

광투과성 지방족 에폭시 아크릴레이트의 전자선 경화 특성 연구

박상율 · 손혜미 · 명동신* · 김명화* · 서영수†

세종대학교 나노공학과, *이화여자대학교 화학·나노과학과
(2012년 9월 21일 접수, 2013년 1월 3일 수정, 2013년 2월 4일 채택)

Curing Behaviors of Transparent Aliphatic Epoxy Acrylate by Electron Beam Irradiation

Sang-Yul Park, Hyemi Son, Dongshin Myung*, Myung-Hwa Kim*, and Young-Soo Seo†

Department of Nano Science and Technology, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

*Department of Chemistry and Nano Science, Ehwa Woman's University, Seoul 120-750, Korea

(Received September 21, 2012; Revised January 3, 2013; Accepted February 4, 2013)

초록: Glycerol diglycidyl ether와 acrylic acid를 반응하여 지방족 에폭시 아크릴레이트를 합성하였다. 반응 경과는 적외선 분광법, 라만 분광법과 ¹H NMR로 분석하였다. 합성한 에폭시 아크릴레이트의 전자선 조사에 의한 경화 거동을 조사하기 위해 전자선 조사량에 따른 시료의 분광 분석과 유리전이온도 분석, 인장 특성 등을 분석하였다. 이를 통해 약 30 kGy 정도의 저조사량에서 충분한 경화가 이루어짐을 확인하였다. 또한 합성한 에폭시 아크릴레이트는 점도가 낮아 용매 사용 없이 코팅용으로 사용하기에 적합하며, 경화 시편이 높은 광학적 투과도를 가지고 있어 광학적 투명도를 요구하는 전자선 경화형 광학필름 코팅용에 적합할 것으로 생각된다.

Abstract: We synthesized aliphatic epoxy acrylate monomer by the reaction of glycerol diglycidyl ether and acrylic acid. The reaction was monitored by FTIR, Raman spectroscopy and ¹H NMR. Electron-beam (E-beam) curing behaviors of the synthesized monomer were studied by spectroscopic analysis, glass transition temperature, and tensile properties. We found that curing reaction was complete in a low dosage of ca. 30 kGy. The viscosity of monomer was a low enough for coating without using diluents and the cured sample was highly transparent, indicating that the monomer can be used for an E-beam curable coating material on transparent optical films.

Keywords: electron beam curing, aliphatic epoxy acrylate, transparent optical films, FTIR, raman spectroscopy.

서 론

에폭시 수지는 내열성, 내화학성이 탁월하며, 다양한 재료에 대해 우수한 접착성과 광학적 특성을 나타내며, 뛰어난 인장강도와 우수한 전기 절연성을 갖는다. 이와 같은 다양한 장점들로 인해 코팅, 접착, 복합체의 기재, 잉크, 목재, 도장 등의 산업 전반의 여러 분야에 널리 이용되고 있다.¹⁻⁴ 에폭시 수지의 유도체 중의 하나인 에폭시 아크릴레이트는 에폭시 수지 말단의 epoxide group에 acrylate group을 도입한 수지로서, 광경화를 통해 고밀도 망상조직의 중합체를 형성하므로 빠른 경화시간을 갖고 상대적으로 점도가 낮아 코팅 등의 분야에서 기존의 열경화성 에폭시를 대체하고 있다.

그러나 일반적으로 널리 사용되는 bisphenol A type epoxy

acrylate(BPA-EA)의 경우 내열성과 기계적 성질 등은 좋으나 광경화에 의해 황변이 나타나고 점도가 높아 광학 코팅용으로는 적합하지 않다. 하지만, 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우는 광경화에 의한 황변이 적어 광학필름 코팅과 같은 투명한 외관이 중요시 되는 곳에 응용이 가능하며, 점도가 낮아 용매를 사용하지 않고 코팅이 가능하여 친환경적이고 비용을 줄일 수 있는 장점이 있는 것으로 알려져 있다.⁴

UV(ultraviolet)를 이용한 광경화 방법은 열경화 방법에 비해 빠른 경화시간, 적은 에너지 소모 및 제조 공정이 단순하다는 장점을 갖기 때문에 널리 사용되고 있지만, UV 조사만으로는 광반응성 acrylate group의 radical polymerization을 일으킬 만큼 충분한 에너지를 갖고 있지 않기 때문에 반응개시제를 사용해야 하는 단점을 갖고 있다.⁵ 하지만, 전자선(electron-beam)의 경우는 고에너지의 전자와 acrylate group의 직접적인 에너지 교환에 의해 acrylate group의 반응을 개시함으로써 별도의 반응개시제가 필요하지 않아 제조 공정을

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ysseo@sejong.ac.kr

단순화할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 UV 조사에 비하여 조사 대상물에 대한 투과율이 높아 보다 효과적인 경화를 일으킬 수 있다.⁵⁻¹¹

본 연구에서는 지방족 에폭시 아크릴레이트를 합성하여 전자선 조사에 의한 경화 거동을 분석하고, 조사량에 따른 기계적 물성과 광투과도를 조사하였다. 화학구조는 FTIR, Raman spectroscopy, NMR 등을 이용하여 분석하였고 DSC를 이용하여 경화시료의 열적 거동을 분석하였다.

