

우레탄-아크릴 수지의 UV 경화 및 기계적 특성

유재원 · 김대수[†]
충북대학교 화학공학과
(1998년 10월 20일 접수)

UV Curing and Mechanical Properties of Urethane-Acrylate Resins

Jae Won Yoo and Dae Su Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

[†]e-mail : dskim@cbucc.chungbuk.ac.kr

(Received October 20, 1998)

요약: 자외선(Ultraviolet : UV) 경화형 아크릴 수지의 경화특성과 인장성질을 광 개시제의 함량과 종류, 경화시간, 그리고 반응성 단량체의 종류와 조성의 변화에 따라 조사하였다. Fourier transform infrared 분광기를 이용하여 경화가 진행되는 동안에 나타나는 화학구조의 변화를 관찰하였다. 아크릴계 올리고머의 UV 경화를 위한 광 개시제로 benzophenone, Darocur 1173, Irgacure 184를 사용하였다. 사용된 광 개시제 중에서 Irgacure 184가 가장 빠른 경화 속도를 나타내었다. 경화속도 및 물성을 고려해 볼 때 광 개시제의 최적 함량은 1 phr이었다. 아크릴 수지의 인장성질을 개선하기 위해 반응성 단량체인 hexandiol diacrylate와 tripropylene glycol diacrylate를 사용하였다. 반응성 단량체의 함량이 30 phr일 때 가장 높은 인장강도를 보였다. 경화시간과 반응성 단량체의 함량이 증가함에 따라 수지들의 파단점에서의 신장율은 감소하였다.

ABSTRACT: The cure characteristics and tensile properties of ultraviolet (UV) curable acrylic resins were investigated as a function of cure time, and types and contents of photoinitiator and reactive monomer. The change of chemical structure during curing was investigated by Fourier transform infrared spectrometer. The photoinitiators used were benzophenone, Darocur 1173, and Irgacure 184. Irgacure 184 showed the highest curing rate among them. Based on the curing rate and tensile strength of the cured resins, the optimum content of the photoinitiator was 1 phr. Reactive monomers, hexanediol diacrylate and tripropylene glycol diacrylate, were used to modify the tensile properties of the resins. The tensile strength of the cured resin was highest when the reactive diluent content was 30 phr. As cure time and the content of reactive monomer were increased, the elongation at break of the resins reduced.

Keywords: UV-cure, urethane-acrylate resin, tensile properties, curing.

서 론

자외선(Ultraviolet : UV) 경화형 수지계는 대부분의 구성물들이 100% 반응성 올리고머와 단량체들이기 때문에 용제를 기초로한 시스템에 비해 경화를 위한 에너지가 절약되고, 실온 조업이 가능하며, 높은 경화율로 인한 높은 생산성을 유도하기 때문에 상업적

으로 인쇄, 코팅산업, 그리고 접착제 등에 적용된다. 이러한 고분자 물질의 최종 화학적, 물리적 성질은 단량체의 구조, 개시단계의 형태, 반응 조건, 그리고 중합도의 정도와 중합속도에 의존한다. UV 경화 시스템은 일반적으로 반응성 올리고머, 반응성 단량체, 그리고 광개시제로 구성되어 있다.¹⁻⁹

상업적으로 유용한 UV 경화형 수지들의 종류는

unsaturated polyesters, acrylated polyesters, acrylated epoxy esters, acrylated isocyanates, acrylated triazines (maleimides), acrylated urethanes 등이 있다. 이러한 2-, 3- 또는 4-관능성 올리고머들과 적당한 단량체를 혼합한 것은 UV를 이용한 광 가교결합을 유도해서 좋은 물성을 가지며 내용제성이 있다.²

반응성 urethane 올리고머의 구조는 최종 UV 경화된 코팅의 물성을 결정하는데 중요한 요소이다. 일반적으로 분절된 polyurethane (PU) 올리고머는 2-hydroxyethyl acrylate (HEA)와 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA)와 같은 아크릴 관능기와 연결되어 있다. 이러한 urethane 분절들의 미세한 상분리는 주로 soft segment 길이의 형태에 의해 지배되고 polyurethane acrylate (PUA)의 동역학적 기계적 성질들을 결정하는 주요 변수이다. Acrylated urethane은 PU와 polyacrylate (PA)의 장점이 결합되어 높은 마모저항과 강인성 및 유연성을 갖는다.⁴ 본 연구에서 사용하는 수지도 이러한 acrylated urethane 수지의 일종이다.

