

전기적 특성을 이용한 UV 경화 프로세스에 대한 새로운 평가방법(II)

이문학, *김성빈, 이태훈, 류정이, 김태훈, *손세모
부경대학교 대학원 인쇄공학과, *부경대학교 공과대학 화상정보공학부

A new evaluation method of UV curing process by using electrical properties(II)

*Mun-Hak Lee, *Sung-Bin Kim, Tae-Hoon Lee, Jung-Yi Ryu,
Tae-Hoon Kim, *Se-Mo Son*

Dept. of Graphic Arts Engineering, Graduate School, Pukyong National University,
*Division of Image & Information, College of Engineering, Pukyong National University

Abstract

A novel evaluation method is investigated for measuring the ability of acid amplification of acid amplifier. The method is based on the measurement of conductivity change by the acid generation according to UV radiation.

It is found that the decrease of conductivity is caused by photopolymerization of epoxy monomer during UV curing process of ink film and the by the rate of UV curing. In this paper, the novel acid amplifiers were synthesized and measured thermal stability by means of DSC. It was found that mono-type acid amplifiers were more stable than di-type. It is possible to make the dynamical evaluation the curing rate of UV curable ink in curing process by this method.

1. 서 론

광을 이용하는 화학 반응은 자연계에서 광합성 작용 외에, 고분자 과학에서 광중합, 광분해, 광발

색, 광전도성 등의 분야에 많은 연구 개발이 이루어져 산업화에까지 그 적용범위를 넓혀 가고 있다. 그 중에서 특히 광중합 반응은 표면 코팅, 인쇄잉크 및 인쇄판 제작, 전자제품의 제조 및 가공 등에 이용되고 있을 뿐만 아니라 여러 관련 분야에 획기적인 참신한 기술로 소개되고 있다. 이런 기술 중의 하나인 자외선(이하, UV) 경화형 인쇄잉크 및 도료 기술이 인쇄산업에 적용되고 있고, 그 수요는 날로 증가하는 추세이다. 특히 환경문제가 심각해짐에 따라 저공해 잉크 및 도료에 대한 요구가 증가하고 있으며, 용제형 잉크 및 도료 사용시 환경 및 작업자의 건강 등에 문제가 발생하고 있어 유기 용제를 줄이기 위한 노력으로 UV 경화형 잉크의 선택은 필연적이다. UV 경화형 잉크는 인쇄 관련 산업에서 고속인쇄에 대응하고, 열에 민감한 재료에도 적용 가능하여 생산성 향상이 가능하다. 또한 내마찰성, 내약품성이 용제형 잉크에 비해 높으며 그 응용범위도 넓다. 예로서 비즈니스 폼 인쇄, CD·카탈로그·포스터 등의 광택가공, 건재·가구 재료의 탑코트 등을 들 수 있다.^{1) 2)}

UV 경화 프로세스는 크게 라디칼 경화 프로세스와 이온 경화 프로세스로 나뉘어진다. 라디칼 경화 프로세스는 자외선 조사에 의해 광중합 개시제가 라디칼화되어 광중합성 모노머 및 광중합성 프리폴리머가 이 라디칼에 의해 중합반응하여 경화된다. 한편, cation 경화 프로세스는 자외선 조사에 의해 cation 광개시제로부터 광산을 발생하여 모노머를 경화화시키는 산 증폭형 경화프로세스이며, 이 때 자외선 조사에 의하여 발생하는 광산은 기하급수적으로 발생하는 것으로 알려져 있다. 또한 선행 연구에서는 외부의 산이 촉매 역할을 하여 비선형적으로 산을 생성시키는 산증식제(acid amplifier : AA)를 도입하여 경화율과 경화속도를 향상시키는 것으로 나타나 있다.

본 연구에서는 이러한 새로운 산증식제의 개발을 위하여 수종의 산증식제를 합성하여 DSC를 이용 열적 특성 및 전기적 특성을 검토하였다. 그리고 합성된 산증식제를 epoxy 계열의 이온경화형 모노머에 적용하여 UV 조사와 모노머에 따른 전기적 특성과 UV 경화형 잉크에의 적용 가능성에 대하여 검토하였다.^{3) 4) 5)}

2. 실험

2-1. 시약 및 측정기기

본 실험에 사용된 광개시제(photo-initiator : PI)는 UVI 6900(Union Carbide)을 사용하였으며, 이온 경화형 모노머로는 4-vinyl-cyclohexene diepoxide(VCDO)(Aldrich Chem. Co., 98%)와 3,4-epoxycyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate(ERL)(Aldrich Chem. Co., 98%) 두 종류를 사용하였다. 이들 시료의 구조식은 fig. 1과 같으며, UV 광에 의한 이온 경화 메카니즘은 fig. 2에 나타내었다.

합성에 사용된 시약은 4,4'-isopropylidene dicyclohexanol(Aldrich Chem. Co.95%)과 p-toluenesulfonyl chloride(Aldrich Chem. Co.98%)로 정제없이 사용하였으며, 용매로 pyridine (Junsei chemical 社) 특급시약을 사용하였다. H-NMR spectrum은 JEOL JNM-ECP 400MHz

(spectrophotometer)를 사용하여 측정하였고, MP는 SHIMADZU DSC-60으로 측정하였다.