실 험

시약 및 재료. Acrylic acid(grade: extra pure)는 대정화금(주)에서 구입하고 glycerol diglycidyl ether(GDE)와 triethylamine(TEA), ethyl acetate(grade: HPLC)는 시그마 알드리치에서 구입하여 사용하였다.

합성. Scheme 1에 나타낸 바와 같이 TEA 촉매 하에 acrylic acid와 GDE와의 반응을 통하여 광경화성 지방족 에폭시 아크릴레이트를 합성하였으며, 자세한 방법은 다음과 같다. 가열장치, 교반기, 환류냉각기, 질소유입기 등이 장착된 3구 유리 플라스크 반응기에 GDE(20.433 g, 0.1 mol), acrylic acid(14.412 g, 0.2 mol)와 TEA(0.408 g, GDE의 질량 대비 2 wt%)를 차례대로 넣고 혼합하여 70 °C를 유지하면서 4시간 동안 중합금지제 없이 반응시켰다. 반응 이후 실온으로 냉각하여, ethyl acetate와 1:1 몰비로 혼합하여 분액깔때기로 옮긴 후, 남아 있는 촉매를 없애기 위하여 0.01 M의 염산 수용액을 첨가하여 제거한 후, 증류수를 이용하여 3회 세척하고 회전증류농축장치를 이용하여 50 °C에서 감압하여 저점도를 갖는 투명한 액체의 지방족 에폭시 아크릴레이트를 합성하였다.

생성물 분석. GDE와 acrylic acid의 반응에 의한 에폭시 아크릴레이트의 형성을 확인하기 위해 반응물과 생성물을 FTIR과 Raman spectroscopy로 GDE의 epoxide group 피크의 감소와 생성물의 acrylate group과 carbonyl 피크의 생성을 확인하여 합성 반응을 평가하였고, 생성물의 구조는 ¹H NMR을 사용하여 분석하였다. 사용한 Raman 측정용 장비는 633 nm의 파장을 갖는 He-Ne 레이저가 장착된 Renishaw사의 제품으로 100에서 3200 cm⁻¹까지의 Raman shift를 측정하였으며, FTIR은 ATR(attenuated total reflection)이 장착된

Nicolet 380 모델이며, resolution 4 cm⁻¹, scan number는 128로 고정하고 4000에서 400 cm⁻¹까지 측정하였다. 생성물의 점도는 Brookfield사의 Thermosel(HT-60A DP)가 장착된 DV-E viscometer를 이용하여 상온에서 70 °C 사이에서 측정하였다. 비교를 위해 BPA-EA의 점도도 측정하였다.

전자선 경화. 고내열성의 실리콘 수지를 이용하여 ASTM D-638-08 규격의 인장강도 측정용 몰드를 제작하였다. 제작된 몰드에 합성된 지방족 에폭시 아크릴레이트를 3 g씩 붓고 polypropylene tray에 놓은 후, 전자선 경화 시 산소에 의한 부반응을 억제하기 위해⁹ polyethylene bag에 넣은 후 질소(99.99%)를 채워 밀봉하였다. 준비된 샘플은 정읍 방사선과 학연구소의 선형전자선 가속기(beam energy: 10 MeV, beam current: 0.5 mA, average beam power: 10 kW, 선속: 1 kGy/pass, 10 s/pass)를 이용하여 전자선을 조사하였다. 지방족 에폭시 아크릴레이트의 전자선 경화에 의한 황변 현상을 비교 분석하기 위해 BPA-EA 역시 같은 실험 조건과 방법을 사용하여 경화하였다.

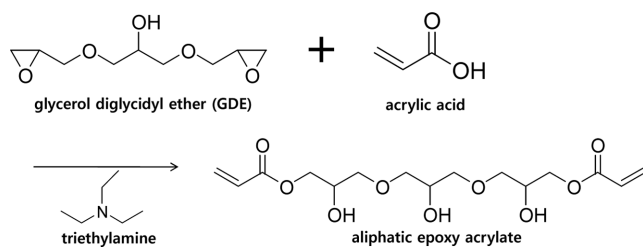
경화된 시료의 분광 분석. 전자선에 의해 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경화 거동을 분석하기 위해 FTIR과 Raman을 측정하였다. 전자선에 의해 양 말단의 acrylate group이 라디칼화 되어 고분자화되므로 아크릴레이트 관능기의 농도는 상대적으로 낮아지게 되므로, 이를 이용하여 생성물의 광경화 거동을 분석하였다.

