

광학용 아크릴 점착제 제조 및 점착특성에 관한 연구

백승석 · 장세정 · 이종훈* · 고동한* · 이상훈* · 황석호†

단국대학교 고분자공학과, 광에너지소재연구소, *도레이첨단소재(주) 첨단재료연구소
(2013년 10월 9일 접수, 2013년 11월 9일 수정, 2013년 11월 9일 채택)

Preparation of Acrylic Pressure Sensitive Adhesives for Optical Applications and Their Adhesion Performance

Seung-Suk Baek, Se-Jung Jang, Jong-Hoon Lee*, Dong-Han Kho*, Sang-Hoon Lee*, and Seok-Ho Hwang†

Department of Polymer Science & Engineering, Center for Photofunctional Energy Materials,
Dankook University, Yongin, Gyeonggi 448-701, Korea

*Advanced Materials Research Center, Toray Advanced Materials Korea Inc., Gumi, Gyeongbuk 730-400, Korea

(Received October 9, 2013; Revised November 9, 2013; Accepted November 9, 2013)

초록: 본 연구는 2-ethylhexyl acrylate와 2-hydroxyethyl acrylate 기본구조에 isobornyl acrylate와 tetrahydrofurfuryl acrylate(THFA)의 조성비를 변화시키면서 광중합된 4원 공중합체를 합성한 후 가교제로 1,6-hexanediol diacrylate가 혼합된 시럽을 제조하였다. 합성한 시럽에 UV-광원을 조사시켜 점착제를 제조한 후 점착특성과 광학특성을 고찰하였으며 시럽의 기본물성인 고형분, 점도, 및 분자량 분석도 수행하였다. THFA의 함량이 증가할수록 시럽의 분자량은 감소하였으나 고형분은 반대로 증가하였다. 점착제의 박리강도는 THFA의 함량에 따른 반비례관계를 나타내고 점착제의 표면에너지는 비례관계를 나타내었다. 또한 모든 점착제에서 92% 이상의 광투과도와 1.0%이하의 haze값, 그리고 1.0 이하의 색차계값을 보여주었다.

Abstract: To prepare acrylic pressure sensitive adhesives (PSAs), quaternary copolymer syrups were photopolymerized from 2-ethylhexyl acrylate and 2-hydroxyethyl acrylate as default constituents and isobornyl acrylate and tetrahydrofurfuryl acrylate (THFA) as variable constituents. After polymerization, 1,6-hexanediol diacrylate and photoinitiator were added and then crosslinked by UV-irradiation to prepare the PSAs. The characteristics of the syrup such as viscosity, molecular weight, and solid content were investigated. As increasing THFA contents, the relationship between molecular weight and solid content of the syrup was reciprocal. Also, the relationship between peel strength and surface energy of the PSAs showed the same tendency. All the PSA samples showed high transmittance (more than 92%), low haze (less than 1.0%) and low color-difference (less than 1.0).

Keywords: pressure sensitive adhesive, tetrahydrofurfuryl acrylate, syrup, peel strength, tack.

서 론

일반적으로 감압성 점착제(pressure sensitive adhesives, PSAs)는 물, 열, 용매 등을 사용하지 않고 상온에서 지압 정도의 아주 작은 압력으로 피착체에 단시간 내에 점착이 가능하고, 박리시에는 응집피괴를 일으키지 않는 점착강도를 발휘해야 한다. 따라서 초기 점착력(probe tack), 피착제와 결합력(peel strength) 그리고 응집력(cohesion strength) 등의 3대 물성을 가진 것으로 정의할 수 있다.^{1,2} 점착제의 시초는 1845년 Shocut와 Day가 인디안 고무에 수지를 첨가하여 제조한 점착제이다.³ 1899년에는 천연고무에 산화아연을 넣은 점착