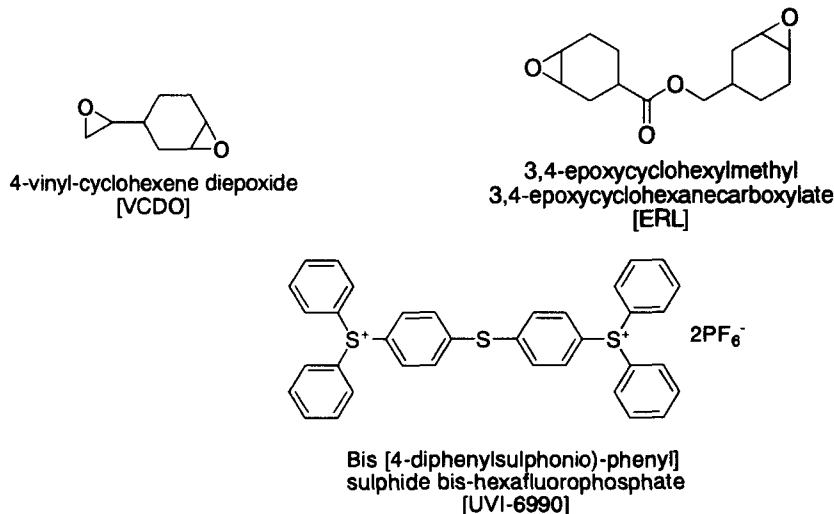


Fig. 1. Structures of compounds used in this study.

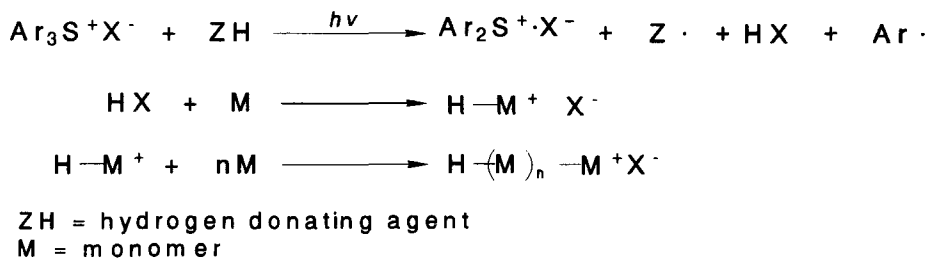


Fig. 2. Mechanism of the initiation of cationic polymerisation.

Fig. 3에는 UV/vis spectroscopy(SHIMADZU, UV-2101PC)를 이용하여 이들 시료에 대한 흡수 특성을 나타내었다. AA 및 모노머는 300nm 이상의 파장영역에서는 흡수가 일어나지 않았으며 양이온형 광개시제는 약 350nm부터 흡수가 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 사용되는 UV광원의 광조사(Xenon lamp)에서는 모노머와 AA가 각각 또는 이들만의 혼합상태에서 광 흡수가 일어나지 않아 광 경화 반응에 직접 참여하지 않음을 알 수 있다.

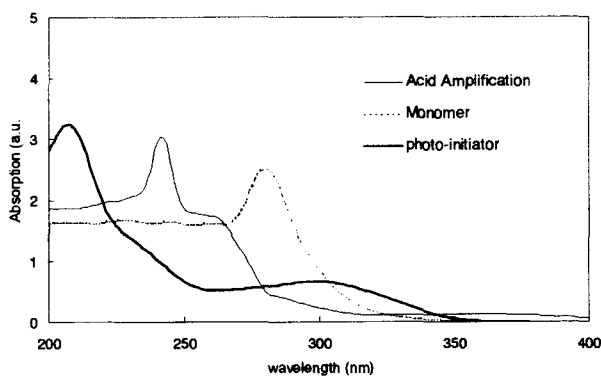


Fig. 3. Absorption spectra of compounds used in this study.

2-2. 시료제작 및 측정

UV 광에 의한 모노머, 광개시제, 산증식제 등에 대한 각각의 전기적 특성을 검토하기 위해서 table 1에 나타낸 바와 같이 각각의 시료를 조성하고 이들 시료에 대한 전기적 특성에 대하여 검토하였다.

Table 1. Ratio of monomer, PI, AA(mono), and AA(di)

	Monomer	PI	AA(mono)	AA(Di)
SM-1	1g	×	×	×
SM-2	1g	×	0.03g	×
SM-3	1g	×	×	0.03g
SM-4	1g	0.03g	0.03g	×
SM-5	1g	0.03g	×	0.03g

위의 시료들을 측정하기 위하여 fig. 4와 같이 진공증착기를 이용하여 슬라이드 글라스 위에 전극간의 거리 2mm로 Al 표면 전극을 제작하였다. 그리고 각 전극에 인듐을 이용하여 백금와이어를 고정시켜 전류를 측정할 수 있게 하였으며, 또한 전극간의 sample 도핑은 시편의 두께를 약 20 μ m 정도로 일정하게 제작하였다.