경화된 시료의 열 분석. 전자선 조사량에 따른 경화도 분석을 위해 유리전이온도를 측정하였다. 인트라쿨러(Julabo, FT900, -90 to 30 °C)가 장착된 DSC(DSC1, Mettler Toledo)를 사용하였다. 막자 사발을 이용하여 곱게 빻은 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트 파우더를 aluminium standard 40 μL crucible에 약 7 mg 옮긴 후, 0부터 150 °C까지 10 °C/min의 승온 속도로 질소(99.999%) 분위기에서 측정하였다. 재현성 있는 데이터를 얻기 위해 위의 시료를 냉각한 후, 다시 측정하였다.

경화된 시료의 인장강도 측정. 경화된 시료의 기계적 물성 분석은 ASTM D-638-08 규격에 따라 UTM을 사용하여 50 mm/min의 시험속도로 인장강도와 Young's modulus를 측정하였다.

결과 및 토론

반응 평가를 위한 분광 분석. FTIR: GDE와 acrylic acid의 합성 반응이 진행됨에 따라 GDE 양 말단의 epoxide group의 농도는 점차 줄어들게 되고, 반면 생성물의 acrylate group과 carbonyl group의 농도가 증가하게 된다. Figure 1(a)는 반응물과 생성물의 FTIR spectrum을 보이고 있다. 위에서부터 GDE, acrylic acid, 합성된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 spectrum을 나타낸다. 2919 cm⁻¹ (①)에서 GDE의 경우 지방



Scheme 1. Synthesis process for aliphatic epoxy acrylate.

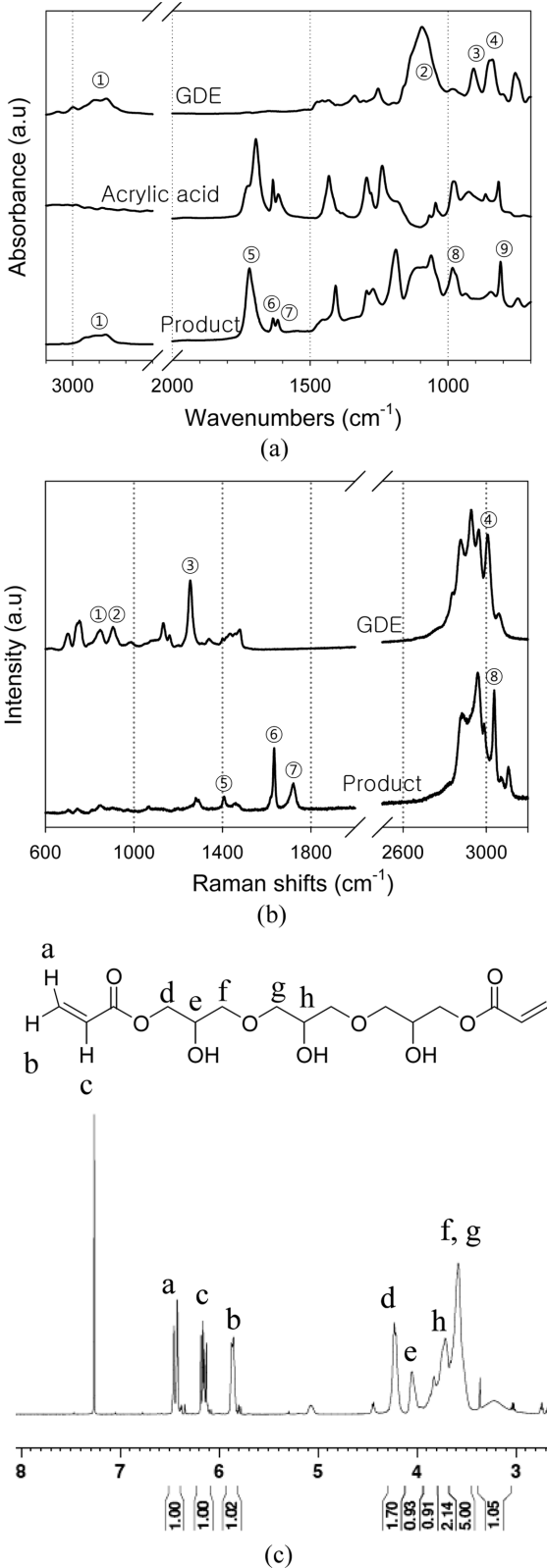


Figure 1. (a) FTIR spectra of GDE; acrylic acid, and product; (b) Raman spectra of GDE and product; (c) ¹H NMR spectrum of the product.