제가 출현한 이래 발전을 거듭하여 1920~1930년경에는 절연 테이프가 생산되어 산업분야에 널리 쓰이게 되었다. 현재 이러한 PSAs는 의료용 테이프, 라벨, 양면테이프, 메모지와 같은 일상용품에서부터 포장, 인쇄, 의료, 전자, 자동차 등 여러 산업 분야에서 단면, 양면, 전기 절연, 표면 보호 테이프같은 다양한 형태로 활용되고 있으며 점차 그 시장도 증가하고 있다.⁴ 점착제는 용제형, 무용제형, 그리고 유화형으로 크게 나뉘며, 이들 중 용제형은 사용된 용제가 대부분 건조나 탈취 공정 중 배기 가스로 대기에 방출되어 환경적 문제를 수반한다. 최근에는 이러한 단점을 보완할 목적으로 수용성(water-borne) 점착제와 광경화형 점착제가 주목을 받고 있다.^{5,6} 광경화형 점착제의 장점은 100% 고형분이기 때문에 환경오염이 적으며 저온 경화가 가능하여 열가소성 플라스틱, 목재, 종이 등 고온에서 경화가 곤란한 기재에도 사용할 수 있다. 또한

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: bach@dankook.ac.kr

경화속도가 빠르고 공정이 단순하여 기존의 열중합형에 비해 설비 및 생산성, 에너지 절감 등의 측면에서 크게 유리하다.⁷⁻¹²

근래에 들어 스마트폰 및 테블릿 PC의 수요가 폭발적으로 늘어나면서 터치패널 개발에 대한 연구가 증가하고 있다. 그 중 터치패널 층간에 사용되는 광학용 점착제(optical clear adhesives, OCAs)는 공통적으로 높은 투과율, 낮은 haze가 요구되며 ITO(indium tin oxide)에 대한 낮은 부식성이 요구된다. 그러나 터치패널 내 점착제의 사용에서 가장 큰 문제점은 라미네이션(lamination) 공정 중 기포 발생 문제와 불량 발생시 rework성이 낮다는 것이다. 이를 해결하기 위하여 다양한 단량체들의 조합을 통하여 점착제에 적용하고 있다.

본 연구에서는 2-ethylhexyl acrylate(2-EHA)와 hydroxyethyl acrylate를 주 단량체로 고정하고, isobornyl acrylate(IBOA), 4-tetrahydrofurfuryl acrylate(THFA)를 부 단량체로 하는 아크릴 4원 공중합체를 부 단량체인 IBOA와 THFA의 조성비를 변화시키면서 UV-광중합법으로 합성하고, 시럽의 기본물성인 고형분, 점도, 및 분자량 분석을 하였다. 합성된 시럽을 사용하여 PET 필름을 지지체로 한 점착필름을 제조하였고, 점착제의 성능을 판단할 수 있는 상온 점착력과 초기 점착력 특성을 고찰하였다.

실 험

시약 및 재료. 본 연구에 사용한 단량체로 2-ethylhexyl acrylate(2-EHA; Junsei Chemical Co.), 2-hydroxyethyl acrylate(2-HEA; Junsei Chemical Co.), isobornyl acrylate(IBOA; Aldrich Chemical Co.), 1,6-hexanediol diacrylate(HDDA; Aldrich Chemical Co.), tetrahydrofurfuryl acrylate(THFA; TCI)를 정제과정 없이 그대로 사용하였다. 분자량 조절제(chain transfer agent)인 *n*-dodecyl mercaptan(Aldrich Chemical Co.)과 광개시제인 Irgacure 184(Ciba Specialty Chemicals Co.)도 별도의 정제과정 없이 그대로 사용하였다. 사용된 이형필름과 PET 필름은 도레이첨단소재(주) 제품(U48, ROL 751, ROH 751)을 제공받아 사용하였다.

시럽 합성. 2구 플라스크에 단량체들(2-EHA, 2-HEA, THFA, IBOA)과 광개시제(Irgacure 184; 0.04 g) 및 분자량조절제(*n*-dodecyl mercaptan; 0.04 g)를 Table 1과 같은 조성비로 투입하였다. 혼합액을 상온에서 200 rpm의 일정한 속도로 교반하면서 30분 동안 질소(N₂)로 purge하였다. Purge가 완료된 후 질소 분위기하에서 혼합액을 교반하고 플라스크 외부에 설치된 UV lamp(black light)를 105초 동안 조사시켜 공중합체를 중합하였다. 반응종결 후 초고순도 air를 30분 동안 주입하여 라디칼 종결반응을 수행하였다. 반응이 완료된 후 HDDA(0.2 phr)와 광개시제(0.5 phr)를 추가로 투입하여 점착제 필름제조를 위한 시럽을 제조하였다.