Fig. 5의 (a)와 같이 샘플에 흐르는 전류를 측정하기 위해 UV 램프와 Electrometer(M.617, Keithley 社), GPIB interfaces card, 그리고 PC(IBM) 등을 이용하여 측정장치를 구성하였으며, Labview 6.1 Program(NI 社)을 이용하여 측정 회로를 제어하였다. 램프의 광원과 측정시료 사이에 L자형 어댑터를 제작하여 연결하고 샘플 사이에 열 차단 필터를 넣어 열에 의한 경화를 최소화시켰으며 시편과의 거리는 20cm로 고정하여 측정하였다.

Fig. 5의 (b)는 측정 회로도를 나타낸 것이다.

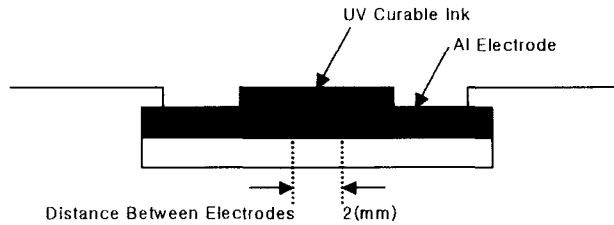


Fig. 4. Sample cell.

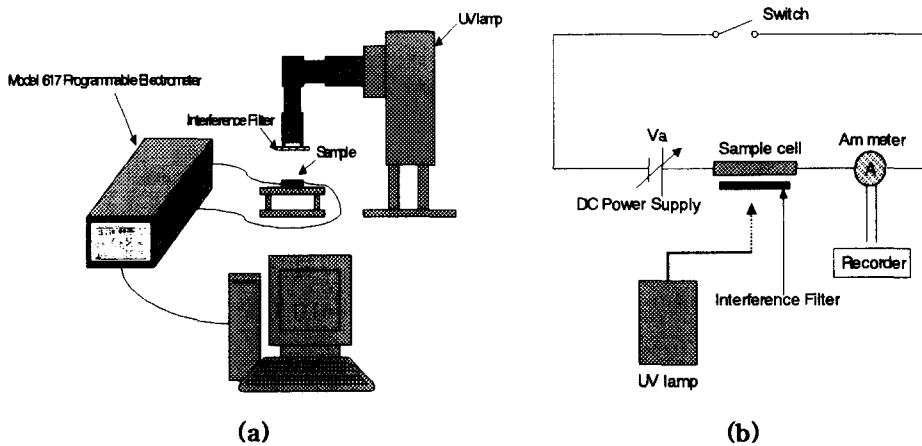


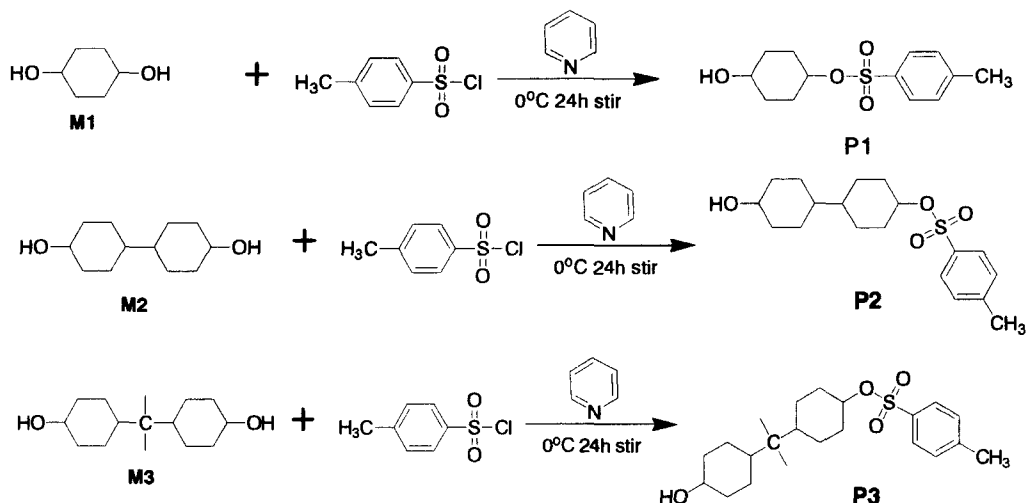
Fig. 5. Apparatus for measurement of conduction current in UV curable layer.

2-3. 산증식제의 합성

2-3-1. Mono-type 산증식제

Mono-type 산증식제의 합성은 scheme 1과 같이 cyclohexanediol(CHD:M1) 0.05mol(5.86g), bicyclohexyldiol(BCD:M2) 0.05mol(9.90g), 4,4'-isopropylidene dicyclohexanol(IPDH:M3) 0.05mol(12.148g)을 250ml 3구 둥근 플라스크에 각각 넣고, 용매로 pyridine 150ml을 넣어 교반시키면서 용해한 후, Ice bath를 사용하여 0℃ 이하로 냉각시킨다. 여기에 p-toluene sulfonyl chloride(pTSC) 0.04mol(7.62g)을 넣어 0℃ 이하에서 24시간동안 교반하면서 반응시킨다. 이 때 빛에 의한 부가 반응을 줄이기 위해 빛을 차단한다. 반응이 끝나면 물과 클로로포름으로 4~5번 추출한 뒤 5%염산 수용액으로 수회 세척하고 소금물로 한 번 더 세척하여 남아 있는 pyridine을 완전 제거하는 데, 이 때 pH를 측정하여 pyridine의 잔존 여부를 확인하였다. Pyridine의 완전 제거 후 MgSO₄를 이용하여 수분을 제거하고, 감압 증류하여 용매를 날린다. 그 후 에탄올과 물로 재결

정하여 흰색 분말의 Mono-type 산증식제(P1, P2, P3)를 얻을 수 있었다.