족 C-H의 신축 진동이 나타나며, 지방족 에폭시 아크릴레이트 역시 같은 위치에서 피크가 나타난다. GDE spectrum의 910과 1100 cm⁻¹ (②) 피크는 epoxide group에 해당하며 생성물의 spectrum에서는 관찰되지 않는 것으로 보아 epoxide group의 개환 반응이 잘 일어났음을 알 수 있다. Acrylic acid의 FTIR spectrum을 살펴 보면 1727 cm⁻¹ (③)에서 carbonyl group의 특성 피크가, 1635와 1618 cm⁻¹(각각, ⑥, ⑦)에서는 acrylate group의 특성 피크가 984 cm⁻¹ (⑧)에서는 =CH₂ twisting 진동이, 809 cm⁻¹ (⑨)에서는 acrylate group의 신축 진동이 나타나는데, 생성물에서도 새로 형성된 이 모든 피크들이 관찰되는 것으로 보아 GDE의 개환 반응에 의해 양 말단에 acrylate group이 잘 도입되었음을 확인할 수 있었다.

Raman Spectroscopy: 합성된 생성물의 화학성분을 Raman spectrum으로 재확인하였다. Figure 1(b)는 반응물인 GDE의 600에서 3200 cm⁻¹까지의 Raman spectrum을 나타내고 있다. Raman spectrum 역시 FTIR과 같이 반응물과 생성물의 소멸과 생성되는 특성 피크를 분석함으로써 GDE의 epoxide group의 개환 반응에 의해 지방족 에폭시 아크릴레이트의 합성 반응이 진행되었음을 확인하였다. 852와 916 cm⁻¹은 epoxide group의 deformation 피크(각각, ①과 ②)이며, 1260 cm⁻¹ (③)은 epoxide group의 breathing 피크이며, 3008 cm⁻¹ (④)은 epoxide group 중 C-H의 신축진동을 나타내는데, epoxide group과 관련된 모든 특성 피크들은 생성물의 Raman spectrum에서는 관찰되지 않는 것으로 볼 때, GDE의 개환 반응이 잘 일어났음을 알 수 있다. 또한 생성물의 Raman spectrum의 1404 cm⁻¹ (⑤)과 1637 cm⁻¹ (⑥)은 acrylate group의 신축진동을 나타내며, 1718 cm⁻¹ (⑦)은 carbonyl group의 신축진동을 나타내며, 3041 cm⁻¹ (⑧)은 =CH의 신축진동을 나타내는데, 이와 같이 acrylate group과 관련된 특성 피크들이 생성물에서 관찰되는 것으로 볼 때 epoxide group이 acrylate group으로 잘 치환되었음을 확인할 수 있다.

¹H NMR: 합성 반응으로부터 생성된 생성물의 특성 구조를 분석하기 위해 ¹H NMR을 측정하여 그 결과를 Figure 1(c)에 나타내었다. 5.85~6.44 ppm에서 -CH=CH₂- (a, c, b), 4.04 & 4.21 ppm에서 -CH₂CHOHCH₂- (e, d), 3.81 ppm에서 -CH₂CHOHCH₂- (h), 3.57 & 3.70 ppm에서 -CH₂OCH₂- (f, g)를 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 epoxide group에 acrylate group이 잘 도입되었음을 알 수 있었다. 하지만, NMR 피크 분리가 완전하게 이뤄지지 않은 것으로 보아, 합성 과정 중에 일부 부반응이 일어났음을 알 수 있다.

점도 측정. 합성한 지방족 에폭시 아크릴레이트의 상온에서 70 °C까지 온도에 따른 점도를 상업적으로 많이 사용되는 BPA-EA의 점도와 비교 분석하였다. Figure 2에서 보이는 바와 같이 합성한 지방족 에폭시 아크릴레이트는 BPA-EA에 비해 현저히 낮은 점도를 가지고 있어서 상온에서도 용제를 사용하지 않고 코팅 등이 가능함을 알 수 있다.