유리섬유와 조합된 강화 폴리에스테르 수지를 기초로한 저렴한 복합물은 경량, 구조적 안정성, 전기절연성과 우수한 기계적 성질로 인해 항공, 건축, 가구, 그리고 운송산업 등에서 매우 유용하기 때문에 여러 해 동안 사용되어져 왔다. 대부분의 이러한 복합물들은 약 100 °C 이상에서 *t*-butyl perbenzoate나 methyl ethyl peroxide와 같은 개시제와 30~50%의 스티렌 단량체를 첨가해서 열적으로 경화한다. 스티렌 단량체가 첨가된 광 경화성 폴리에스테르 수지계가 발전되어 왔는데, 이러한 광 경화는 열 경화와 비교해서 비용과 에너지를 절감시키고 높은 효율을 나타낸다. 스티렌은 폴리에스테르의 점도를 감소시키고 불포화 폴리에스테르 사슬을 열 경화성 물질로 경화시키기 위해 첨가한다.⁶ Chiang 등은 UV 경화형 아크릴계 폴리에스테르 올리고머의 관능성, 화학구조 그리고 분자량이 경화물의 물성에 미치는 영향에 대해 조사하였다.¹⁰

Epoxy acrylate 수지의 구성물은 광 경화에 의해 가교구조를 형성하며, 매우 다양하게 광학섬유 코팅에 적용되어지고, 금속 콘테이너의 외장 코팅 등에도 많이 사용된다.¹¹

광 경화형 수지계에 포함되는 반응성 단량체로는 이중결합을 가지고 있는 acrylate가 많이 사용되어지고 있는데 이러한 반응성 단량체들은 두 가지 기능이 있다. 첫 번째는 더 쉽게 코팅작업을 하기 위하여 점도를 줄이는 기능과, 두 번째는 원하는 물성을 향상시키기 위해 첨가하는 것이다. 일반적으로 1관능성 acrylate 단량체는 탄성률의 감소와 연신률의 증가를 유발시키는 반면 다관능성 acrylate 단량체는 경화물의 가교밀도를 증가시키므로 위와 반대의 결과를 유발한다. 또한 다관능성 단량체들은 빛의 조사에 보다 더 높은 반응성을 나타낸다.^{1,3,5,6,12}

광 개시제는 빛을 흡수하여 자유라디칼을 형성하여 반응을 개시하기 위해 첨가된다. 이러한 광 개시에 의한 중합은 radical polymerization, charge-transfer polymerization, cation-radical polymerization, 그리고 simultaneous and cation-radical polymerization으로 나눌 수 있다. 자유라디칼은 반응성이 높기 때문에 중합이 빨리 진행되므로 수지의 점도는 증가하게 되고, 자유라디칼의 확산 경로는 최대 0.1 μm 이내로 제한된다.² 상대적으로 많은 양의 광 개시제는 빠르고 효과적인 광 경화를 위해 바람직하지만, 균일하게 용해되거나 혼합되지 않을 경우 최종물성에 악영향을 미친다. 광개시제의 최적의 농도는 일반적으로 다음과 같은 변수들에 의존한다. 광원의 파장에너지 분포, 광개시제의 흡수 spectrum, 필름의 두께, 물질의 반사도, 파장의 함수로써 안료의 흡수 및 분산 계수 등이다.²

본 연구에서는 광 경화형 urethane-acrylate 수지의 UV 경화 특성에 대해 조사하였으며 광 경화시간, 광개시제의 종류 및 함량, 그리고 반응성 단량체의 종류와 함량이 경화된 수지의 기계적 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

실 험

시 약. 본 연구에서는 선경 UCB사의 urethane acrylate 올리고머인 EB 8800을 사용하였다. EB 8800은 수평균 분자량이 1700, 65 °C에서의 점도가 9000 cp, 분자들의 평균관능성이 2.5, 그리고 밀도가 1.05인 지방족 urethane acrylate 올리고머로서 강인성, 유연성 그리고 무색 코팅을 원하는 곳에 주로

사용되는 제품이다. 광 개시제는 선경 UCB사의 Irgacure 184, Darocur 1173, 그리고 benzophenone을 사용하였다. 반응성 단량체는 선경 UCB사의 hexanediol diacrylate (HDDA)와 tripropylene glycol diacrylate (TPGDA)를 사용하였으며 모두 2-관능성이다. EB 8800은 고점도이기 때문에 필름 제조 작업을 용이하게 하기 위하여 점도를 낮추기 위한 용매로 ethyl acetate (EA)를 사용하였다.

