특성을 보인 것으로 판단된다[11].



#### 4. 결 론

용액형 아크릴 접착제를 제조하기 위하여 대표적으로 사용되는 주 모노머 2-EHA를 BA로 대체하여 관능기 모노머인 AA 및 2-HEMA와 3원공중합체를 합성하였다. 아울러 epoxy형과 isocyanate형 경화제를 사용하여 접착시트를 제조하고 다양한 접착 특성을 측정하고 2-EHA를 주 모노머로 한 결과와 비교하였다. 접착제 내의 AA함량이 증가할수록 상온 및 내열 접착력, 유지력, 응집력 등이 증가하였다. 경화제의 경우, epoxy형에서 대부분의 물성에서 우수한 특성을 보였는데 경화반응에 의해 생성되는 그룹들의 유연성과 경화제가 가지고 있는 경화점의 수에 영향으로 판단되었다. Epoxy형 경화제는 상대적으로 유연한 그룹인 ether나 ester그룹을 생성하는 반면 isocyanate형에서는 우레탄과 amide그룹과 같은 강직한 구조를 생성한다. 또한 경화점인 많은 epoxy형에서는 낮은 AA의 함량에서도 우수한 응집력을 나타내었다. 주 모노머의 영향을 살펴보면 선형의 측쇄그룹을 가진 BA는 가지형태의 2-EHA에 비해 낮은 물성을 나타내었으며 적절한 농도의 COOH는 접착특성을 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

#### 감 사

본 연구는 Brain Busan 21 Program의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

#### 참 고 문 헌

1. 이명천, 박명철, 서인선, 엄홍철, “접착제 기술의 이론과 실제”, P.1-5 한국계면활성제 및 접착제 협동조합 (2002).
2. D. Satas, “Handbook of Pressure-Sensitive Adhesive Technology”, 1st Ed (1982).
3. D. Satas, “Handbook of Pressure-Sensitive Adhesive Technology”, 2nd Ed (1989).
4. D. Satas, Associates, “Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology and Applications” (2002).
5. W. Demateau and J. M. Loutz, *Prog. Org. Coat.*, **27**, 33 (1995).
6. 김판수, 이상무, 정신혜, 이원기, *접착 및 계면*, **14**, 43 (2013).
7. Testing Methods of pressure sensitive adhesive tapes and sheets, KS A 1107 (2004).
8. 김동호, 김구니, *접착 및 계면*, **15**, 109 (2014).
9. W. Demateau and J. M. Loutz, *Prog. Org. Coat.*, **27**, 33 (1995).
10. C. Verdier, J.-M. Piau, and L. Benyahia, *The Journal of Adhesion*, **68**, 93 (1998).
11. <http://polymerdatabase.com>.