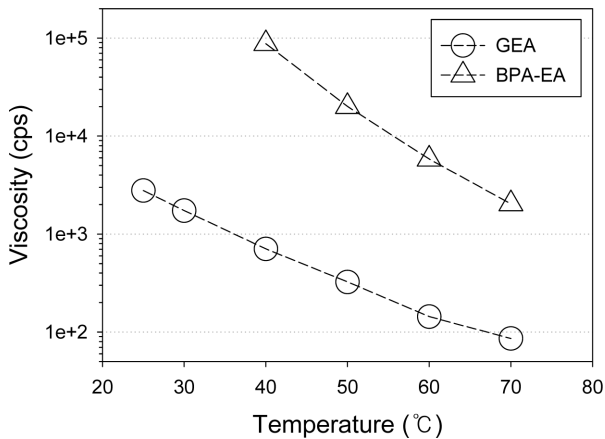


Figure 2. Temperature-dependent viscosity of BPA-EA and aliphatic epoxy acrylate.

전자선 경화 시료의 경화거동 분석. 지방족 에폭시 아크릴레이트의 전자선에 의한 경화거동을 분석하기 위해 FTIR과 Raman을 이용하여 분광학적 정성 분석을 수행하였다. 지방족 에폭시 아크릴레이트는 양 말단의 acrylate group이 전자선에 의해 개시됨에 따라 라디칼을 형성하게 되고, 형성된 라디칼간의 가교에 의해 경화가 된다. 그 결과 광경화 반응에 참여한 지방족 에폭시 아크릴레이트의 acrylate group의 농도는 감소하게 되고, FTIR의 흡광도 감소와 Raman spectrum의 intensity를 분석함으로써 광경화 반응을 정성적으로 판단할 수 있다. Figure 3(a)는 전자선 조사량에 따른 FTIR spectrum이고 (b)는 Raman spectrum이다.

반응 진행의 신뢰성 있는 분석을 위해 각 spectrum에서 경화 반응에 참여하지 않는 carbonyl group(FTIR의 경우 ①, 1727 cm⁻¹; Raman의 경우 ⑥, 1718 cm⁻¹)의 intensity를 일정하게 고정한 후 도시하였다. 먼저 FTIR spectrum을 보면, 전자선 조사량이 증가함에 따라 지방족 에폭시 아크릴레이트 양 말단의 acrylate group의 특성을 나타내는 피크들 (②: 1635, ③: 1618, ④: 809 cm⁻¹)의 흡광도가 급격하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 Raman의 결과 역시 acrylate group의 특성을 나타내는 피크 (⑤: 1637, ⑦: 3041 cm⁻¹)의 크기가 감소하고 있음을 확인하였다. 비록 광학 분석으로는 전자선 조사량에 따른 경화도를 정량적으로 측정할 수는 없으나, 상기의 두 가지 분석방법에서 모두 측정된 바와 같이 30 kGy 정도의 조사량에서 경화 반응이 거의 포화되고 있는 것으로 분석되었다. 이는 합성한 지방족 에폭시 아크릴레이트가 매우 민감한 전자선 경화성을 갖고 있음을 보여준다.

전자선 경화 시료의 열 분석. 전자선에 의해 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 유리전이온도를 측정함으로써 전자선에 의한 경화도를 정성적으로 측정하였다.^{12,13} Figure 4(a)는 전자선 조사량에 따른 시료의 DSC를 이용한 thermogram이다. 유리전이온도는 Figure 4(a)와 같이 보조선을 사용하여

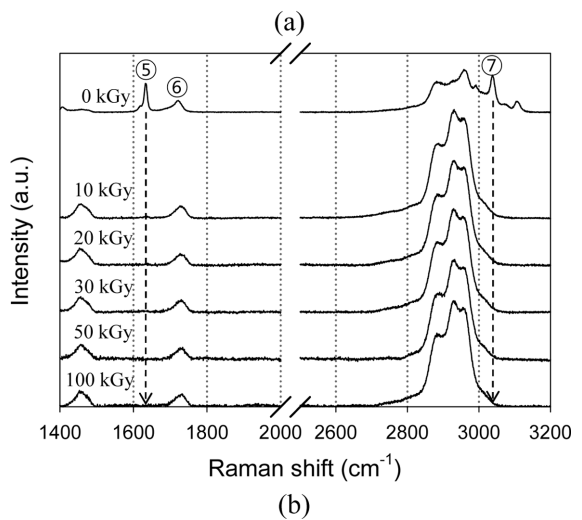
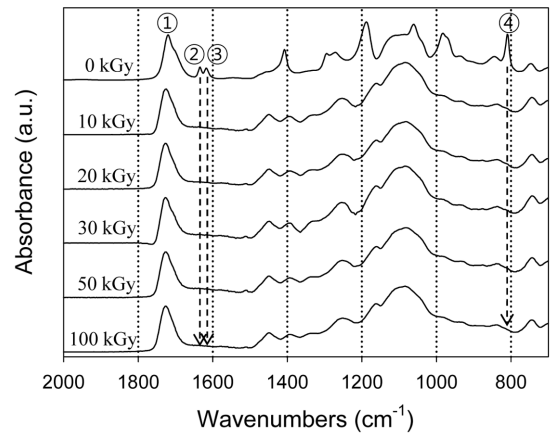


Figure 3. (a) FTIR; (b) Raman spectra of E-beam cured aliphatic epoxy acrylate.