점도 측정, 관능기 분석 실험 및 열 분석 실험. 필름을 제조하기에 용이하도록 용액의 점도를 200-250 cp 정도로 조절할 필요가 있기 때문에 용매인 EA의 함량을 조절하면서 용액의 점도를 측정하였다. 점도 측정 장치는 HAAKE viscometer를 사용하였고 전단율은 $0 \sim 400 \text{ s}^{-1}$ 의 범위에서 측정하였다.

UV를 조사시켜 광 경화되는 과정에서 수반되는 화학적 구조의 변화를 알아보기 위해 Bomem MB Fourier transform infrared (FTIR) spectrophotometer를 사용하였다. NaCl disk의 한쪽 표면에 소량의 시료를 얇게 도포한 다음 UV 조사시간의 증가에 따라 FTIR 흡수 피크를 얻었다. Wavenumber가 $4000 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ 인 IR (infrared) 영역에 대해서 실험하였다.

순수한 EB 8800의 열에 의한 특성을 분석하기 위하여 DuPont 910 differential scanning calorimeter (DSC)와 DuPont 99 thermal analyzer (TA)를 이용하였다. 약 10 mg의 시료를 액체시료용 stainless steel sample pan에 담고 밀봉하여 DSC cell 내부에 위치시킨 후 실험하였다. 일정한 환경 하에서 실험을 진행시키기 위하여 실험이 진행되는 동안 DSC 셀 내부로 질소가스를 40 cc/min 의 유량으로 계속 purge시켰다.

시편 제조 및 기계적 강도 시험. 필름 제조에 적합한 점도가 되도록 함량이 조절된 EB 8800, 단량체, 광 개시제 및 EA 혼합용액을 만들어 필름을 제조하였다. 두께가 일정한 시편을 얻기 위하여 4번 bar coater를 이용하여 유리판 위에 필름을 만들었으며 용매인 EA를 제거하기 위하여 $70 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 강제 순환식 오븐에서 1시간 동안 처리하였다. 건조된 필름을 UV로 광 경화시키기 위하여 UVC-925 UV Multi-Purpose Cabinet을 사용하였으며, 이 장치에는 파장이 254 nm 인 25 W의 전구가 8개 (200 W) 부착되

어 있다. 경화된 필름을 유리판으로부터 떼어 내어 시편을 만들어 인장시험을 진행하였다.

Universal testing machine (U. T. M., LLOYD Instrument Ltd.)을 이용하여 인장강도 및 신장율을 측정하였다. 인장강도 측정은 ASTM D 638에 따라 crosshead speed를 10 mm/min 으로 하여 측정하였고, 시편 필름의 규격은 $8 \times 1 \text{ cm}$ 로 고정하였으며 두께는 약 $90 \mu\text{m}$ 정도인 것으로 측정되었다. 인장시험 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 적어도 5개 이상의 동일 시편에 대해 인장시험을 진행하여 평균값을 취하였다.

결과 및 고찰

유리판에 코팅작업을 쉽게 할 수 있도록 적당한 점도의 혼합용액을 만들기 위해 고점도의 올리고머인 EB 8800에 용제인 EA를 50 phr (parts per hundred of resin) 혼합한 후의 점도를 측정된 결과가 Fig. 1에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 전단율이 400 s^{-1} 까지 증가함에 따라 용액의 점도는 약 $235 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 로 거의 일정한 값을 나타내었다. 이로부터 점도 측정 실험이 진행된 전단율 구간에서는 본 연구의 대상인 urethane-acrylate 수지 혼합용액이 Newtonian fluid라는 사실을 알 수 있다.

광 개시제로 Irgacure 184를 1 phr 함유한 EB 8800에 대한 IR 흡수 피크를 UV 경화시간의 경과에 따라 Fig. 2에 나타내었다. 그림에 나타난 각각의 특성 피크는 CH (984 cm^{-1}), CH_2 (1408 cm^{-1}), C=C (1635 cm^{-1}), 그리고 C=O (1726 cm^{-1}) group에 대한 것이며, UV 경화가 진행됨에 따라 초기에는 C=C 결합에 의한 피크가 급격히 작아지다가 약 300초 정도 지나면 거의 소멸된 것을 알 수 있다. 경화시간이 길어짐에 따라 경화속도가 감소하는 이유는 반응성 관능기의 농도가 줄어드는데 기인하기도 하지만 경화에 따른 분자량의 상승으로 인해 점도가 급격히 상승하여 경화반응이 확산에 의해 지배받는데 기인하는 것으로 사료된다. 경화물의 물성은 전환율이 0.9 이상인 영역에서 급격하게 상승하므로 최종 경화물의 전환율을 높이는 것이 중요하다. Fig. 2로부터 300초 정도면 본 연구 시스템의 UV 경화에 의한 중합반응이 거의 완료됨을 알 수 있다.