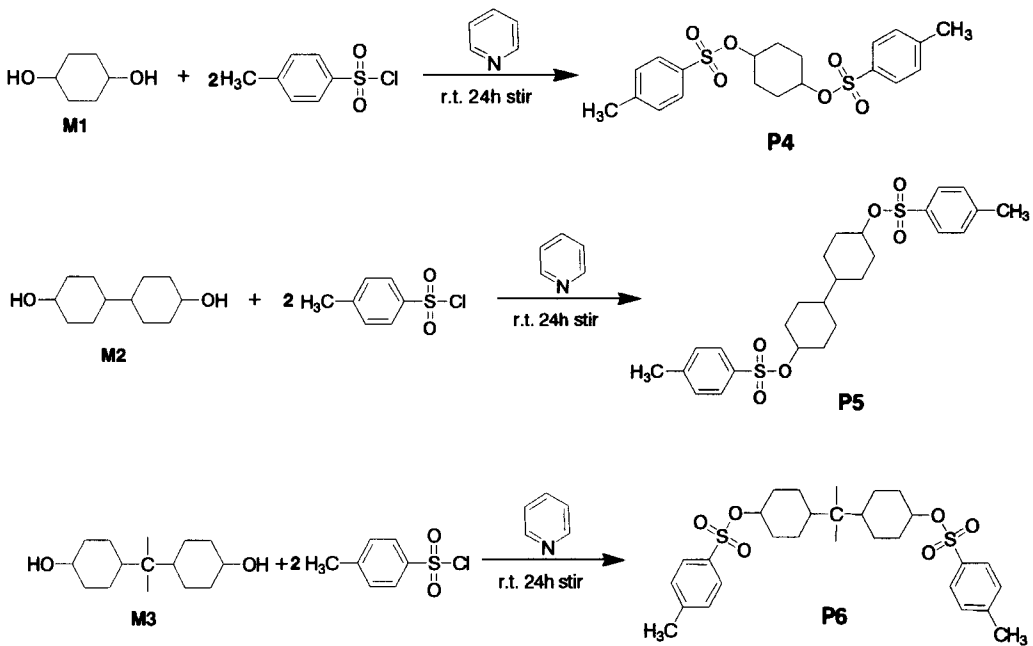
- P1** : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 1.50-1.53(m, 4H), 1.77-1.92(m, 4H), 2.32(s, 6H), 3.55-3.56(m, 1H), 4.37-4.47(m, 1H), 7.22(d, 4H, J=0.0207), 7.65(d, 4H, J=0.0206), m.p. : 142℃, Yield : 50.1%
- P2** : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 0.95-1.18(m, 10H), 1.70-1.72(m, 8H), 2.42(s, 3H), 3.46-3.50(m, 1H), 4.30-4.34(m, 1H), 7.29(d, 2H, J=0.0207), 7.75(d, 2H, J=0.0207), m.p. : 102℃, Yield : 57.5%
- P3** : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 1.013-1.04(m, 8H), 1.18-1.21(m, 5H), 1.22-1.43(m, 7H), 1.68(d, 2H, J=0.0257), 1.98(d, 2H, J=0.0257), 2.43(s, 3H), 3.49-3.51(m, 1H), 4.02(s, 1H), 4.07-4.39(m, 1H), 7.30(d, 2H, J=0.0207), 7.76(d, 2H, J=0.0206), m.p. : 127℃, Yield : 43.8%

Scheme 1. Synthesis of mono-type acid amplifier respectively.

2-3-2. Di-type 산증식제

Di-type 산증식제의 합성은 scheme 2에 나타낸 바와 같이 cyclohexanediol(CHD:M1) 0.05mol(5.86g), bicyclohexyldiol(BCD:M2) 0.05mol(9.90g), 4,4'-isopropylidene dicyclohexanol(IPDH:M3) 0.05mol(12.148g)을 250ml 3구 둥근플라스크에 각각 넣고, 용매로 pyridine 150ml을 넣어 교반시키면서 용해한 후, 여기에 p-toluenesulfonyl chloride

(pTSC) 0.2mol(38.515g)을 넣어 상온에서 24시간 동안 교반하면서 반응시킨다. 이때 빛에 의한 부가 반응을 줄이기 위해 빛을 차단한다. 반응이 끝나면 감압 필터로 생성된 염을 제거하고, 얼음물과 디클로로메탄으로 2~3번 추출한 뒤 5% 염산 수용액으로 남아 있는 pyridine을 제거한다. 마지막으로 소금물로 한번 더 세척하여 pyridine을 완전 제거하고 MgSO₄로 건조하여 용매를 날린 뒤 에탄올과 물로 재결정하여 흰색 분말의 di-type 산중식제(P4, P5, P6)를 얻을 수 있었다.