유리전이가 시작되는 점과 유리전이가 종료되는 온도의 중간점으로 계산하였다. Figure 4(b)는 전자선 조사량에 따른 유리전이온도의 변화를 나타낸다. 지방족 에폭시 아크릴레이트의 유리전이온도는 10 kGy에서 이미 67°C로 측정되어 광학 분석의 결과와 같이 경화 반응이 이미 많이 진행되었음을 알 수 있다. 조사량이 증가함에 따라 71°C 정도까지 증가하는데 30 kGy 정도의 조사량에서 이미 포화되는 것으로 보므로 Figure 3의 광학 분석 결과와 일치하고 있음을 알 수 있다.

유리전이온도만으로는 재료의 고온안정성과 내열성을 대변하기는 어렵지만, 전자선으로 경화된 BPA-EA의 유리전이온도(약 130°C)와 비교할 때 내열성이 떨어지는 것으로 보인다. 이는 BPA-EA의 경우 bisphenol이 주사슬에 존재함으로써 우수한 내열성을 나타내지만, 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우 주사슬이 지방족으로만 이뤄져 있기 때문이다.

전자선 경화 시료의 기계적 물성 분석. 실리콘으로 제작한 인장시험용 몰드에 지방족 에폭시 아크릴레이트 일정량을 붓고 전자선을 조사하여 경화한 후 제거하여 인장시험

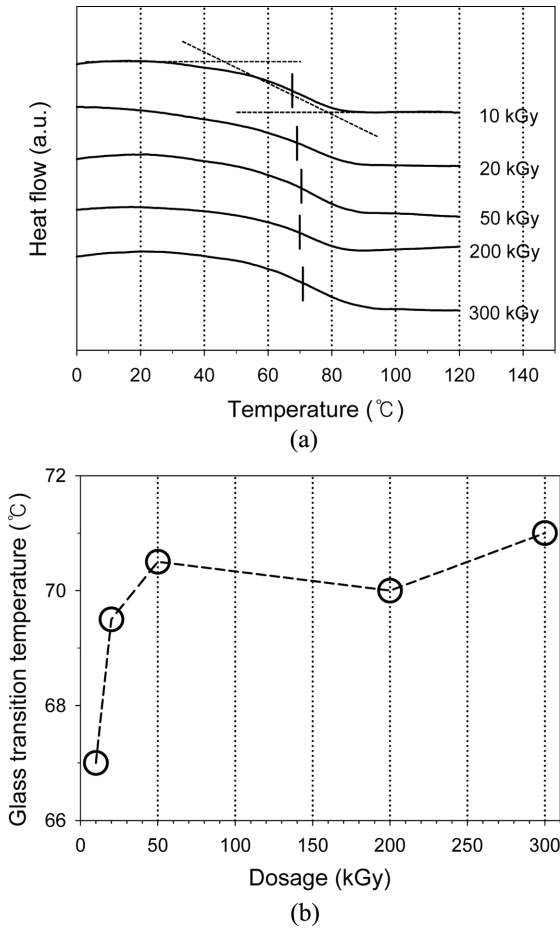


Figure 4. (a) DSC thermogram of E-beam cured aliphatic epoxy acrylate; (b) the corresponding glass transition temperature.

편을 제작하였다. 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 인장강도와 Young's modulus를 Figure 5에 표시하였다. 원형 기호는 전자선에 의해 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 최대인장강도를 나타내며, 사각형 기호는 Young's modulus를 나타낸다. 인장강도의 경우 전자선 조사량이 증가함에 따라 증가하여 50 kGy 이후의 조사량에서 약 67 MPa를 나타내며, 이후 조사량에 관계없이 거의 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다. Young's modulus의 경우 10 kGy 이후에는 조사량에 관계없이 거의 일정하게 0.8 GPa 정도의 값을 갖는 것으로 분석되었다. 이와 같이 저조사량에서 이미 기계적 물성이 포화되는 결과는 광학적 분석과 열분석의 결과와도 일치하는 결과이다. 즉, 합성된 지방족 에폭시 아크릴레이트가 매우 민감한 전자선 경화성을 가지고 있어 저조사량에도 경화가 잘 일어나고 있음을 알 수 있다.