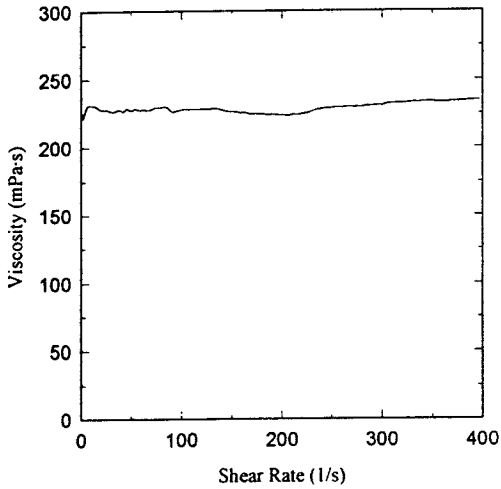


Figure 1. Viscosity of an EB 8800 resin system formulated with 50 phr of EA.

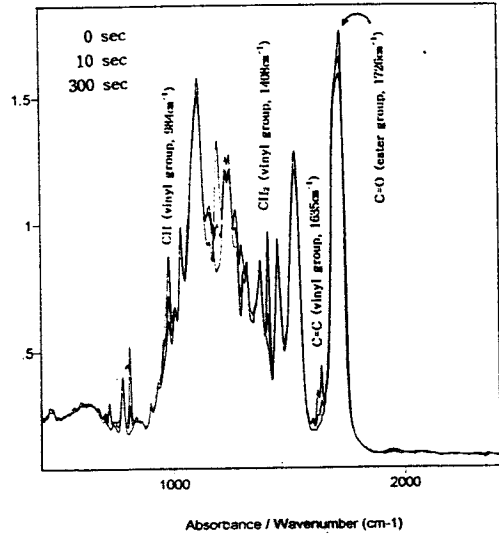


Figure 2. FTIR spectra of EB 8800 at different UV cure times.

순수한 EB 8800의 열에 의한 경화특성을 조사하기 위하여 DSC를 이용하여 승온속도를 10 °C/min로 고정하여 실험을 한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 약 193 °C에서 중합반응에 대한 발열곡선이 시작되었으며 약 248 °C에서 피크의 최고점이 관측되었다. UV에 의한 광 경화에 비하면 오히려 고무를 경화하는데 높은 온도가 필요하며 경화시간 또한 상당히 많이 필요하다는 것을 알 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3으로부터 UV 경화가 기존의 열 경화보다는 훨씬 경제적이며 반응속도 또한 매우 빠르다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 광 개시제 Irgacure 184의 함량을 1, 3, 5, 7 phr로 변화시키면서 제조한 EB 8800 필름의 인장강도를 UV 경화시간에 따라 나타내었다. Fig. 4로부터 EB 8800 시스템의 경우 광 개시제의 함량이 1 phr만 되어도 충분히 경화시킬 수 있음을 알 수 있다. 광 개시제의 함량이 1 phr 미만인 경우에는 개시제의 분산이 충분하지 않게 되는 단점이 있으므로 본 연구에서는 1 phr 이상의 개시제 농도에 대해서만 실험하였다. 이러한 단점 때문에 상업적인 광경화 수지 시스템의 경우에도 일반적으로 광 개시제의 함량을 1 phr 이상 함유하도록 하고 있다.² Fig. 4의 결과를 보면 광 개시제의 함량이 증가함에 따라 인장강도가 저하되는 현상을 보이는데, 이는 광 개시제의 함량이

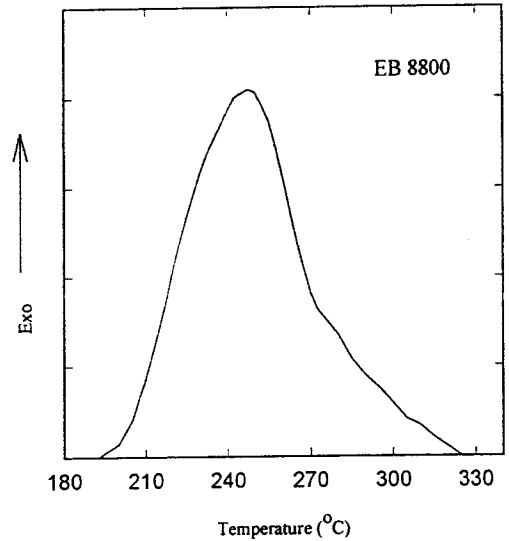


Figure 3. A dynamic DSC thermogram of pure EB 8800 (10 °C/min).