점착제 필름제조. 이형필름에 시럽을 코팅하기 위해 100 μm

Table 1. Formulation for the Photo-polymerization of PSA Syrups (unit: g)

Entry no.	2-EHA	IBOA	THFA	2-HEA
THFA0		24	0	
THFA4		20	4	
THFA8		16	8	
THFA12	40	12	12	16
THFA16		8	16	
THFA20		4	20	
THFA24		0	24	

두께로 조절된 바코터를 5.0 mm/sec 속도로 일정하게 하여 시럽을 도포 후 UV(black light)를 6분 동안 조사시켜 점착제 필름을 제조하였다.

시럽 특성분석. 합성된 시럽의 분자량을 확인하기 위해 RI detector가 부착된 Agilent 1260 GPC system(Agilent Technologies Co.)을 이용하여 분자량을 측정하였다. 사용한 컬럼은 PLgel 5 μm MIXED-C(Agilent Technologies Co.)를 25 °C에서 사용하였고, 전개용매는 HPLC용 THF를 사용하였다. 분자량 표준물질로 단일분자량의 폴리스티렌이 사용되었다. 시럽내 고형분은 TGA Q50(TA Instruments)을 이용하였으며, 220 °C에서의 잔여중량을 측정하여 시럽내 고분자의 중량으로 정의하였다.¹³ 5~10 mg의 시료를 30 °C/min 승온 속도로 30~600 °C까지 질소 분위기 하에서 측정 후 220 °C에서 잔존중량을 백분율로 환산하여 시럽의 고형분을 계산하였다. 시럽의 점도는 Brookfield DV2TL 점도계를 이용하여 측정하였다. 시럽의 광경화 거동은 DSC Q2000 with Omnicure S2000(TA Instruments)를 이용하여 질소 분위기 하에서 210 초 동안 70 mW/cm²의 UV 광을 조사하여 반응엔탈피값을 측정하였다.

점착제 특성분석. 초기 점착력 측정은 TA.XTPlus Texture analyzer(Texture Technology Co.)를 이용하여 깨끗한 probe 끝을 0.5 mm/min의 속도로 100 g의 접촉 하중으로 1 초 동안 점착제와 접촉 후 제거하였을 때 필요한 최대 힘을 초기 점착력으로 정의하여 측정하였다. 박리강도(peel strength) 측정은 한 면이 PET 필름인 점착제를 세척된 소다라임 유리 시험판에 25 mm 너비로 부착한 후 2 kg 하중의 고무롤러를 왕복 2회 반복하여 부착시켰다. 부착 후 한 시간 경과한 후 TA.XTPlus Texture analyzer(Texture Technology Co.)를 이용하여 상온에서 300 mm/min의 인장속도로 180° 박리력 측정을 하였다. 접촉각 측정은 Phoenix-300 Tensiometer(Surface Electro Optics Co.)를 이용하여 측정하였다. 점착제의 광학적 특성을 확인하기 위해 Lambda-350 UV/Vis spectrometer(Perkin Elmer Co.)를 이용하여 투과도를 측정하였고, NDH 5000(Nippon Denshoku Co.)을 이용하여 점착제의 haze를 측정하였으며 점착제의 색차계측정은 SA 4000(Nippon

Denshoku Co.)을 이용하였다.