측정한 지방족 에폭시 아크릴레이트의 기계적 물성을 BPA-EA나 bisphenol-A계 에폭시의 경우와 비교하여 보니, 이들의 인장강도와 Young's modulus가 거의 유사한 것으로 조사되었다.¹⁴ 이는 지방족 에폭시 아크릴레이트의 화학구조의 강직

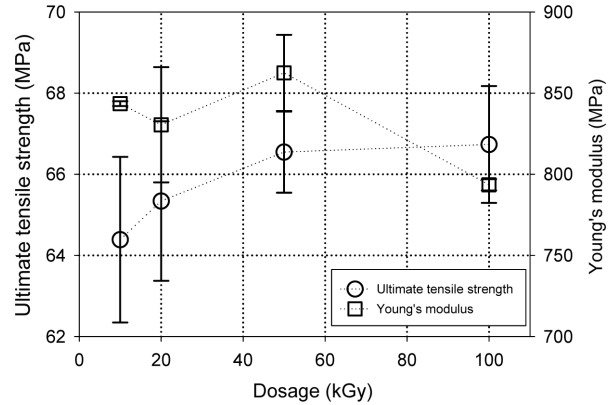


Figure 5. Tensile strength and Young's modulus of E-beam cured aliphatic epoxy acrylate.

성이 bisphenol-A계에 비하여 떨어짐에도 불구하고 경화 후에 충분한 기계적 강도를 가짐을 알 수 있다. 따라서 전자선 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트가 비록 내열성은 상대적으로 낮으나 기계적 물성이 좋으므로 고온 환경에 노출되지 않는 응용분야에는 적합하다고 할 수 있다. 이러한 응용분야 중에는 광학필름 코팅을 들 수 있다. 점도와 내열성 이외에도, 서문에서 제시한 바와 같이, 황변 현상이 광학필름에의 응용을 결정하는데 매우 중요한 요소이므로, 다음 section에서는 전자선 경화된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 광학적 투과성을 분석하였다.

전자선 경화 시료의 광학적 투과도 분석. 전자선에 의해 경화된 시편의 조사량에 따른 광학적 투과도를 측정하였다. Figure 6(a)는 좌측 시료부터 BPA-EA와 TEA가 정제되지 않은 지방족 에폭시 아크릴레이트, TEA가 정제된 지방족 에폭시 아크릴레이트 등 세 가지 시료의 전자선 조사한 기계적 물성 측정용 시편의 사진을 보이고 있다. 각 시료의 전자선 조사량은 위에서부터 10, 20, 30, 50, 100 kGy이다. BPA-EA의 경우 조사량이 증가함에 따라 점차 노란색을 띠고 있으며, TEA를 제거하지 않은 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우에도 50 kGy 이상에서 황갈색을 띠는 것으로 관찰된다. BPA-EA의 경우는 bisphenol의 화학적 변성에 의하여 색상을 띠는 것으로 알려져 있고, TEA를 제거하지 않은 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우는 TEA에 의한 발색으로 보인다. 반면에, TEA를 정제한 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우, 전자선 조사량이 증가하여도 황변 현상이 거의 일어나지 않는 것이 관찰되었다.

상기 시편 중에서 가시광선 파장에 따른 광학적 투과도를 측정하였다. 상기의 분광학적과 열적, 기계적 분석의 결과에 따라 조사된 시편의 경화가 거의 포화 상태에 이르는 30 kGy 조사된 시편을 선택하였다. 측정한 시편의 두께는 매우 일정한 3 ± 0.02 mm로 Figure 6(a)의 시편을 그대로 사용하였다.

Figure 6(b)에서 보면, 정제한 지방족 에폭시 아크릴레이트

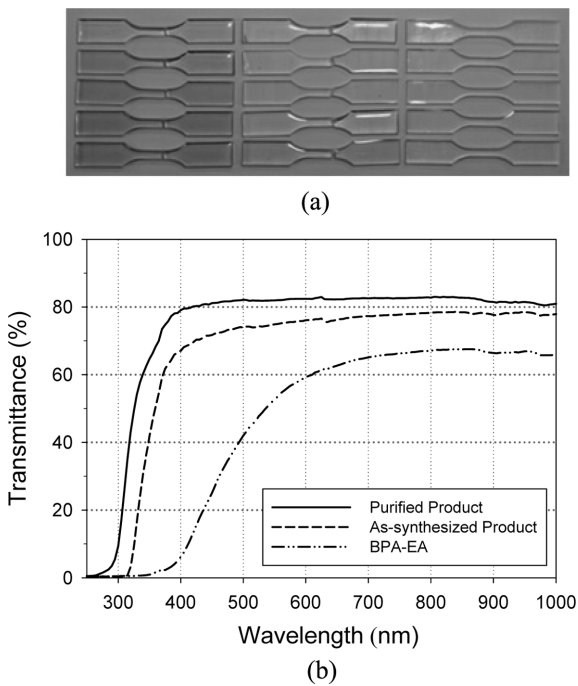


Figure 6. (a) E-beam cured samples for the tensile tests: from the left, BPA-EA, synthesized aliphatic epoxy acrylate before and after TEA purification and from the top, E-beam dosages of 10, 20, 30, 50, and 100 kGy; (b) Optical transmittance of E-beam cured sample with 30 kGy.