높으면 상대적으로 많이 생성된 자유라디칼 때문에 경화속도는 빨라지지만 중합된 고분자 사슬의 길이가 짧게 되어 중합도가 전체적으로 낮아질 뿐만 아니라 가교 밀도도 낮아지기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 5는 광 개시제의 함량을 1 phr로 고정시킨 후 광 개시제의 종류에 따라 필름의 인장강도를 경화시

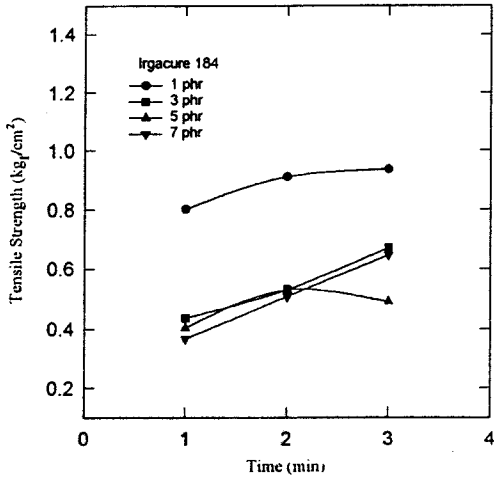


Figure 4. The tensile strength of UV-cured EB 8800 films with cure time at various contents of Irgacure 184.

간에 대해서 나타내었다. 각각의 광 개시제를 함유하고 있는 EB 8800 시스템의 인장강도가 모두 경화시간에 따라 점차로 증가함을 알 수 있다. 특히 Irgacure 184는 다른 두 종류보다 훨씬 빨리 경화되는 경향을 보이며 약 5분에서 최대 인장강도를 보인 후 감소한다. 이는 경화 후 계속되는 UV 조사에 의한 고분자의 분해 과정을 통해 물성이 저하되는데 기인한다고 생각된다.

Fig. 6은 광 개시제의 종류에 따른 신장율의 변화를 경화시간에 따라 나타내었다. 경화시간이 증가함에 따라 신장율이 감소함을 알 수 있다. UV 조사시간이 증가함에 따라 중합이 진행되어 T_g 가 증가할 뿐만 아니라 분자 사슬이 entanglement되어 훨씬 강하게 되었기 때문이라고 추측되며, Fig. 5에서 인장강도가 가장 낮았던 benzophenone의 신장율이 가장 높았으며, 인장강도가 가장 높았던 Irgacure 184의 신장율이 가장 낮음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 광 개시제의 종류에 따른 항복용력의 변화를 경화시간에 따라 나타낸 것이다. 일반적으로 항복점의 정확한 정의를 내리기에 상당한 어려움이 있다. 항복점의 본래 정의는 영구적 변형, 즉 원상태로 회복되지 않기 시작하는 점이라 할 수 있으나, 어떤 경우에는 항복점에 도달하기 이전에 이미 영구적 변형이 생길 수도 있고, 또한 다른 경우, 즉 항복점

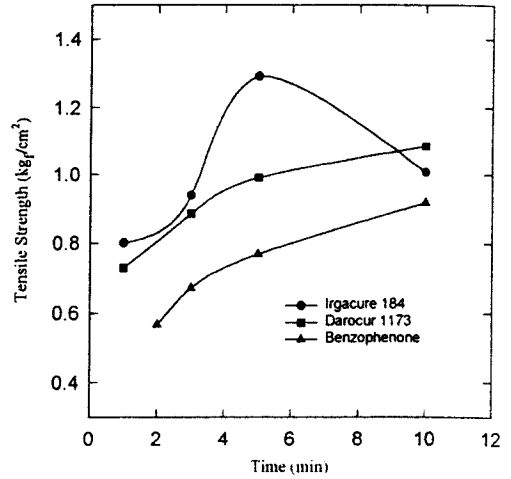


Figure 5. The tensile strength of UV-cured EB 8800 films with cure time for various photoinitiators (1 phr).

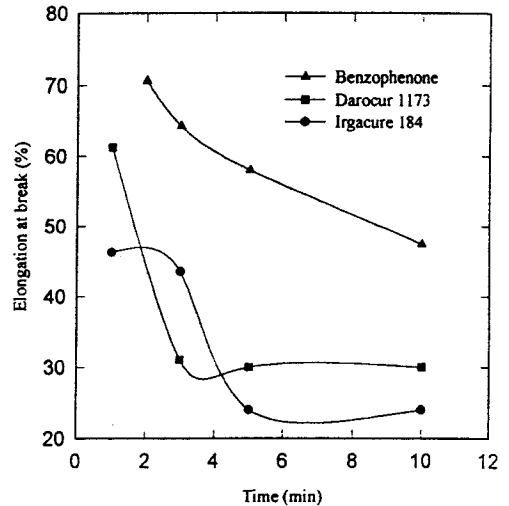


Figure 6. The elongation at break of UV-cured EB 8800 films with cure time for various photoinitiators (1 phr).