P4 : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 1.59-1.61(m, 4H), 1.82-1.85(m, 4H), 2.43(s, 6H), 7.30(d, 4H, J=0.0215), 7.74(d, 4H, J=0.0207), m.p. : 158℃, Yield : 19.6%

P5 : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 0.95-1.01(m, 10H), 1.94-1.95(m, 8H), 2.42(s, 6H), 4.31-4.33(m, 2H), 7.29(d, 4H, J=0.0215), 7.75(d, 4H, J=0.0198), m.p. : 131℃, Yield : 32.1%

P6 : ¹HNMR(CDCl₃, ppm) : 0.63-0.98(m, 8H), 1.32-1.39(m, 8H), 1.61-1.97(m, 8H), 2.43(s, 6H), 4.31-4.33(m, 2H), 7.30(d, 4H, J=0.0206), 7.76(d, 4H, J=0.0207), m.p. : 179℃, Yield : 16.0%

Scheme 2. Synthesis of di-type acid amplifier respectively.

3. 결과 및 고찰

3-1. UV 광에 의한 전기전도도 변화

UV경화형 모노머와 고분자간의 전기전도도의 변화를 알아보기 위하여 인가 전압 100V에서 막 두께가 20 μ m인 시료(monomer+PI+AA)의 UV 조사 시간에 대한 전기전도도 변화의 측정 결과를 fig. 6에 나타내었다.

광 조사 및 전압을 가하기 전에는 0.3~0.5 μ A의 일정한 전류가 흐르다가 100V 전압 인가 후 30 μ A 정도의 일정한 전류가 흐르는 것을 알 수 있었다. 광을 조사 한 시점부터는 전류의 흐름이 급격히 감소하여 0.5 μ A의 일정 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 이는 UV 광에 의한 전기 저항이 약 100배 정도 크게 된다는 것을 의미한다. 양이온 광개시제(cationic photoinitiator)가 빛을 받아 강한 양성자산(protonic acids)이 발생하여 모노머와 광중합을 일으키게 되는 것이다. 한편 이 때 산중식제의 존재로 인하여 양성자산은 산중식제의 슬폰기를 끊어 대량의 유기산을 발생시켜 에폭시 모노머의 경화반을 촉진시키게 된다. 본 실험에 나타난 광 조사 전 전류량은 100V 전압에 대한 양이온 광개시제의 전류량이며 광 조사 후 전류의 변화는 모노머의 광중합에 의해 부도체의 성질을 띄어 전류량이 감소하는 것으로 사려된다. 이러한 반응 메카니즘은 fig. 2에 나타냈었다.

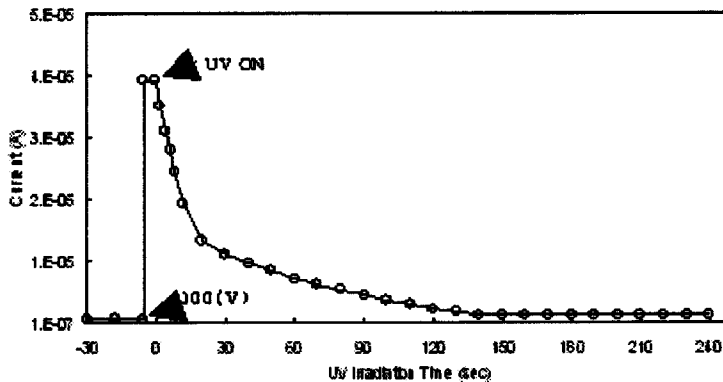


Fig. 6. Current change of by UV irradiation (Monomer+PI+AA).

이와 같은 선행 연구의 결과를 바탕으로 Epoxy 계열의 모노머에 여러 가지 산중식제를 첨가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

3-2. 각각의 시료에 대한 전류 변화

본 실험에 사용한 시료에 대하여 광조사시의 전류 변화를 알아보기 위해, 먼저 epoxy계열의

monomer(VCDO, ERL) 각각에 100V 전압 인가후 수 분간 광 조사를 하여도 초기전류값(0.3~0.5 μ A)에는 변화가 일어나지 않았다. 이는 epoxy계 monomer 자체만으로는 UV 광에 의해 양이온 중합이 일어나지 않음을 알 수 있는 것이다.

3-2-1. 산중식제(P1, P4) 첨가시 UV광에 의한 전류변화

Epoxy계열의 monomer(VCDO, ERL)와 산중식제 P1, P4로 위의 table 1에 나타난 조성비에 따라 8가지의 샘플을 만들어 UV 조사 시간에 대한 전류 변화를 각각의 monomer 별로 측정하여 fig. 7과 fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7은 4-vinyl-cyclohexenediepoxy(VCDO)에 광개시제와 산중식제 P1, P4를 첨가한 것으로 산중식제가 들어가지 않은 시료의 초기 전류값(4.5 μ A)보다 산중식제를 첨가함으로써 전류값이 1~3 μ A정도 높게 나타났으며 또한 di-type의 산중식제 P4가 mono-type의 산중식제 P1보다 전류값이 높게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 8은 3,4-epoxycyclohexylmethyl 3,4-epoxycyclohexanecarboxylate(ERL)에 위와 같은 방법으로 샘플을 만들어 측정한 결과로서 fig.7 과 같이 산중식제를 첨가함으로써 초기 전류값이 2~3배 높아짐을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 UV 광에 의해 광개시제가 강한 광산(potonic acid)을 발생시켜 monomer의 중합을 촉진시키는 과정에서 광산이 산중식제의 분해를 일으켜 광산이 기하급수적으로 증가한 결과로 볼 수 있으며, VCDO보다 더 급격히 작용하였음을 확인할 수 있었으며, 이는 monofunctional 계열 epoxy보다 difunctional 계열 epoxy의 경화가 다 빠름을 알 수 있는 것이다. 또한 이전 보고서에서 mono-type의 산중식제보다 di-type 산중식제가 전류값이 크게 나온 결과도 이와 같은 이유일 것으로 사려된다.