결과 및 토론

UV-경화형 점착제는 아크릴 단량체 조성비에 따라 초기점착력, 박리력, 유지력과 같은 점착물성이 좌우된다.¹⁴ 일반적으로 점착제에 사용되는 단량체는 유연한 단량체(soft monomer), 강직한 단량체(hard monomer), 기능성 단량체(functional monomer)와 같이 세 가지로 나뉜다. 유연한 단량체는 점착제의 흐름성 혹은 젖음성에 영향을 주며, 강직한 단량체는 점착제의 응집력(cohesion strength)을 증가시킨다. 본 실험에서는 강직한 단량체인 IBOA와 THFA의 조성에 따른 점착제의 특성을 알아보기 위해 2-EHA와 2-HEA의 조성비를 고정시키고 IBOA와 THFFA의 조성비를 무게비로 달리하여 광중합으로 시럽을 제조한 후 그들의 분자량, 중합도 및 점도 등을 측정하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 보는 바와 같이 THFA의 함량이 증가함에 따라 시럽의 분자량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 일반적으로 25 °C에서 IBOA의 분자량과 밀도는 각각 208.30 g/mol, 0.986 g/mL이며 THFA의 분자량과 밀도는 각각 156.18 g/mol, 1.064 g/mL이다. 분자량과 밀도값을 이용하여 몰농도로 환산하면 IBOA는 4.73 mol/L, THFA는 6.81 mol/L이 되며, 고분자의 중합속도는 단량체의 몰농도에 비례한다. 따라서 동일한 부피 내에서 THFA의 몰농도가 IBOA보다 크므로 THFA의 중합속도가 IBOA의 중합속도보다 크게 된다.¹⁵ 또한 중합속도는 주사슬의 길이에 비례하기 때문에 분자량과도 비례관계를 갖지만,¹⁶ 본 실험에서는 THFA의 함량이 증가할수록 시럽 내 고분자 분자량이 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 분자량 조절제(CTA)인 *n*-dodecyl mercaptan이 IBOA와 THFA의 반응성 차이에 따라 주사슬의 길이를 결정하기 때문에 CTA와 반응성이 높은 THFA의 함량이 증가함에 따라 분자량이 감소한 것으로 판단된다.^{17,18} 시럽의 점도특성은 점착제의 물성에 큰 영향을 주지는 않지만, 점도가 낮을 경우 시럽 도포 후 균일한 두께의 점착제를 얻기 힘들기 때문에

Table 2. Characteristics of Polymerized PSA Syrups

Entry no.	M_w (g/mol)	PDI	Solid content (%)	Viscosity (cPs)	Rate of conversion (%/sec)
THFA0	450000	1.98	17.41	700	6.6362
THFA4	440000	1.92	16.60	600	7.0009
THFA8	410000	2.03	18.48	600	7.6654
THFA12	390000	2.27	20.77	900	7.6675
THFA16	360000	2.09	22.97	1300	8.0596
THFA20	360000	2.16	28.66	3100	8.2240
THFA24	350000	2.48	32.25	4900	8.7165

점착 물성에 영향을 미치게 된다. 또한 점도와 분자량은 비례관계가 성립되지만, Table 2에서 보는 바와 같이 THFA의 비율이 증가할수록 점도가 증가하였다. 이는 중합속도가 증가함에 따라 단위부피당 고분자의 함량이 증가하기 때문에 점도가 증가한 것으로 사료된다.

Figure 1은 시럽에 대한 TGA 측정결과이다. Figure 1에서 보는 바와 같이 150~250 °C 부근에서 무게손실이 거의 없는 편평한 구간이 나타난다. 상온에서부터 약 150 °C 부근까지는 시럽을 구성하고 있는 단량체들이 휘발되는 현상이며 그 이상의 온도에서는 고분자의 열분해과정과 유사하게 진행된다.¹³ Figure 1의 결과에 따라 220 °C에서 잔존중량을 백분율로 환산하여 시럽 내에 포함된 고형분을 계산하였으며, Table 2에 나타내었다. THFA의 함량이 증가함에 따라 고형분이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 앞서 언급한 중합속도의 경향성과 일치하며, 중합속도의 증가는 단량체의 소모를 증가시켜 시럽 내 고분자 함량을 높히게 되어 TGA 측정결과에서 잔존중량 분율을 증가시키는 것으로 판단된다.

Photo-DSC를 이용하여 시럽의 경화저동 및 경화속도를 확인하였다. 경화속도에 따라 공정속도가 달라지고, 경화속도가 느리면 미경화된 점착제가 발생할 수 있으므로 시럽의 경화속도는 점착제의 중요한 조건 중에 하나이다. Figure 2(a)에서 보는 바와 같이 모든 샘플에서 비슷한 경화저동을 보여주지만, THFA의 비율이 증가할수록 경화속도가 증가한다는 것을 Figure 2(b)에서 확인하였고, 전환율의 기울기를 계산하여 Table 2에 나타내었다.