을 지난 변형이 가해진 경우에도 시편에 열처리를 하게 되면 초기상태로 되돌아가기도 하기 때문이다. 따라서 항복점은 일반적으로 변형-용력 곡선에 있어서 최대용력점이라고 정의하는 것이 무방하다. 본 연구에서는 항복용력을 변형-용력 곡선의 하단부 (elastic region)의 점근선과 상단부 (항복점을 지난 영역)의 점근선이 교차하는 점으로 결정하였다. 항복점의 중

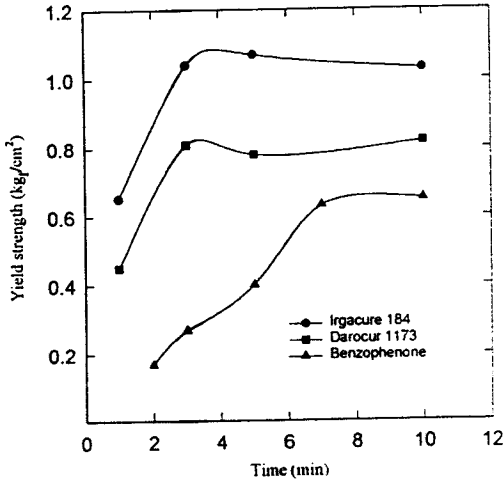


Figure 7. The yield strength of UV-cured EB 8800 films with cure time for various photoinitiators (1 phr).

요성은 변형을 가할 때 시편의 외관상 현격한 차이가 생기기 시작하는 점이라는데 있다.¹³ Fig. 7에서 보듯이 경화시간이 증가함에 따라 항복용력이 증가하다가 어느 시간 이상이 되면 일정해짐을 알 수 있었다. Irgacure 184를 함유한 시스템의 경우 Fig. 5의 결과와 비교해 볼 때 분해에 의한 물성저하가 명확히 나타나고 있지는 않지만 UV 조사시간이 5분이 경과한 후에 항복용력이 다소 감소하는 경향을 볼 수 있다. Fig. 5, 6 그리고 Fig. 7의 결과를 종합해보면 EB 8800 수지의 경우 빠른 경화를 위해서 뿐만 아니라 좋은 물성을 갖는 중합물을 얻기 위해서 세 가지 광 개시제 중에 Irgacure 184를 사용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

우레탄계 아크릴 수지인 EB 8800에 광 개시제 Irgacure 184의 함량을 1 phr로 고정하고 반응성 단량체인 HDDA의 함량을 0-40 phr이 되도록 혼합한 여러 가지 시스템에 대하여 광경화 시간의 증가에 따른 인장강도와 신장율의 변화를 Fig. 8과 9에 각각 나타내었다. Fig. 8에서 보듯이 HDDA의 함량이 증가함에 따라 점차적으로 인장강도가 증가하는 경향을 보이다가 30 phr을 경계로 감소하며 시간에 따른 인장강도의 변화는 약 3분이 지난 후 최대값을 나타낸 후 감소함을 알 수 있다. 이는 반응성 단량체인 HDDA를 첨가함으로써 반응이 보다 빨리 진행되었음을 나타내며, 순수한 EB 8800이 약 5분 정도에

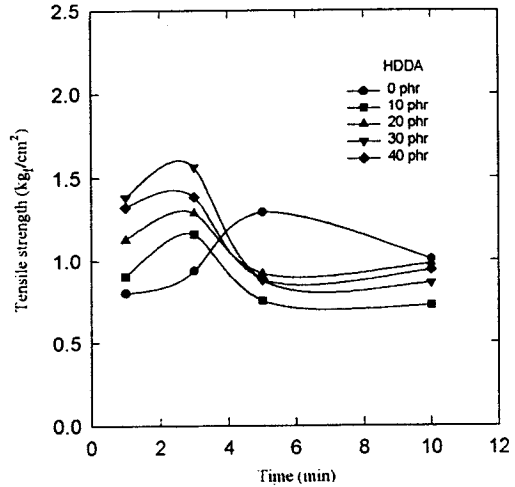


Figure 8. The tensile strength of UV-cured EB 8800 films with cure time at various contents of HDDA.