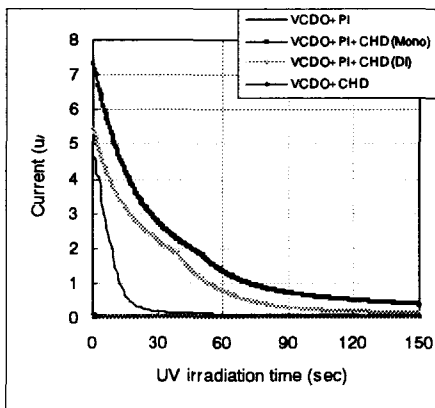


Fig. 7. Current change of P1, P4 by UV irradiation(VCDO).

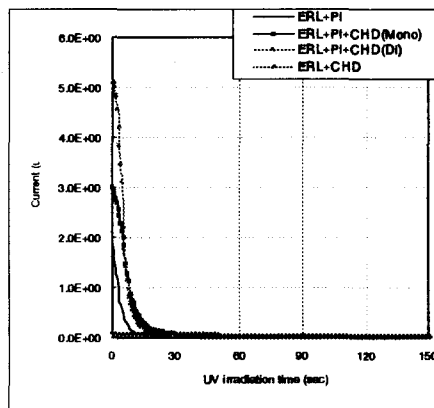


Fig. 8. Current change of P1, P4 by UV irradiation(ERL)

3-2-2. 산증식제(P2, P5) 첨가시 UV광에 의한 전류변화

Epoxy계열의 monomer(VCDO, ERL) 각각에 산증식제 P2, P5를 위의 table 1에 나타난 조성비에 따라 8가지의 샘플을 만들어 UV 조사 시간에 대한 전류의 변화를 각각의 monomer 별로 측정된 결과는 fig. 9와 fig. 10에 나타내었다. Fig. 9는 4-vinyl-cyclohexenediepoxy(VCDO)에 광개시제와 산증식제 P2, P5를 첨가한 것으로 산증식제가 들어가지 않은 시료는 모두 초기 전류값(4.5 μ A)은 같게 나타났으나 시간이 흐르면서 산증식제를 첨가한 샘플의 전류값이 2~3 μ A 정도 높게 나타났으며 또한 di-type의 산증식제 P5가 mono-type의 산증식제 P2보다 전류값이 높게 나타남을 알 수 있다. 그리고 위의 3-2-1과 마찬가지로 경화 속도는 ERL monomer가 더 빨리 진행함을 확인할 수 있었다.

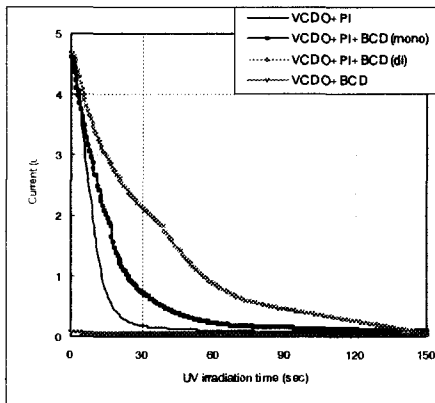


Fig. 9. Current change of P2, P5 by UV irradiation(VCDO).

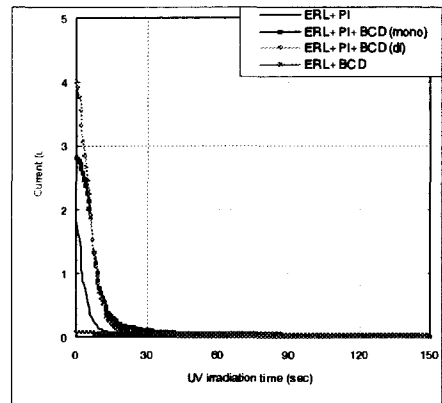


Fig. 10. Current change of P2, P5 by UV irradiation(ERL).

3-2-3. 산증식제(P3, P6) 첨가시 UV광에 의한 전류변화

위와 같은 방법으로 epoxy계열의 monomer(VCDO, ERL)와 산증식제 P3, P6으로 8가지의 샘플을 만들어, UV 조사 시간에 대한 전류 변화를 각각의 monomer 별로 측정하여 그 결과를 fig. 11과 fig. 12에 나타내었다. Fig. 11은 4-vinyl-cyclohexenediepoxy(VCDO)에 광개시제와 산증식제 P3과 P6을 각각 다르게 첨가한 것으로 산증식제가 들어가지 않은 시료의 초기 전류값(4.5 μ A) 보다 산증식제를 첨가한 시료의 전류값이 3~5 μ A 정도 높게 나타났으며, di-type의 산증식제 P6이 mono-type의 산증식제 P3보다 전류값이 높게 나타남을 알 수 있다. 여기서도 경화 속도는 ERL monomer가 더 빨리 진행함을 확인할 수 있었다.