점착제의 점착력을 높이기 위해 극성을 가진 아크릴 단량체를 배합하는데 일반적으로 acrylic acid가 많이 사용된다. 그러나 디스플레이 광학용에 사용하는 점착제는 ITO 패턴과 접촉하는 경우가 많아 acid 관능기를 포함하는 단량체를 사용하게 되면 ITO가 부식되어 IT 기기가 제 역할을 하지 못하게 될 수 있다. 따라서 디스플레이 광학용에 사용되는 점

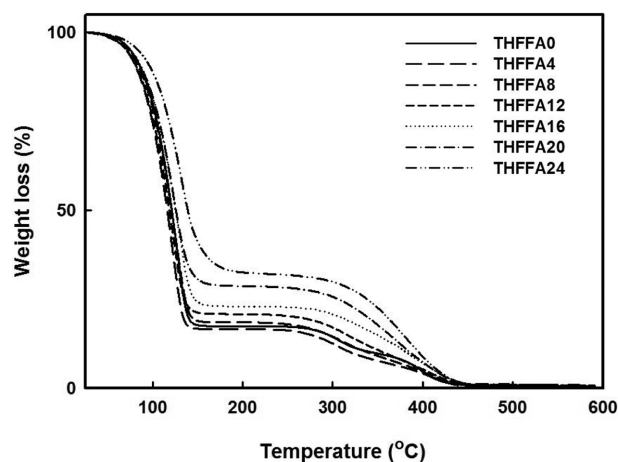


Figure 1. TGA thermograms of PSA syrups.

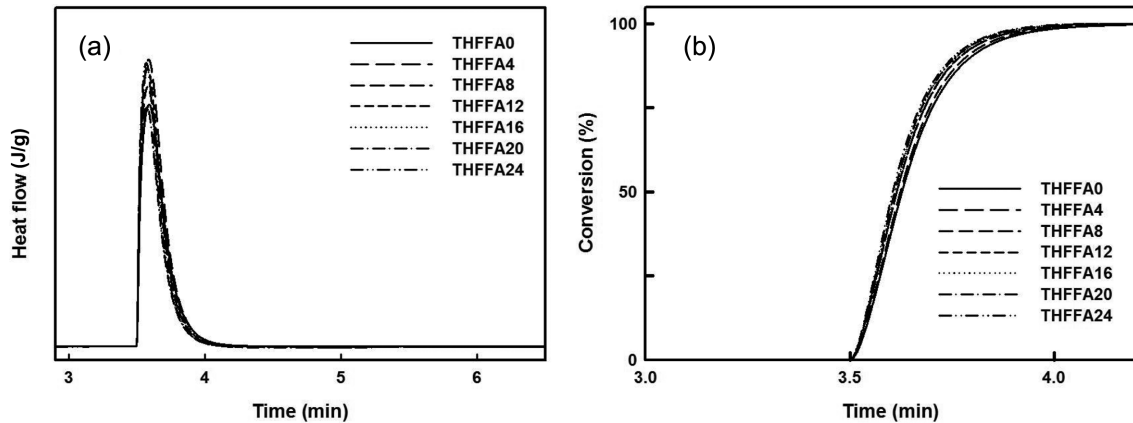


Figure 2. Photo-DSC thermograms of PSA syrups (a); their reaction conversion curves (b).

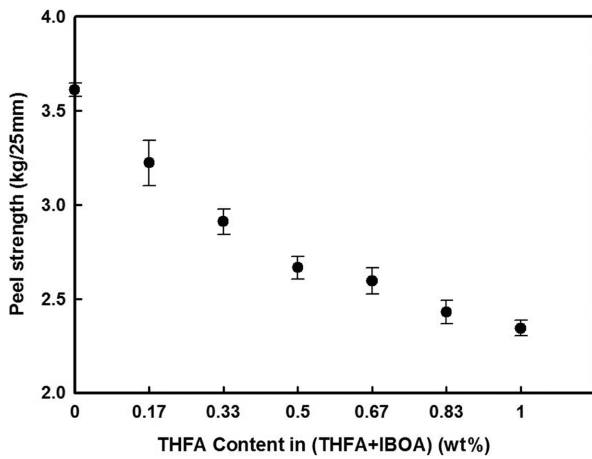


Figure 3. Peel strengths of PSAs with THFA content.