서 반응이 완결되었음을 보인 것에 비하면 반응성 단량체를 첨가했을 때는 약 2분 정도 빠른 3분 정도에서 반응이 완결됨을 알 수 있다. 이 결과로부터 반응성 단량체의 반응속도 증가 역할은 잘 알 수 있었지만 HDDA의 함량의 변화에 따른 반응속도의 차이는 뚜렷이 나타나지 않은 것으로 보아 HDDA의 점도가 낮기 때문에 반응 시스템의 mobility 증대로 인한 반응성 증가효과는 10 phr 정도의 함량이면 충분함을 알 수 있다. Fig. 9는 HDDA의 함량을 변화시키면서 경화시간에 따른 신장율을 나타낸 것인데, 경화시간에 따라 그리고 HDDA의 함량이 증가함에 따라 전체적으로 신장율이 감소함을 알 수 있었다. 이는 HDDA의 분자량이 작고 점도도 낮을 뿐만 아니라 선형이기 때문에 반응성이 높아 고분자 내에서 잘 중합되어 HDDA가 첨가되지 않은 순수한 EB 8800 시스템보다 중합도도 크고 가교밀도도 더 큰 고분자가 얻어졌기 때문으로 생각된다.

Fig. 10, 11은 EB 8800에 광 개시제 Irgacure 184의 함량을 1 phr로 고정시킨 후 반응성 단량체인 TPGDA의 함량을 0-40 phr로 변화시키면서 혼합하여 얻은 여러 가지 시스템의 인장강도와 신장율의 변화를 경화시간의 증가에 따라서 나타낸 것이다. Fig. 10에서 보듯이 TPGDA의 함량이 증가함에 따라 인장강도가 30 phr에서 최대값을 보였지만 전체적으로 인장강도의 향상 면에서 보면 HDDA보다는 큰 영향

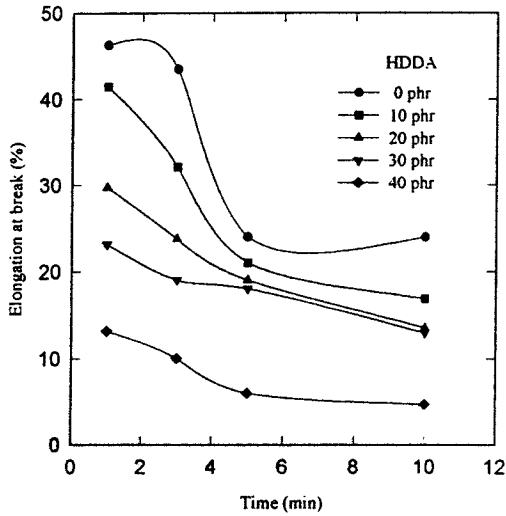


Figure 9. The elongation at break of UV-cured EB 8800 films with cure time at various contents of HDDA.

을 미치지 못함을 알 수 있다. 하지만 Fig. 8에 나타난 HDDA를 함유한 시스템의 경우 10-40 phr의 조성에서 거의 일정한 반응속도를 나타낸 것과는 달리 TPGDA를 함유한 시스템의 경우에는 함량이 증가함에 따라 인장강도의 최고점이 나타나는 경화시간이 점점 단축되는 것을 알 수 있다. 이는 TPGDA의 분자량이 HDDA보다 더 크고 bulky하기 때문에 점도가 높고 함량의 증가에 따른 반응 시스템의 mobility 증대 효과가 점진적으로 증가하므로 이로 인한 반응 속도 증가 효과가 40 phr의 조성까지 관측되는 것으로 사료된다. 경화시간이 증가함에 따라 고분자의 분자량이 커지고 가교밀도가 증가하게 되어 신장율이 감소함을 Fig. 11로부터 알 수 있다. TPGDA의 함량이 증가함에 따라 신장율이 약간 감소하는 경향을 보이지만 인장강도 실험 결과와 마찬가지로 HDDA를 첨가한 경우보다는 그 효과가 작은 것으로 나타났다. Fig. 9와 Fig. 11에 나타난 신장율의 변화를 보면 두 반응성 단량체의 분자구조의 영향을 잘 비교할 수 있다. HDDA의 분자구조가 TPGDA보다는 더 선형적이고 저분자량이기 때문에 점도가 낮아서 소량만 첨가해도 반응계의 mobility가 충분히 증가하여 중합시 반응성이 더 높아서 더 높은 분자량 및 가교밀도를 갖기 때문에 신장율이, TPGDA보다는 HDDA의