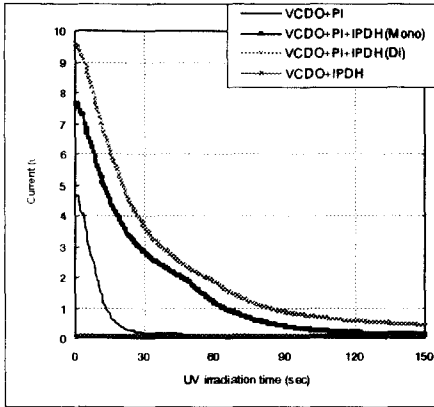


Fig. 11. Current change of P3, P6 by UV irradiation(VCDO).

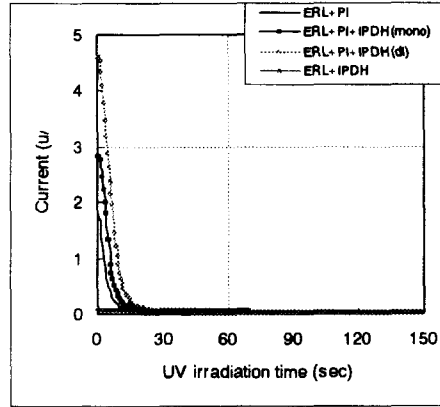


Fig. 12. Current change of P3, P6 by UV irradiation(ERL).

3-3. UV 광강도에 의한 전류 변화

실험 결과 광에 의한 전류 변화는 광중합에 의한 고분자 필름이 절연체로 생성되므로 전류변화가 나타남을 알 수 있었다. 이러한 전류변화에 있어서 UV 강도 $0.02 \sim 0.2 \text{ mW/cm}^2$ 사이에서 측정된 결과 UV 강도가 큰 경우에 광 경화가 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 광 조사 t 초 후의 전류치 I_t 와 초기 전류치 I_0 와의 차 $I_0 - I_t = \Delta I$ 로서 전류 변화량과 UV 강도와의 관계를 그래프로 나타내었다. 광조사 10초, 30초, 90초, 150초 후의 전류변화량 ΔI 와 UV 광강도 사이의 관계는 거의 직선 관계에 있음을 알 수 있었으며 광중합에 따른 전류 변화량과 광 강도 사이에는 다음 식에 표시한 비례 관계가 성립됨을 예측할 수 있었다.

$$\Delta I = a\phi \quad (a \text{는 비례상수})$$

3-3-1. 산중식제(P1, P4) 첨가시 광강도에 의한 전류변화

UV 조사 시간에 대한 전류의 변화와 같이 UV 광강도에 의한 전류의 변화를 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. VCDO monomer에 산중식제를 첨가한 시료의 전류 변화(ΔI)는 산중식제를 첨가하지 않은 시료보다 전류변화 곡선의 기울기가 작게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 monomer와 산중식제 P1, P4의 혼합시 완전히 용해되지 않고 약간의 회색을 띄게 되어 UV광이 필름의 내부까지 조사되는 양의 감소로 인하여 나온 결과로 사려된다. 반대로 Fig. 14에서는 di-type의 산중식제가 첨가된 시료의 전류변화율(ΔI)은 급격하게 증가함을 볼 수 있었다. 이는 산중식제를 첨가함으로써 양성자 산이 기하급수적으로 증가하였음을 의미한다.

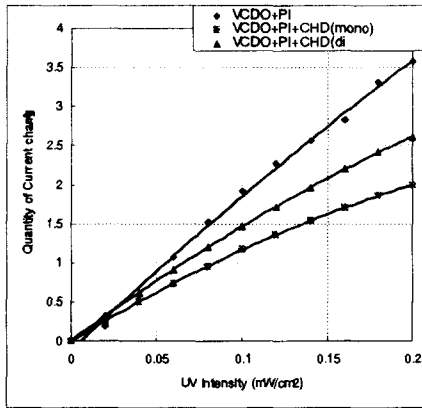


Fig. 13. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(VCDO)

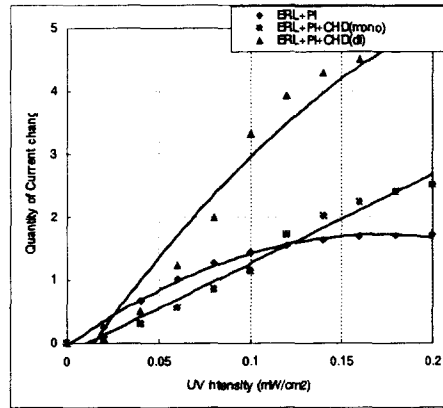


Fig. 14. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(ERL)

3-3-2. 산증식제(P2, P5) 첨가시 광강도에 의한 전류변화

산증식제 P2와 P5를 첨가한 monomer의 광강도에 대한 전류변화율(ΔI)는 Fig. 15와 Fig. 16에 나타내었다. 여기서는 산증식제 첨가한 monomer 모두 첨가 하지 않은 시료보다 광 강도에 의한 전류 변화율(ΔI)의 크기가 높게 나타났다. 특히 ERL monomer와 di-type 산증식제를 혼합한 시료의 전류변화율(ΔI)이 매우 크게 나타남을 알 수 있었다.