시편의 광학적 투과도가 가장 우수한 것으로 측정되었다. 특히 단파장 영역에서 보면 정제된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우 400 nm 부근에서 투과도가 최대치에 이르고 이후 투과도가 일정한 반면에, 정제하지 않은 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우, 500 nm 부근 이후부터 최대치가 유지되고, 가장 투과성이 좋지 않은 BPA-EA의 경우 700 nm 이후에서야 최대치에 이르는 것으로 관찰된다.

특히 정제된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 경우, 가시광선 영역인 380-770 nm에서 볼 때, 380-400 nm 부근에서 약간의 흡광을 제외하고는 거의 동일한 투과도를 보이고 있으므로, 동일 수지를 광학용 필름의 코팅용으로 사용할 경우, 예를 들어, 광학용 PET 필름 위에 수십 μm 두께 이내로 박막 코팅할 경우에는 전가시광선 영역에서 필름의 광학적 투과도에 미치는 영향은 미미할 것으로 생각된다.

결론

Glycerol diglycidyl ether와 acrylic acid를 TEA 촉매 아래 반응시켜, 지방족 에폭시 아크릴레이트를 합성하였다. TEA

를 제거한 지방족 에폭시 아크릴레이트에 별도의 경화제를 첨가하지 않고 전자선을 조사하여 경화시켰다. 경화된 시료의 전자선 조사량에 따른 FTIR과 Raman spectroscopy를 이용한 광학분석과 유리전이온도 분석, 기계적 물성 측정 등을 통하여 저조사량에서도 높은 광경화성을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 BPA-EA와 비교하여 볼 때, 합성한 지방족 에폭시 아크릴레이트가 낮은 점도를 보이고 전자선 경화 후 높은 광학적 투과도를 가지고 있어, 합성된 지방족 에폭시 아크릴레이트의 전자선 경화형 광학필름 코팅용으로서의 응용 가능성이 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 한국연구재단 원자력 개발사업(2011-0026855)과 지식경제부의 산업원천기술개발사업으로 수행된 연구 결과임(No. 10035274).

참고 문헌

1. A. Sharma, D. Agarwal, and J. Singh, *E-J. Chem.*, **5**, 904 (2008).
2. B. Zsigmond, L. Halász, and T. Czvikovszky, *Radiat. Phys. Chem.*, **67**, 441 (2003).
3. H. G. Kim, D. H. Lee, and K. E. Min, *Polymer(Korea)*, **31**, 53 (2007).
4. Y. C. Kim and B. H. Lee, *Journal of Adhesion and Interface*, **10**, 191 (2009).
5. V. Kumar, Y. K. Bhardwaj, N. K. Goel, S. Francis, K. A. Dubey, C. V. Chaudhari, K. S. S. Sarma, and S. Sabhrwal, *Surf. Coat. Tech.*, **202**, 5202 (2008).
6. J. Raghavan and M. R. Baillie, *Polym. Composite*, **21**, 619 (2000).
7. V. J. Lopata, C. B. Saunders, A. Singh, C. J. Janke, G. E. Wrenn, and S. J. Havens, *Radiat. Phys. Chem.*, **56**, 405 (1999).
8. A. Singh, C. B. Saunders, V. J. Lopata, W. Kremers, T. E. Mcdougall, M. Tateishi, and M. Chung, *Adv. Perform. Mater.*, **3**, 57 (1996).
9. R. Mehnert, *Nucl. Instrum. Meth. B*, **105**, 348 (1995).
10. G. Sui, Z. G. Zhang, C. Q. Chen, and W. H. Zhong, *Mater. Chem. Phys.*, **78**, 349 (2002).
11. N. Cadinot, B. Boutevin, J. P. Parisi, D. Bézières, and E. Chataignier, *Int. J. Adhes. Adhes.*, **14**, 237 (1994).
12. J. R. Fried, *Polymer Science & Technology*, Prentice Hall, Massachusetts, 2007.
13. Y. Gnanou and M. Fontanille, *Organic and Physical Chemistry of Polymers*, Wiley, New Jersey, 2008.
14. F. Danusso and G. Tieghi, *Polymer*, **27**, 1385 (1986).