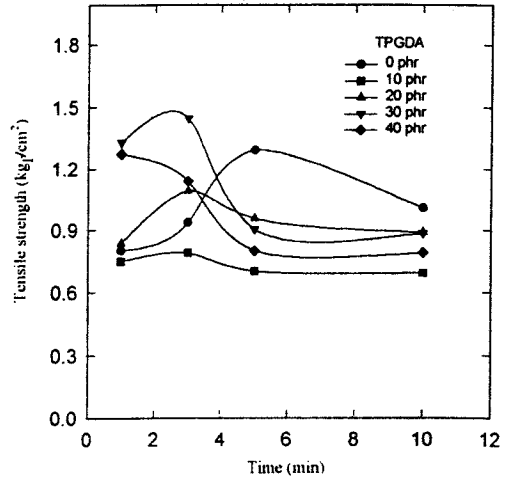


Figure 10. The tensile strength of UV-cured EB 8800 films with cure time at various contents of TPGDA.

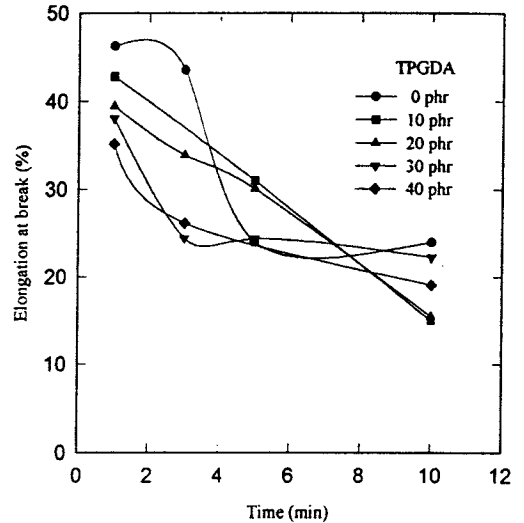


Figure 11. The elongation at break of UV-cured EB 8800 films with cure time at various contents of TPGDA.

함량이 증가함에 따라 훨씬 더 낮음을 알 수 있다.

결 론

FTIR을 이용하여 경화가 진행되는 동안에 나타나는 화학구조의 변화를 관찰한 결과 충분한 UV 경화

를 위해서 약 5분이 소요됨을 알 수 있었다. 아크릴계 올리고머의 UV 경화를 위해 사용한 광 개시제인 benzophenone, Darocur 1173, Irgacure 184 중에서 Irgacure 184가 가장 빠른 경화속도를 나타내었으며, 경화속도 및 물성을 고려해 볼 때 Irgacure 184의 최적 함량은 1 phr이었다. 반응성 단량체인 hexandiol diacrylate (HDDA)와 tripropylene glycol diacrylate (TPGDA)를 첨가함으로써 인장성질이 개선되었으며 함량이 30 phr일 때 가장 높은 인장강도를 보였다. 반응성 단량체를 첨가함에 따라 경화속도가 증가하여 3분 정도면 충분한 경화가 진행되었다. 본 연구 시스템의 인장특성의 향상을 위해서 HDDA가 TPGDA보다 더 효과적인 것으로 나타났다. 경화시간과 반응성 단량체의 함량이 증가함에 따라 수지들의 파단점에서의 신장율은 감소하였다.

참 고 문 헌

1. B. K. Kim, K. H. Lee, and H. D. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**, 799 (1996).
2. J. F. Rabek, "Mechanisms of Photophysical Processes and Photochemical Reactions in Polymers", John Wiley & Sons, New York, 1987.
3. M. A. Ali, M. A. Khan, and K. M. I. Ali, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**, 879 (1996).
4. B. Nabeth, J. F. Gerard, and J. P. Pascault, *J. Appl. Polym. Sci.*, **60**, 2113 (1996).
5. K. M. I. Ali, M. A. Khan, M. M. Zaman, and M. A. Hossain, *J. Appl. Polym. Sci.*, **54**, 309 (1994).
6. W. Shi and B. Ranby, *J. Appl. Polym. Sci.*, **59**, 1129 (1994).
7. S. F. Thames and Z. A. He, *J. Appl. Polym. Sci.*, **54**, 951 (1994).
8. S. F. Thames and Z. A. He, *J. Appl. Polym. Sci.*, **53**, 275 (1994).
9. J. C. Song and D. C. Neckers, *Polym. Eng. Sci.*, **36**(3), 394 (1996).
10. W. Y. Chiang and W. T. Lin, *J. Appl. Polym. Sci.*, **51**, 1901 (1994).
11. S. Radhakrishnan and R. A. Pethrick, *J. Appl. Polym. Sci.*, **51**, 863 (1994).
12. C. Decker and K. Moussa, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 359 (1995).
13. S. E. Kim, *et al.*, "Polymer Engineering I", Heepong dang, Seoul, 1994.