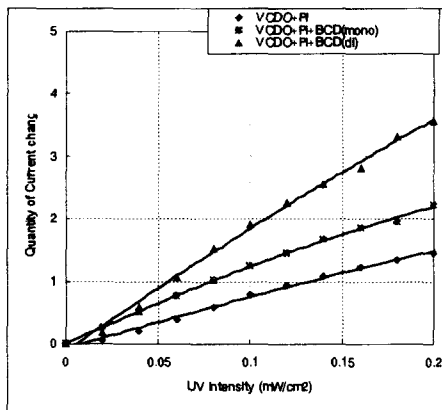


Fig. 15. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(VCDO)

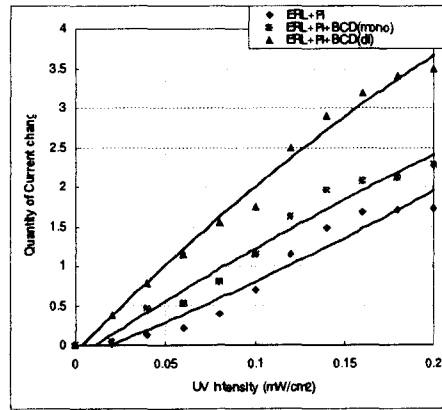


Fig. 16. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(ERL)

3-3-3. 산중식제(P3, P6) 첨가시 광강도에 의한 전류변화

산중식제 P3와 P6를 첨가한 monomer의 광강도에 대한 전류변화율(ΔI)는 fig. 17과 fig. 18에 나타내었다. 여기서 fig. 15와 fig. 16의 결과와는 다르게 산중식제의 첨가 유무에 관계없이 거의 비슷한 전류변화율(ΔI)을 타냈었으며, 이는 fig. 13의 결과에 대한 원인과 비슷한 것으로 사려된다.

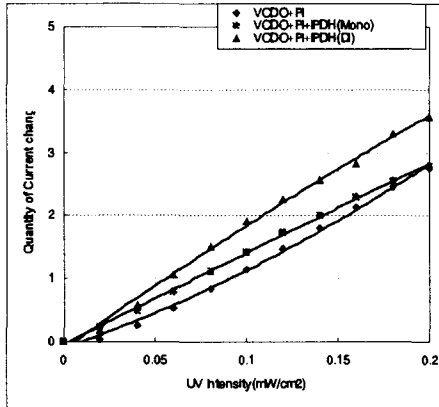


Fig. 17. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(VCDO)

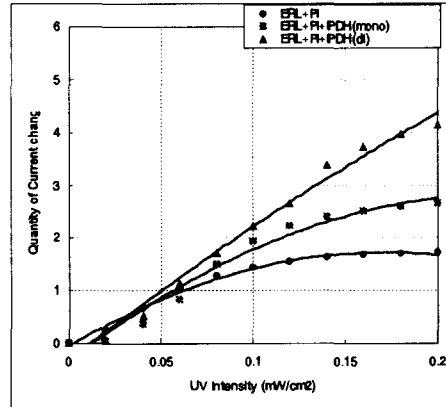


Fig. 18. Quantity of sample current changing by UV irradiation.(ERL)

4. 결 론

UV 조사에 의한 경화 Process에서 경화의 상태를 동적으로 평가하기 위한 기초 실험으로서 경화 전후의 전류량 변화에 대하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) UV 경화 프로세스의 적용에 있어 산중식제의 적용 및 성능을 평가하고자 새로운 mono-type, di-type의 산중식제를 합성하였다. 수율은 50% 전후였으며 di-type의 산중식제가 mono-type의 산중식제보다 열적으로 안정함을 DSC 측정을 통해 확인할 수 있었다.
- (2) 중합 모노머로 사용한 epoxy계 monomer에 산중식제를 혼합하여 전류 변화율을 측정된 결과 difunctional-type이 monofunctional-type보다 광에 의한 경화 속도가 빠름을 알 수 있었다.
- (3) 본 실험에서 합성된 6가지 산중식제를 비교한 결과 mono-type에 비해 di-type의 산중식제가 광산에 의한 양성자 산의 생성이 많아짐을 알 수 있었다.
- (4) UV 강도와 전류 변화량이 비례 관계에 있음을 알 수 있었다.

본 실험 결과를 기초로 하여 상대경화율, 경화속도, 안료첨가시의 경화피막의 거동 등에 대하여

순차적으로 보고 하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) D. Fishman, *UV/EB Ink & Coatings*, American Ink Maker, pp. 49~53 (1993).
- 2) K. Tai, UV Printing Inks, *Bulletin of The Japanese Society of Printing Science and Technology*, **31**, 116 (1994).
- 3) S. Tada, I. Serisawa, N. adachi, Y. Takahashi, *日本印刷學會誌*, **32**, pp. 28~34 (1995).
- 4) S. Tada, Y. Takahashi, I. Serisawa, N. adachi, *日本印刷學會誌*, **33**, pp. 307~314 (1996).
- 5) M. H. Lee, T. H. Lee, S. B. Kim, S. M. Son, *J. Korean Printing Society*, **55**(21) (2003).