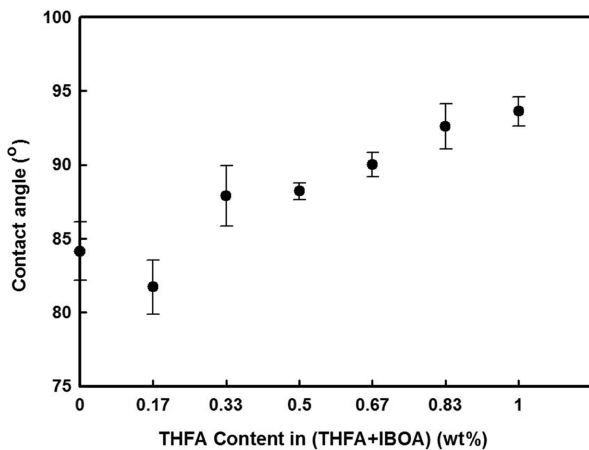


Figure 4. Contact angles of the PSAs with THFA content.

착제에서는 극성을 가진 단량체로 hydroxy 관능기를 가지는 단량체를 사용한다. 본 연구에서는 점착제의 점착력 유지를 위하여 hydroxy 관능기를 가진 2-HEA를 배합하여 점착제를

설계 및 제조하였다. THFA의 함량변화에 따른 점착제의 박리강도를 확인하고자 180° peel test를 수행하여 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 단량체의 극성차원에서 THFA가 IBOA 보다 높으므로 THFA의 함량이 증가할수록 점착제의 박리강도가 증가할 것이라고 예상하였지만, 박리강도 측정결과, THFA의 함량이 증가할수록 박리강도가 감소하는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 IBOA보다 몰농도가 높은 THFA가 증가함에 따라 단위부피당 2-HEA 비율이 감소하고, THFA의 ether 관능기가 2-HEA의 hydroxy 관능기와 물리적 결합으로 인한 분자간 상호작용으로 점착제 내부 hydroxy 관능기의 노출이 최소화되어 일어난 것으로 판단된다. 점착제의 표면의 극성을 확인하고자 증류수를 이용하여 점착제 표면의 접촉각 측정결과를 Figure 4에 도시하였다. Figure 4에서 보는 바와 같이 THFA의 함량이 증가할수록 접촉각이 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 점착제 표면의 hydroxy 관능기의 노출이 THFA 함량이 증가할수록 감소하는 것을 간접적으로 확인해 주고 있다.¹⁹

Figure 5는 THFA의 함량에 따른 점착제의 초기 점착력을 나타내었다. THFA의 함량이 증가할수록 초기 점착력이 감소하다가 강직한 단량체 내 THFA 함량이 0.5 이상부터는 다시 증가하는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 tack 특성은 점착제와 피착제 사이의 순간적인 접착을 증진시킬 수 있는 충분한 흐름성과 밀접한 관계가 있다. 즉, 초기 점착력은 점탄성 특성 중 low frequency 조건하에서 얻을 수 있는 저장탄성률 (G')에 의해 결정되기 때문에 고분자 주사슬의 강직성과 반비례 관계를 가진다.^{20,21} 고분자 내 THFA는 IBOA와 함께 주사슬의 강직성 보강역할을 하다가 일정함량 이상에서는 주사슬의 강직성을 감소시켜 초기 점착력 특성을 개선한 것으로 판단된다.

점착제를 디스플레이 광학용으로 사용하기 위해 점착제의 광학적 특성을 고려해야만 한다. 특히, 디스플레이 기기에는 우수한 투과성과 신뢰성이 확보된 여러 층으로 이루어진 필

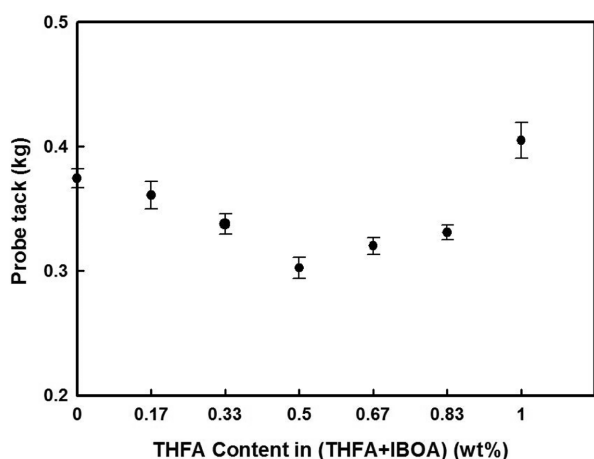


Figure 5. Probe tacks of the PSAs with THFA content.

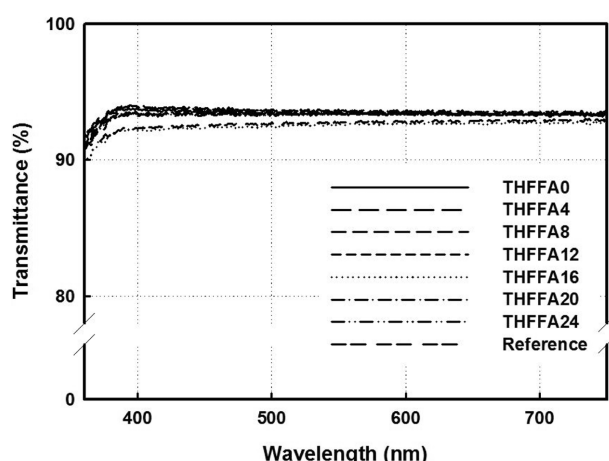


Figure 6. Transmittances of the PSAs with THFA content.

름층들로 구성되어 있다. 따라서 여러 필름층 사이에 사용되는 점착제도 이런 필름층과 동일한 특성을 지녀야 한다. 본 연구에서 제조한 점착제의 광투과도와 haze, 색차계값을 측정하여 그 결과를 Figure 6과 Table 3에 나타내었다. 모든 점착제 샘플들은 투과도가 약 92% 이상의 값을 나타내고 있고, THFA 함량변화에 따라 변화하지 않고 있음을 확인할 수 있다. 인간의 시각에 가장 민감한 550 nm 파장에서도 모든 점착제 샘플에서 거의 동일한 광투과 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 점착제의 haze 값도 모든 샘플에서 1.0% 이하였으며, 상용화되고 있는 점착제와 비슷한 값으로 투명성을 결정짓는 투과도와 haze 값이 우수한 결과값으로 측정되어 투명성에는 문제가 없음을 확인하였다.

광개시제 혹은 그 잔여물이 남아있는 경우 점착제가 외부에 노출되었을 때 황변현상이 일어날 수 있다.²² Table 3은 색차계를 통하여 샘플의 색상 변화를 나타내었다. ΔE^* 는 색을 인지하는 사람의 시각이 주관적이기 때문에 다른 2가지 색을

Table 3. Color-differences and Haze of PSAs, Reference PSA and Glass

Entry no.	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	Haze (%)
THFA0	95.93	-0.27	0.14	95.93	0.80
THFA4	96.42	-0.34	0.18	96.42	0.46
THFA8	96.26	-0.32	0.18	96.26	0.78
THFA12	96.57	-0.33	0.15	96.57	0.43
THFA16	96.56	-0.35	0.23	96.56	0.43
THFA20	96.52	-0.33	0.10	96.52	0.60
THFA24	96.48	-0.35	0.23	96.48	0.80
Reference	96.73	-0.31	0.13	96.73	
Glass	96.5	-0.32	0.18	96.50	

+ L^* : white, - L^* : black, + a^* : red, - a^* : green, + b^* : yellow, - b^* : blue.

3차원 공간에서의 거리를 비교하는 것으로 L^* , a^* , b^* 값으로 식 (1)로부터 구할 수 있다.

$$\Delta E^* = (L^{*2} + a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

여기서, L^* , a^* , b^* 는 3차원 공간의 좌표를 의미하며, ΔE^* 의 차이가 3~4 이상이면 시각적으로 구분이 가능하다고 보고되어 있다.^{23,24} 점착제의 모든 샘플에서 ΔE^* 값을 유리와 비교하였을 때 그 차이가 1.0 이하이기 때문에 육안으로 구별이 어려운 색차를 보여주었고, 황변현상이 일어나지 않았음을 확인하였다. 이는 제조된 점착제가 디스플레이 기기 내에 사용할 수 있는 광학특성을 지니고 있음을 나타내고 있다.

결론

본 연구에서는 2-EHA와 2-HEA 기본구조에 IBOA와 THFA의 조성비를 변화시키면서 광중합된 4원 공중합체를 합성한 후 가교제로 HDDA가 혼합된 시럽을 제조하였다. THFA의 함량이 증가할수록 시럽의 분자량은 감소하였으나 고형분은 반대로 증가하였다. 반응동력학적으로 시럽 내 THFA의 함량이 증가할수록 광경화 속도가 증가하였다. 점착제의 박리강도는 THFA의 함량에 따른 반비례 관계를 유지하고 점착제의 표면에너지는 비례 관계를 가지고 있었다. 또한 모든 점착제에서 92% 이상의 광투과도와 1.0% 이하의 haze 값, 그리고 1.0 이하의 색차값을 보여주었다. 이러한 광투과 특성 및 박리거동을 가지는 점착제는 디스플레이분야에 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글: 본 연구는 대경광역 선도산업 R&D 사업 (R0001590), 경기도 지역협력 연구사업(GRRC 단국 2011-B01)에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. I. Benedek, *Pressure-Sensitive Adhesives and Application*, 2nd Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 2004.
2. C. Creton, *Materials Science and Technology: A Comprehensive Treatment*, VCH, Weinheim, 1997.
3. W. H. Shecut and H. H. Day, U.S. Patent 3,965 (1845).
4. I. W. Levine, U.S. Patent 1,537 (1926).
5. H. S. Park, *Polymer(Korea)*, **16**, 693 (1992).
6. J. S. Bae, E. K. Park, H. S. Park, and M. S. Pyun, *Polymer(Korea)*, **17**, 203 (1993).
7. R. Mehnert, A. Pincus, I. Janorsky, R. Stowe, and A. Berejka, *UV & EB Curing Technology & Equipment*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
8. T. Kauffman, *Adhesives Age*, Sep., s8 (1999).
9. M. Okido, *Adhesion*, **43**, 23 (1999).
10. T. Doba, *J. Adh. Soc. Jap.*, **35**, 521 (1999).
11. K. Kimura, *J. Adh. Soc. Jap.*, **35**, 323 (1999).
12. M. Nakazawa, *J. Adh. Soc. Jap.*, **36**, 28 (2000).
13. S.-S. Baek, S. W. Lee, and S.-H. Hwang, *Polymer(Korea)*, **37**, 121 (2013).
14. I. B. Kim and M. C. Lee, *Korean Chem. Eng. Res.*, **46**, 76 (2008).
15. T. Fukuda, Y.-D. Ma, and H. Inagaki, *Macromolecules*, **18**, 17 (1985).
16. Q. You, J. Wang, Y. Eng, X. Shu, Q. Ou, X. Xu, and K. Shen, *Plasma Sci. Technol.*, **8**, 433 (2006).
17. Y. Liu, J. C. Haley, K. Deng, W. Lau, and M. A. Winnik, *Macromolecules*, **40**, 6422 (2007).
18. C. Plessis, G. Arzamendi, J. R. Leiza, J. M. Alberdi, H. A. S. Schoonbrood, D. Charmot, and J. M. Asua, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **39**, 1106 (2001).
19. L. Li, M. Tirrell, G. R. Korba, and A. Poclus, *J. Adhes.*, **76**, 307 (2001).
20. S. M. Taghizadeh and D. Ghasemi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **120**, 411 (2011).
21. K. Yatho and K. Dodou, *Int. J. Pharm.*, **24**, 333 (2007).
22. J. Lim, *UV/EB Curable Polymeric Materials*, Korean Studies Information, Paju, 2009.
23. R. Seighi, E. Hewlett, and J. Kim, *J. Dent. Res.*, **68**, 1760 (1989).
24. M. Gross and J. Moser, *J. Oral Rehab.*, **4**, 311 (1977).